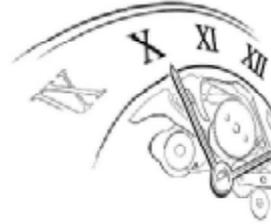


CHRONOMETER
INTERNATIONAL
CONGRESS
MAY 26-27 2017
COLTANER (NE)
SWITZERLAND



VidéoBalisomètre^o

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



CHRONOMETER
INTERNATIONAL
CONGRESS
MAY 26-27 2017
COLTANER (NE)
SWITZERLAND

Historique





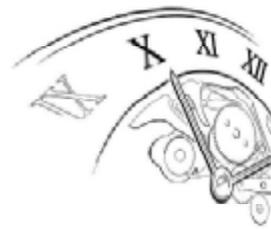
Historique

Dès 2003, Audemars Piguet recherche de nouvelles technologies pour l'analyse de l'organe réglant dans la prévision de remplacer son système existant.

Les techniques approchées ont été les suivantes :

- Laser interférométrique LDV avec deux sociétés allemandes
- Caméra rapide avec deux sociétés suisses

- **2005** - Choix du système par caméra rapide de la société **Qualimatest SA**
- **2006** - Présentation d'un prototype et du concept à l'EPHJ
- Intégration des sociétés **Witschi SA** et **ARCOptix SA**
- **2007** - Présentation de l'aboutissement du projet au CIC



Cahier des charges



Cahier des charges

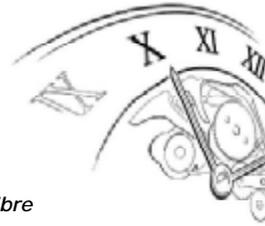
Points principaux :

Mesurer l'amplitude, la marche, la vitesse du balancier en mode libre ou entretenu pour permettre :

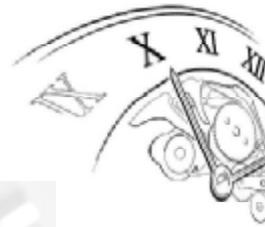
- De caractériser les différents types d'organe oscillant
- D'identifier et d'analyser les paramètres perturbant l'organe réglant
- De comparer les différents types d'échappement

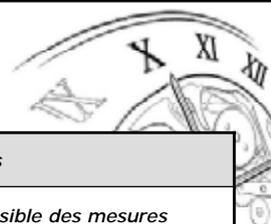
Conditions :

- Devenir **le référentiel** des mesures liées à l'organe réglant
- Ne pas devoir marquer nos balanciers (voir conditions de mesure)
- Obtenir une accréditation officielle du système par l'office fédéral de métrologie
- Pas de restriction à la vente de ce système aux sociétés suisses



