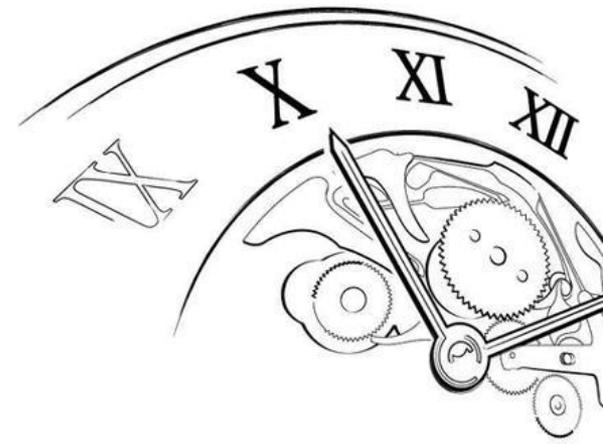




CHRONOMETRY
INTERNATIONAL
CONGRESS

SEPT. 26-27 2007
COLOMBIER (NE)
SWITZERLAND



VidéoBalisomètre[®]

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

QMT qualimatest
technologies



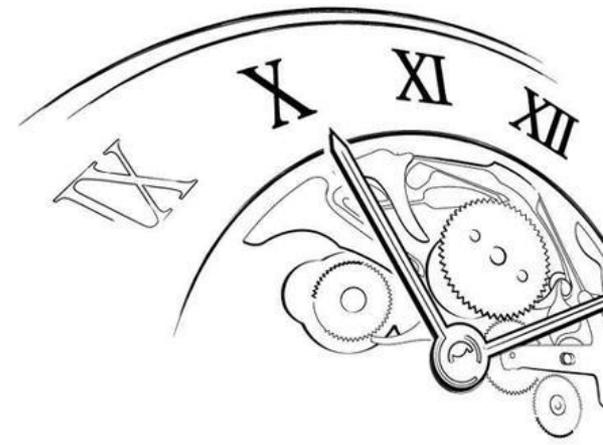
INTEGRATEUR DE SYSTEMES EN VISION ET AUTOMATION

AP
AUDEMARS PIGUET
Le maître de l'horlogerie depuis 1875



CHRONOMETRY
INTERNATIONAL
CONGRESS

SEPT. 26-27 2007
COLOMBIER (NE)
SWITZERLAND



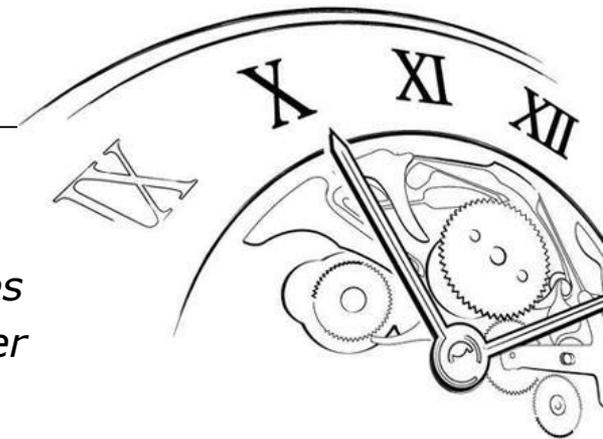
Historique



QMT qualimatest
technologies



INTEGRATEUR DE SYSTEMES EN VISION ET AUTOMATION



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**

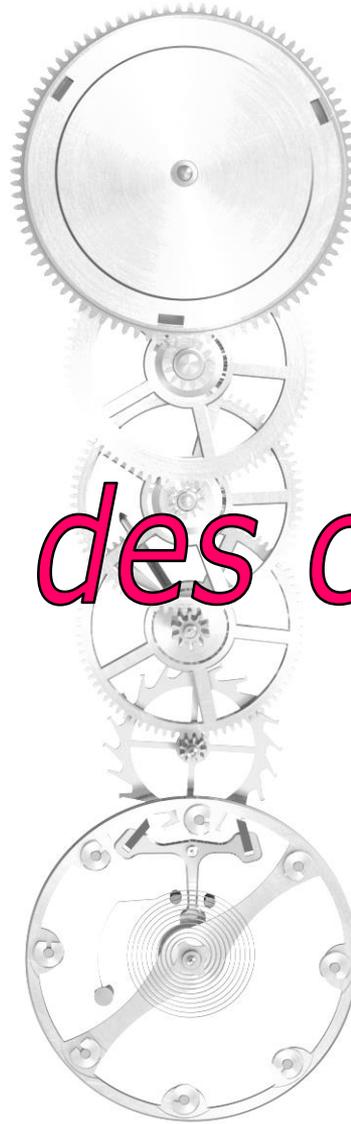
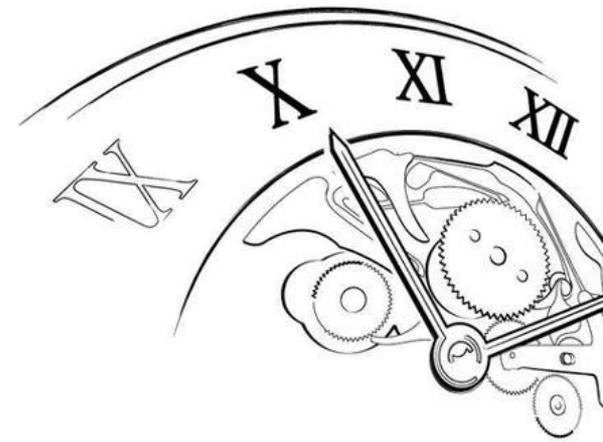
- **2007** - Présentation de l'aboutissement du projet au CIC