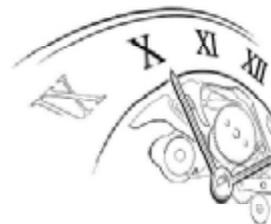
Evaluation des technologies connues



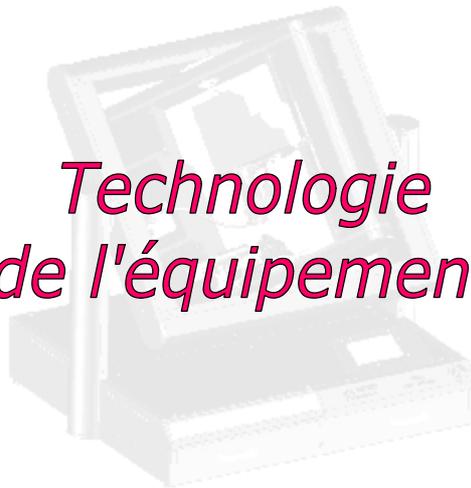


Évaluation des technologies connues

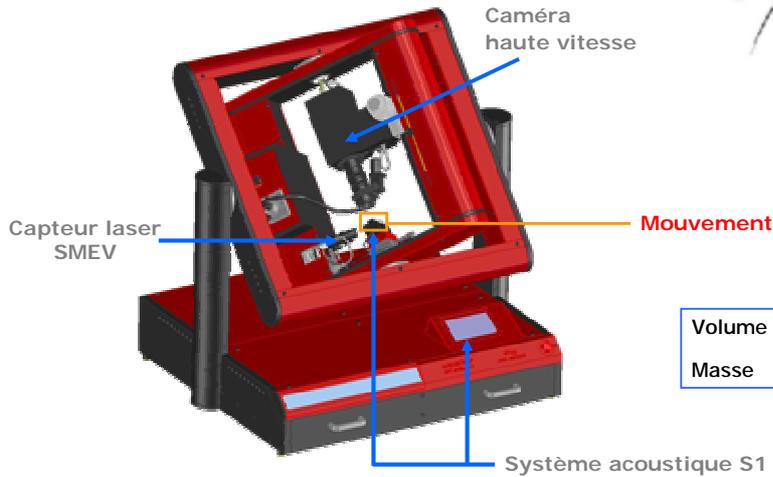
Type	Avantages	Inconvénients
Acoustique	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de marquage du balancier • Mesures sur mouvements et montres • Appareil de série, utilisé en production 	<ul style="list-style-type: none"> • Perturbation possible des mesures • Amplitude calculée (en fonction de l'angle de levée) • Processus d'analyse restreint
Optique sur bras	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de marquage du balancier • Amplitude indép. de l'angle de levée • Combinaison acoustique / optique 	<ul style="list-style-type: none"> • Mesures sur mouvement seul • Amplitude calculée • Pas de mesures aux petites amplitudes • Coût du système
Optique sur serge	<ul style="list-style-type: none"> • Mesures fiables de la marche • Amplitude indép. de l'angle de levée • Mesure complète de l'amortissement 	<ul style="list-style-type: none"> • Mesures sur mouvement seul • Amplitude calculée • Marquage du balancier • Coût du système



Technologie de l'équipement



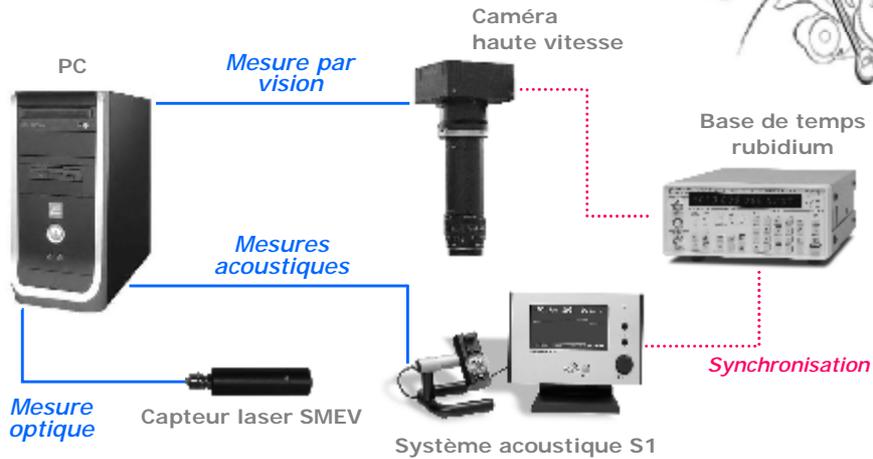
Présentation de l'équipement

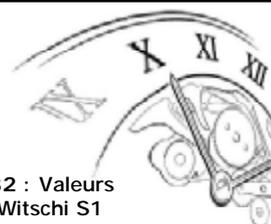


Volume : < 1 m³
 Masse : ≈ 100 kg



Schéma de principe des mesures



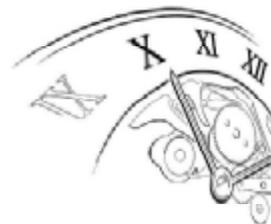


Plusieurs technologies de mesure

- **Vision** : Mesure par l'analyse de la trajectoire du balancier (images)
- **Acoustique RS232** : Valeurs transférées par le Witschi S1
- **Acoustique directe** : Mesure par le traitement informatique du signal acoustique
- **SMEV** : Mesure laser de la vitesse instantanée du balancier (cf. conférence suivante)

	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

E = Mode entretenu, L = Mode libre (sans échappement)



Des mesures précises et automatiques

- **Base de temps au rubidium** : synchronisation précise des mesures
- **Mesure continue** : 240 heures de mesure minimum
- **Motorisation** : positionnement automatique du mouvement dans les positions CH / CB / VH / VD / VB / VG + intermédiaires à 45°
- **Excitation automatique du balancier** : Jet d'air synchronisé sur la fréquence du balancier par ordinateur, permettant la mesure en mode libre (amortissement)
- **Contrôle informatique** : contrôle de l'équipement, acquisition des données, mesures et rapports





Mesure vision



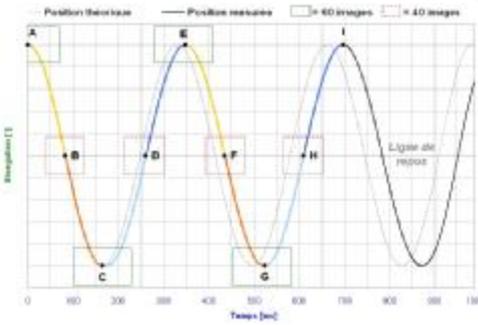
Page 13 / 33



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

Les mesures vision sont extraites de la trajectoire du balancier

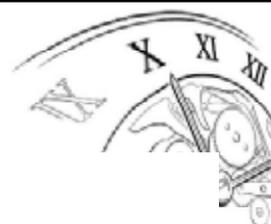
- **Centre de rotation :**
Mesure du centre du balancier
- **Trajectoire :**
Mesure de la position angulaire à 4 kHz (détection de 8 repères sur le balancier)
- **Amplitude :**
Recherche sans extrapolation des points de rebroussement A, C, E et G
- **Marche :**
Recherche des points d'intersection avec la ligne de repos : B et F pour la marche paire, D et H pour la marche impaire
- **Vitesse :** Dérivée du déplacement



Cadence de mesure :
Une série de mesures toutes les 2 secondes



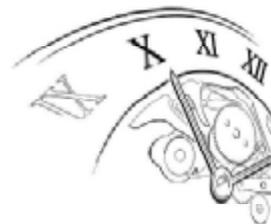
Page 14 / 33

Mesure acoustique




Page 15 / 33


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


Les mesures acoustiques en comparaison des mesures vision

- Technologie de base : Chronoscope S1 de Witschi
- Acquisition du signal analogique : Fréquence de 40 kHz synchronisée avec la vision permettant l'affichage graphique

Deux modes de mesure :

- Direct : Valeurs paires et impaires synchronisées avec la vision (avec calcul du repère)
- RS232 : Mesures par le Witschi S1 transférées toutes les 2 secondes (valeurs intégrées)

The graph shows two data series over a 350ms period. The 'Elongation du balancier' is represented by a smooth green curve that peaks at approximately 170ms. The 'Signal acoustique' is represented by sharp black vertical spikes that occur at the peaks and troughs of the green curve, indicating synchronization between the acoustic signal and the physical movement of the balance wheel.




Page 16 / 33




CIBACHRONOMETER
 INTERNATIONAL
 CONGRESS
 14-17 SEPTEMBER 2017
 COLOGNE GERMANY



Cas particulier : le mode libre




Page 17 / 33





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

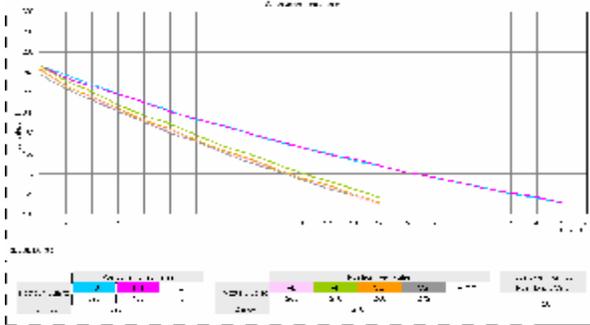
Mode libre

Implications :