CHRONOMETRY
INTERNATIONAL
CONGRESS

SEPT. 26-27 2007
COLOMBIER (NE)
SWITZERLAND

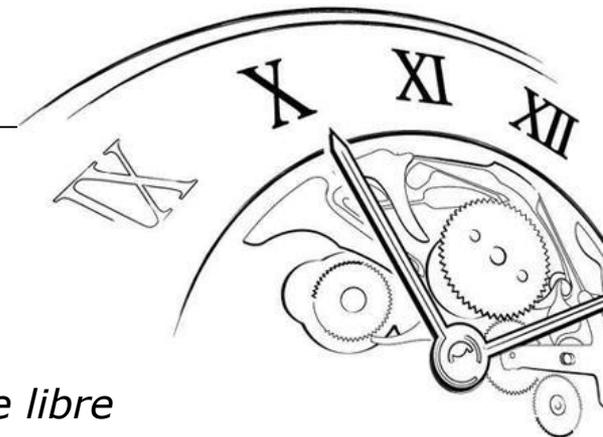


Cahier des charges

QMT qualimatest
technologies



INTEGRATEUR DE SYSTEMES EN VISION ET AUTOMATION



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





CHRONOMETRY
INTERNATIONAL
CONGRESS

SEPT. 26-27 2007
COLOMBIER (NE)
SWITZERLAND

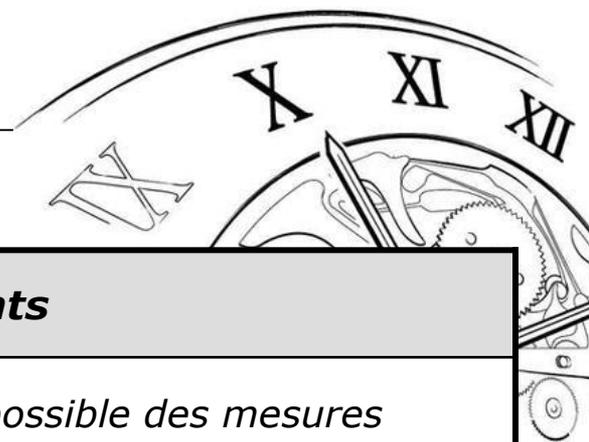


Evaluation des technologies connues

QMT qualimatest
technologies



INTEGRATEUR DE SYSTEMES EN VISION ET AUTOMATION



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



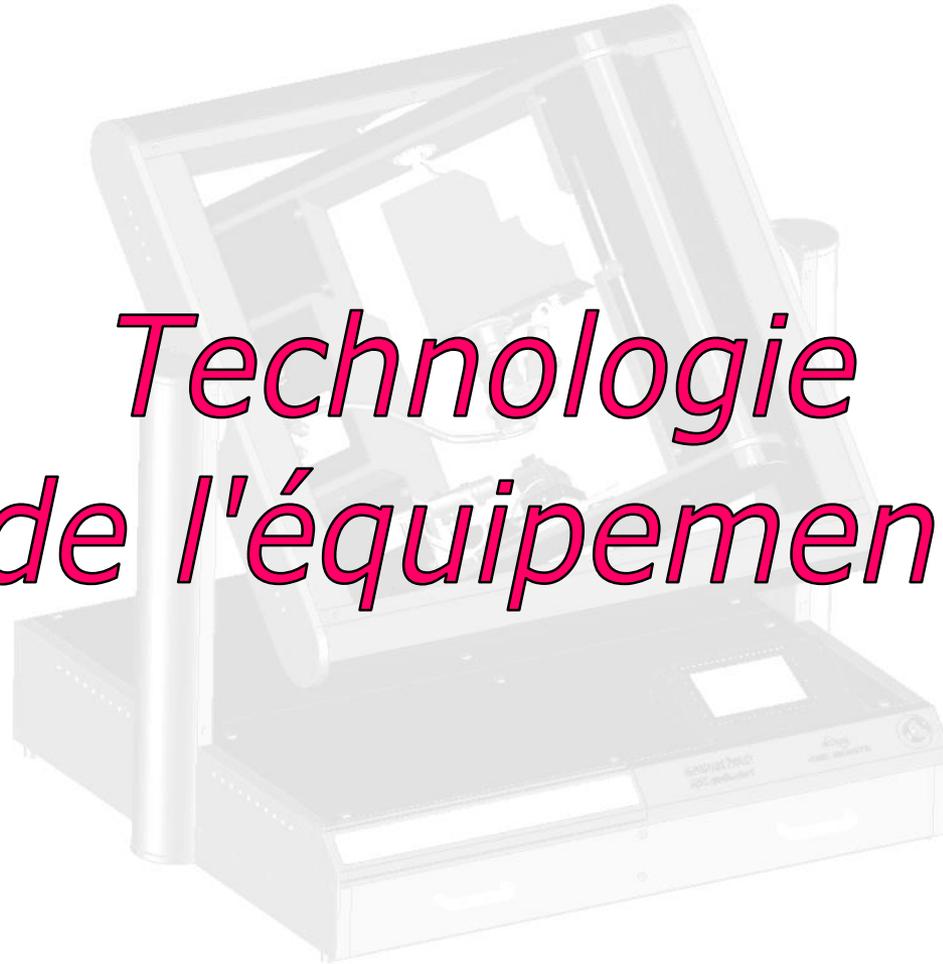


CHRONOMETRY
INTERNATIONAL
CONGRESS

SEPT. 26-27 2007