- L'excitation automatique du balancier
- Uniquement la mesure par vision
- La mesure de **toutes** les amplitudes

Résultats :

- Courbe d'amortissement
- Calcul du facteur de qualité



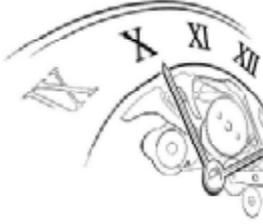



Page 18 / 33

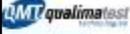




CIBACHRONOMETRICAL
CONGRESS
MAY 26-27 2015
COURMAYEUR (VAUD)
SWITZERLAND



Autres points techniques




Page 19 / 33



AP
AUDEMARS PIGUET
Les maîtres de l'horlogerie depuis 1875



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

Les autres fonctions

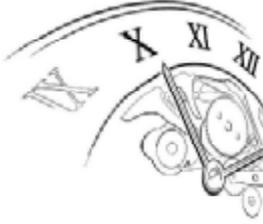
- **Évaluation de la correction de l'angle théorique de levée**
- **Un système d'acquisition d'images rapide synchronisé avec l'acoustique :**
 - Min : 500 images par seconde, avec un champ de 14 x 11 mm
 - Max : 8'000 images par seconde, avec un champ de 14 x 0.7 mm
- **Données complètes d'alternances pour analyse :**
 - Film du balancier à 4 kHz
 - Courbe de la trajectoire du balancier
 - Signal acoustique synchronisé avec la trajectoire
 - Signal de la vitesse instantanée mesuré par le SMEV




Page 20 / 33

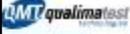


AP
AUDEMARS PIGUET
Les maîtres de l'horlogerie depuis 1875

Quelques résultats

(Démonstration de l'équipement dans le hall)



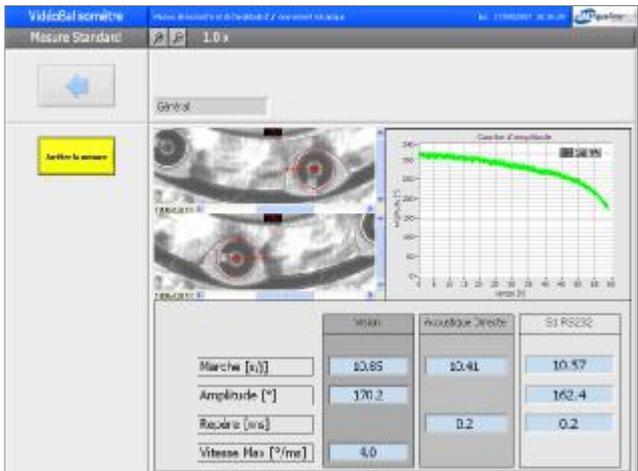



Page 21 / 33



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

Toutes les mesures réalisées simultanément



	SI 1000	Acoustique Directe	SI R2232
Marche [s]	10.85	10.41	10.57
Amplitude [°]	170.2		162.4
Requie [ms]		0.2	0.2
Vitesse Max [°/me]	4.0		

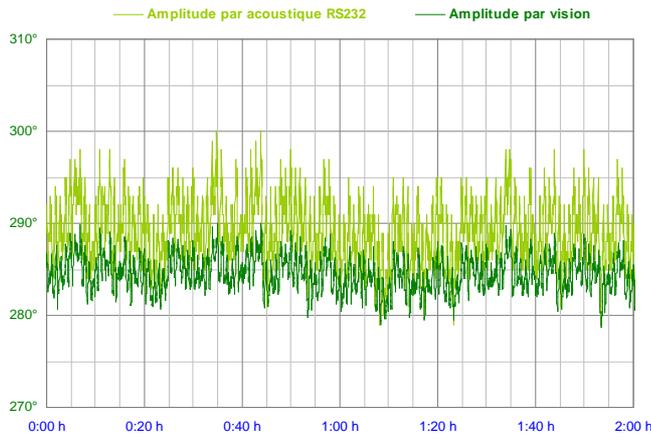
- Mesures sous forme numériques et graphiques
- Images des points de rebroussement
- États du système





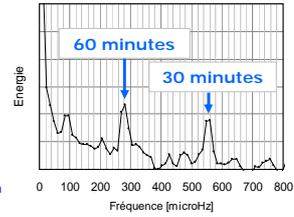

Page 22 / 33

Les mesures d'amplitudes : exemple

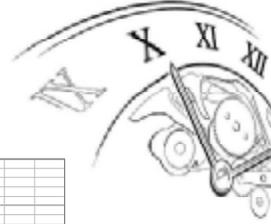
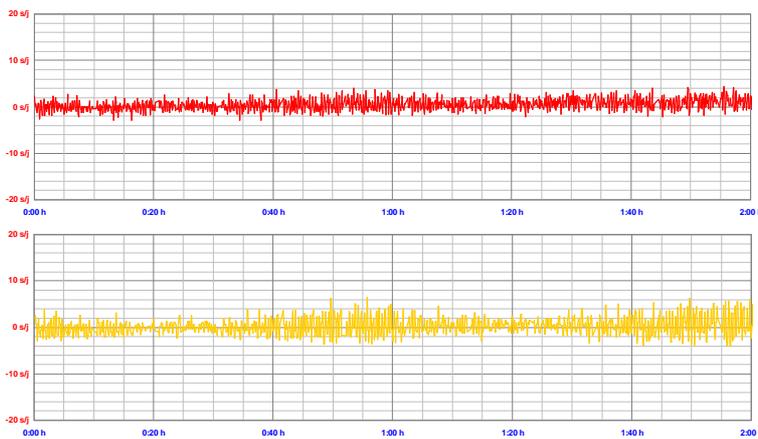


$$\Delta_{\text{amplitude}} = - 5^\circ$$

Analyse fréquentielle sur une mesure par vision



Les mesures de marches : exemple



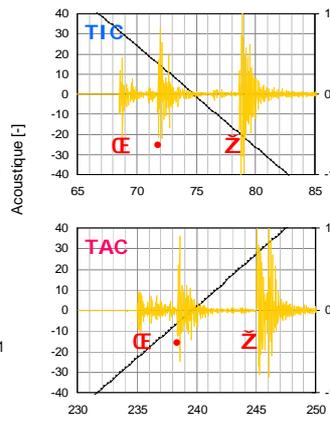
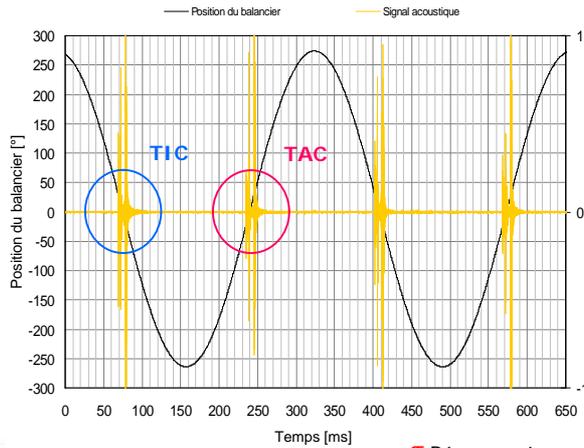
Vision

$$\Delta_{\text{marche}} = 0.2 \text{ s/j}$$

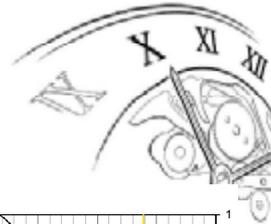
Acoustique
RS232



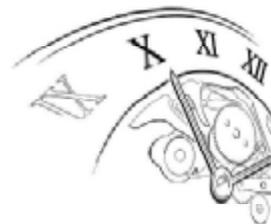
Analyse des signaux pour une connaissance temporelle et géométrique des évènements

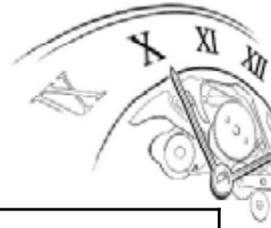


- E Dégagement
- Impulsion
- Z Chute



Spécifications





Spécifications

Base de temps	Rubidium, stabilité < 0.0001 ppm
Durée de mesure	Illimitée
Conditions de mesure	Actuellement, un minimum de 8 points de référence sur le balancier (tous les 45°) Une portion angulaire visible de 120°
Positions de mesure	CH / CB / VH / VD / VB / VG + positions intermédiaires à 45°
Résultats	PC pour l'affichage, le traitement, les rapports et l'exportation des données.