COLOMBIER (NE)
SWITZERLAND



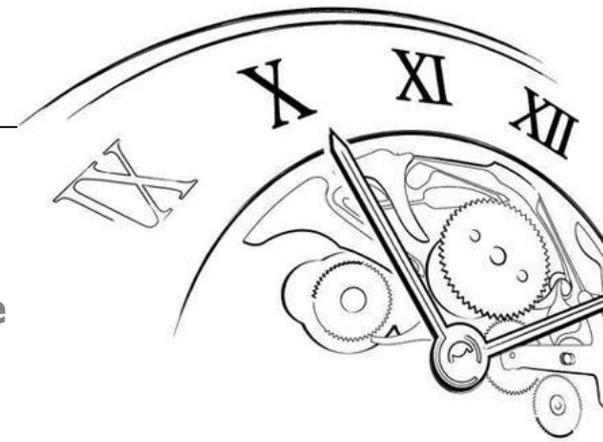
Technologie de l'équipement



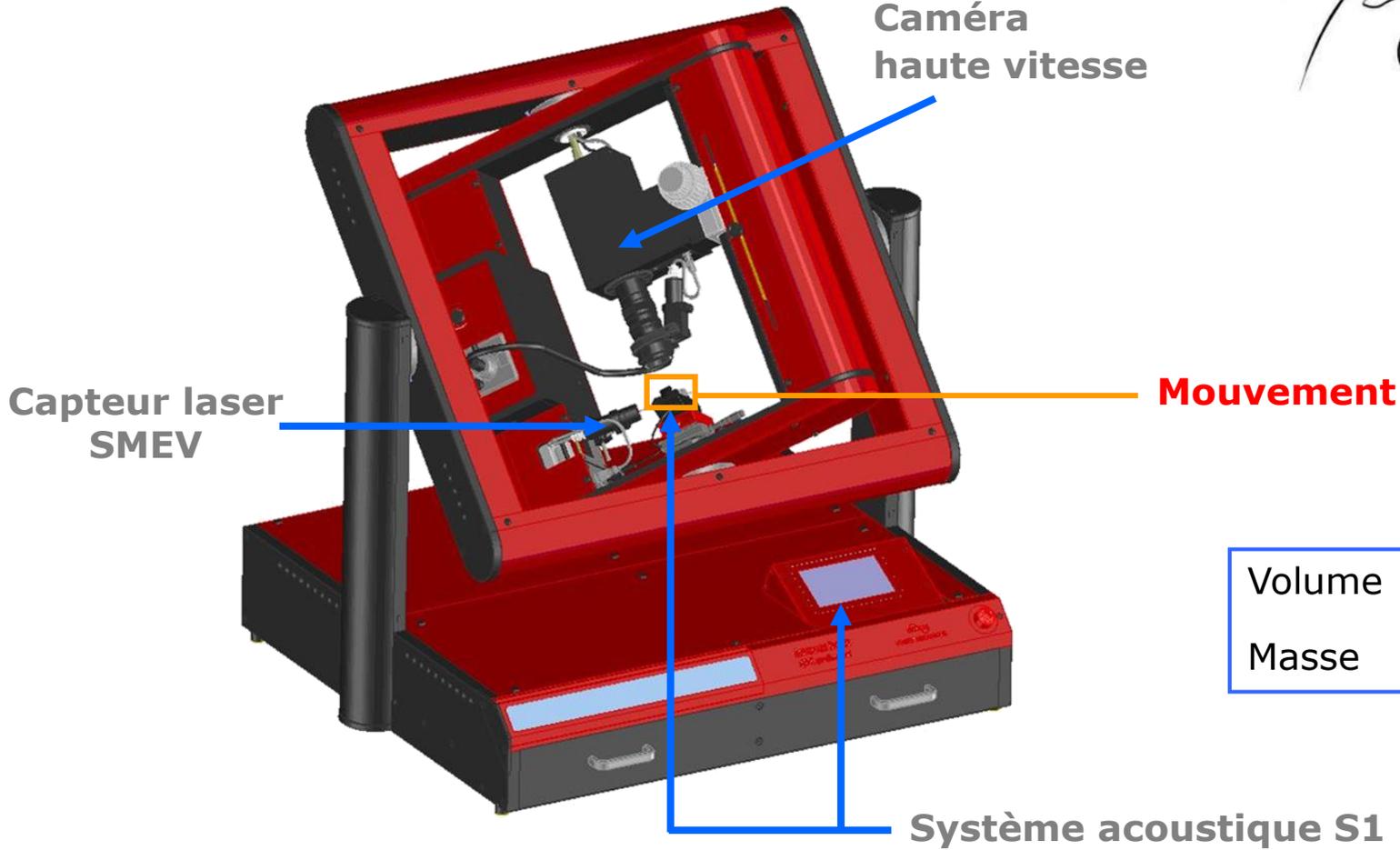
QMT qualimatest
technologies



INTEGRATEUR DE SYSTEMES EN VISION ET AUTOMATION



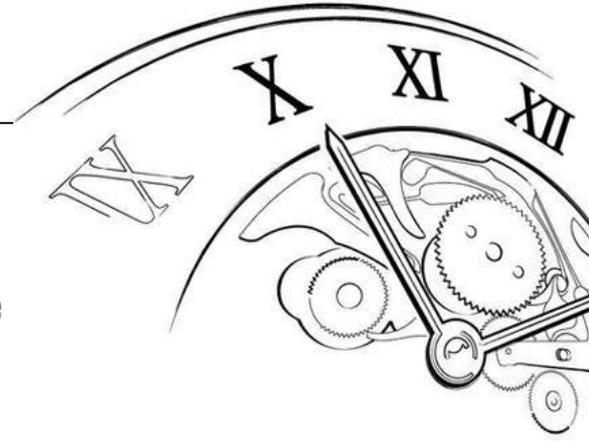
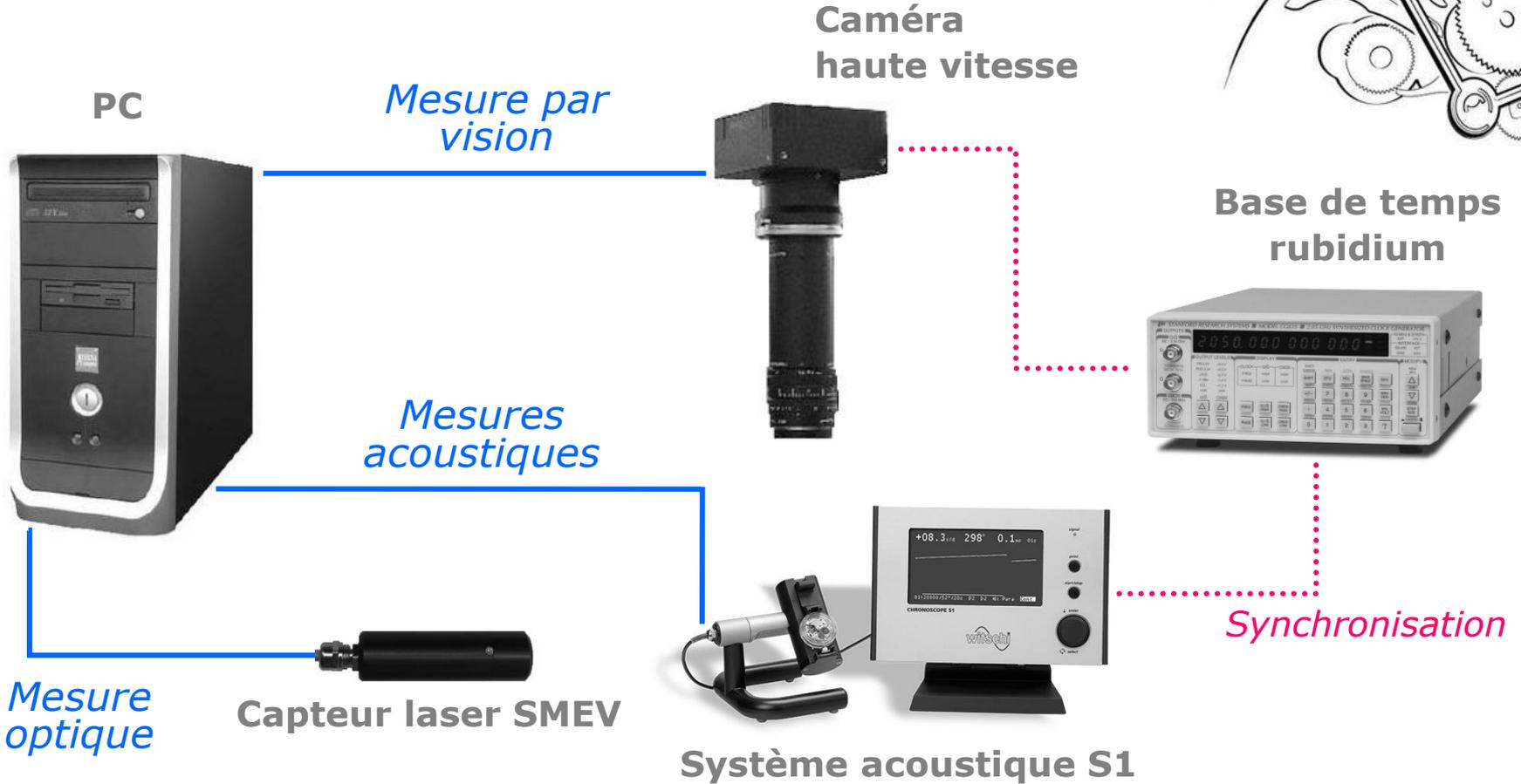
Présentation de l'équipement

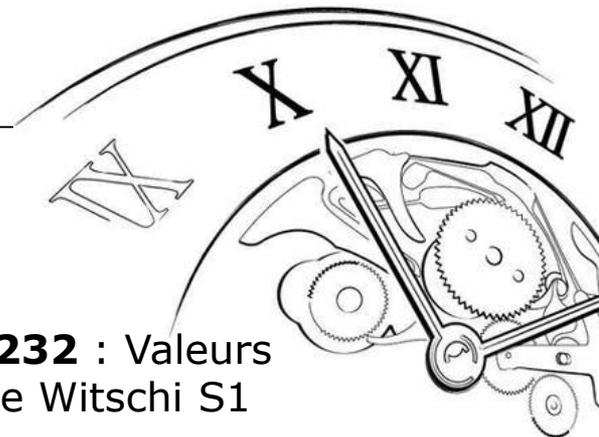


Volume : $< 1 \text{ m}^3$
Masse : $\approx 100 \text{ kg}$



Schéma de principe des mesures



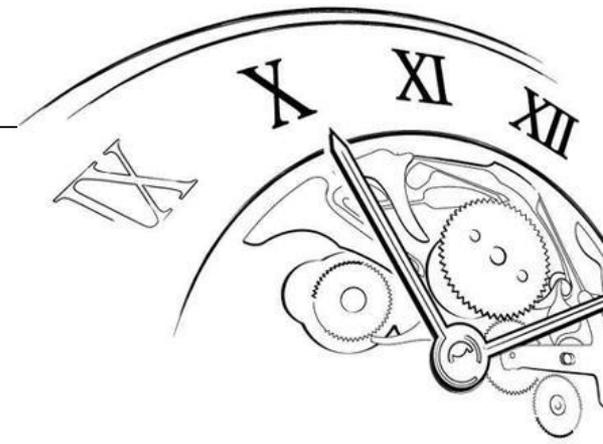


Plusieurs technologies de mesure

- **Vision** : Mesure par l'analyse de la trajectoire du balancier (images)
- **Acoustique directe** : Mesure par le traitement informatique du signal acoustique
- **Acoustique RS232** : Valeurs transférées par le Witschi S1
- **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





CHRONOMETRY
INTERNATIONAL
CONGRESS

SEPT. 26-27 2007
COLOMBIER (NE)
SWITZERLAND



Mesure vision

QMT qualimatest
technologies



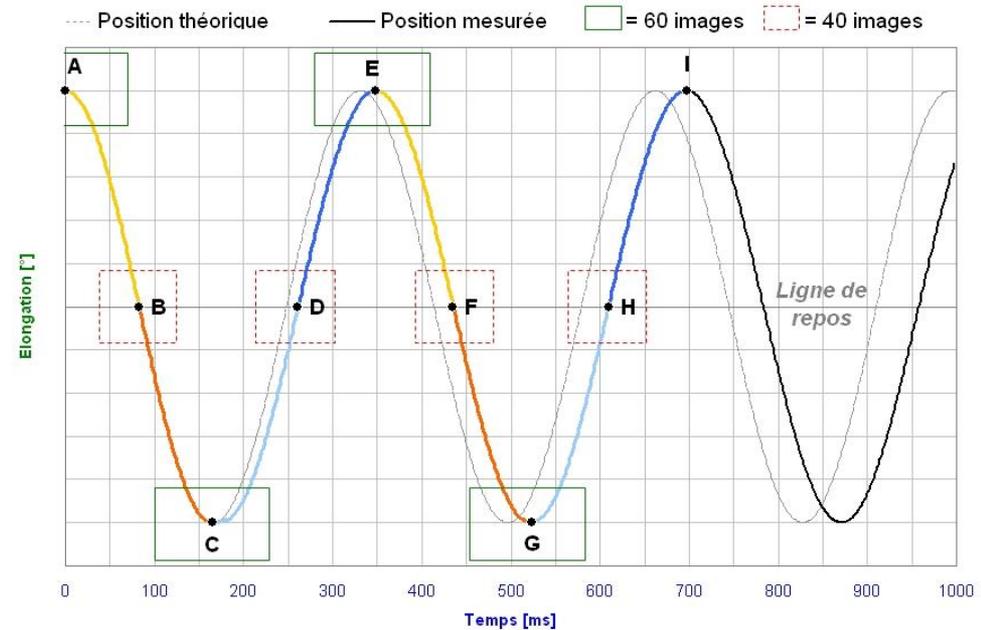
INTEGRATEUR DE SYSTEMES EN VISION ET AUTOMATION