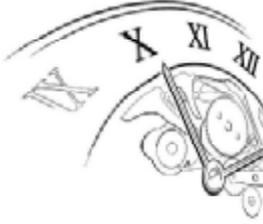
Spécifications : Les 3 types de mesures

	Vision par caméra (entretenu et libre)		Acoustique directe (entretenu)		Acoustique RS-232 (entretenu)	
	Plage	Précis.	Plage	Précis.	Plage	Précis.
Marche [s/j]	± 1'000	± 1	± 1'000	± 1	± 999 ou ± 99.0	± 1 ± 0.1
Amplitude [°]	1 à 400	± 0.5	---	---	80 à 360	Basée sur l'angle de levée
Repère [ms]	---	---	0 à 9.9	0.1	0 à 9.9	0.1
Vitesse [°/ms]	0 à 10	0.1	---	---	---	---
Période de mesure	2 oscillations successives sur 6		2 oscillations successives sur 6		Mesures basées sur la période d'intégration	





CIBACHRONOMETER
INTERNATIONAL
CONGRESS
MAY 26-27 2017
CÖLNDERS (HE)
SWITZERLAND



Evaluation



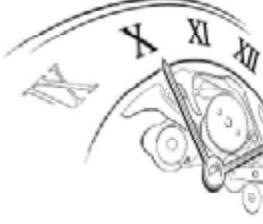

Page 29 / 33



AP
AUDEMARS PIGUET
Les maîtres de l'horlogerie depuis 1875



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



Avantages

- Pas de préparation des balanciers
- Pas d'angle de levée à connaître
- Analyse poussée des perturbations
- Amplitudes **mesurées** et non calculées
- Possibilité de mesure automatique dans toutes les positions (mode libre ou entretenu)