AP
AUDEMARS PIGUET
Le maître de l'horlogerie depuis 1875



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



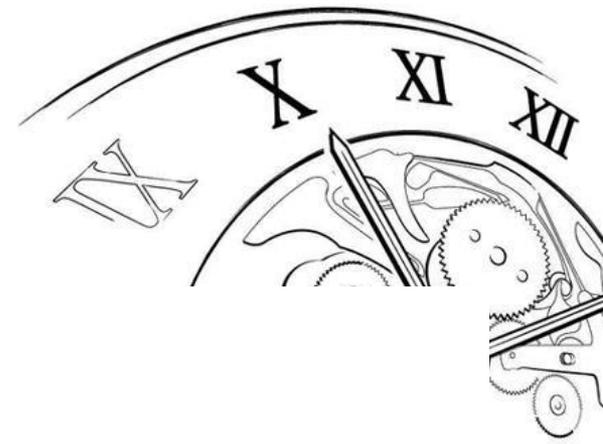
Cadence de mesure :
Une série de mesures toutes les 2 secondes





CHRONOMETRY
INTERNATIONAL
CONGRESS

SEPT. 26-27 2007
COLOMBIER (NE)
SWITZERLAND

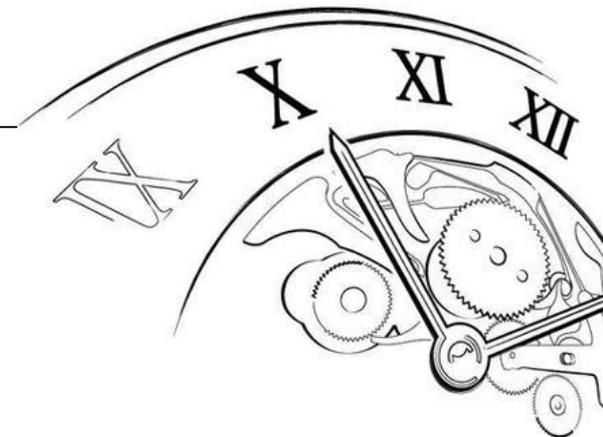


Mesure acoustique

QMT qualimatest
technologies



INTEGRATEUR DE SYSTEMES EN VISION ET AUTOMATION

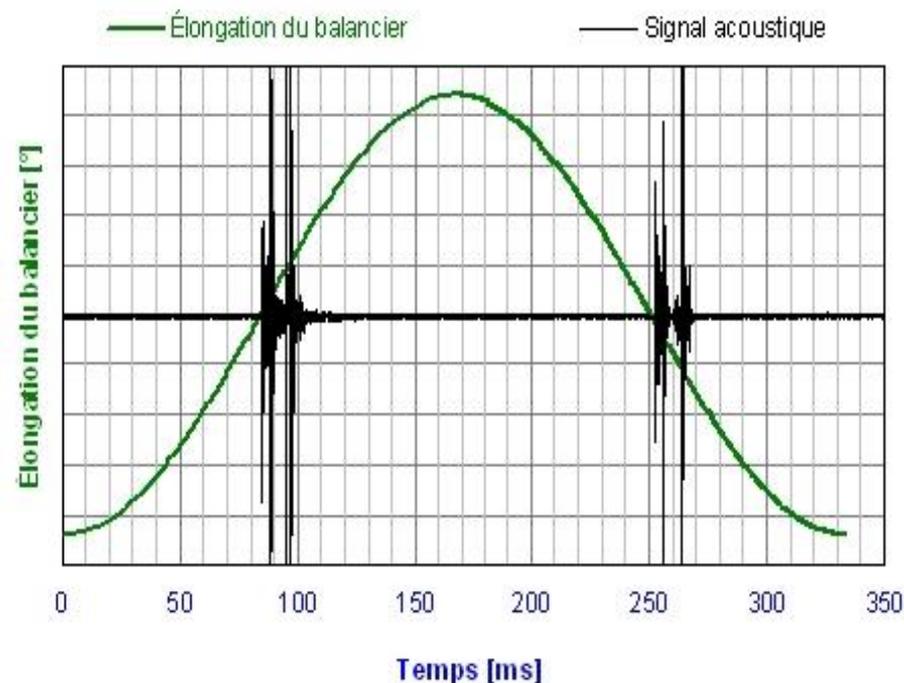