Inconvénients

- Mesures sur mouvement seul
- Appareil dédié au laboratoire
- Coût



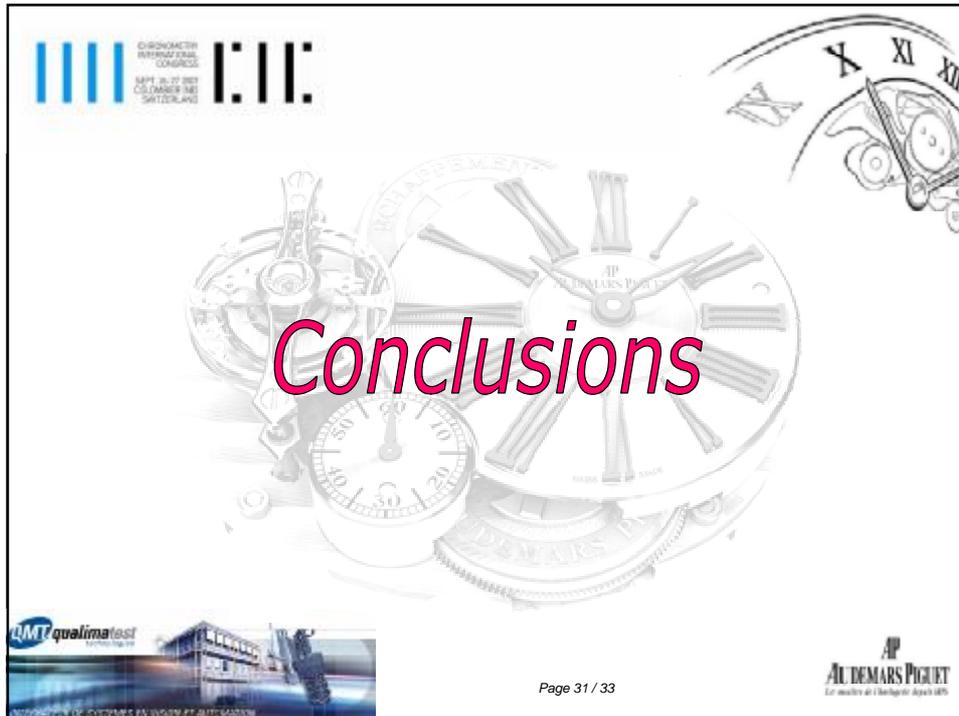
Fabrication de l'appareil



Page 30 / 33



AP
AUDEMARS PIGUET
Les maîtres de l'horlogerie depuis 1875



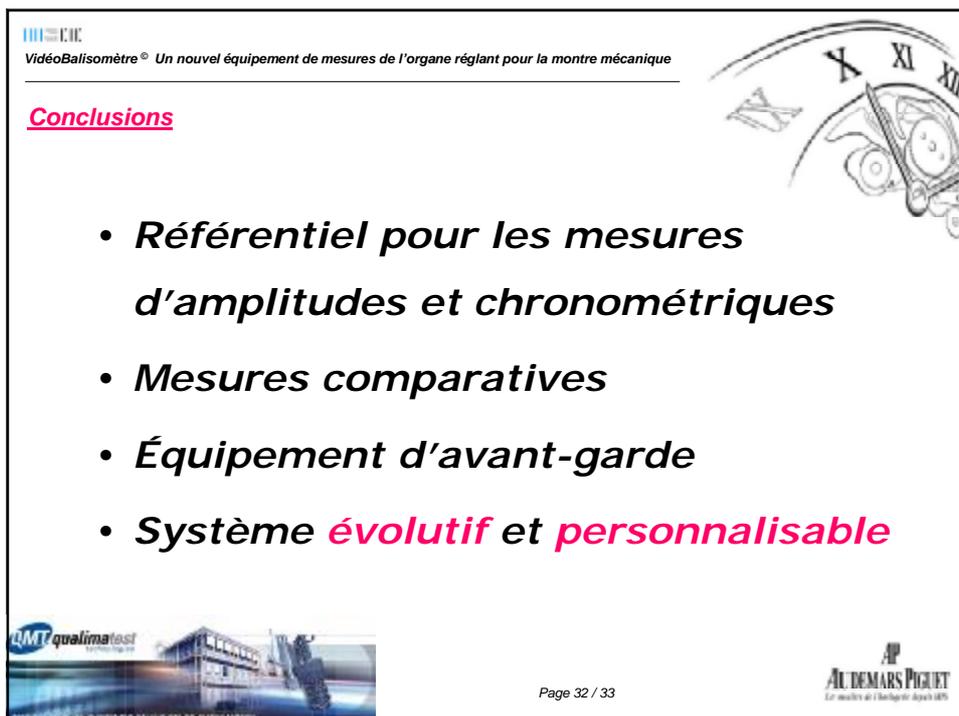
CHRONOMETER
INTERNATIONAL
CONGRESS
MAY 26-27 2015
COLOGNE GERMANY

Conclusions

DMT qualimat est
INNOVATION

Page 31 / 33

AP
AUDEMARS PIGUET
Les maîtres de l'horlogerie depuis 1875



DMT qualimat est
INNOVATION

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

Conclusions

- **Référentiel pour les mesures d'amplitudes et chronométriques**
- **Mesures comparatives**
- **Équipement d'avant-garde**
- **Systeme évolutif et personnalisable**

DMT qualimat est
INNOVATION

Page 32 / 33

AP
AUDEMARS PIGUET
Les maîtres de l'horlogerie depuis 1875



Un développement de :



S. Meylan (conférencier)
G. Pellet
U. Müller
A. Perriard
H. Gervaise

I. Meissner (conférencier)
L. Vuignier
A. Châlons
M. Iarocci
S. D'Aleo

Avec la collaboration technique de :