Les mesures acoustiques en comparaison des mesures vision

- **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)





CHRONOMETRY
INTERNATIONAL
CONGRESS

SEPT. 26-27 2007
COLOMBIER (NE)
SWITZERLAND

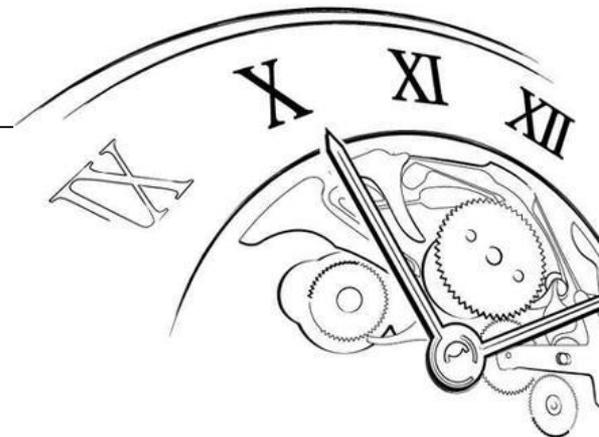


Cas particulier : le mode libre

QMT qualimatest
technologies



INTEGRATEUR DE SYSTEMES EN VISION ET AUTOMATION



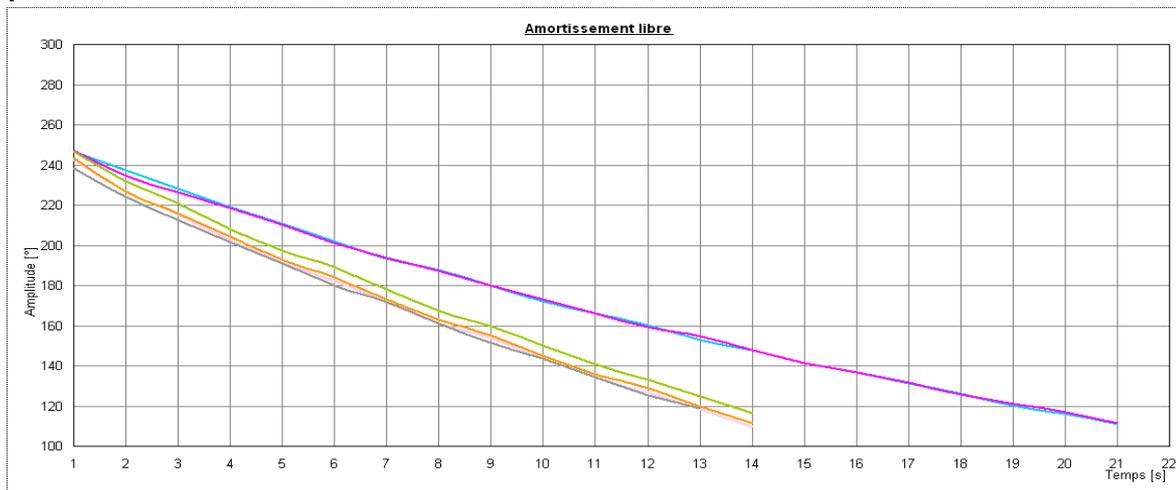
Mode libre

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



RESULTATS :

Facteur Qualité	Positions horizontales			Δ	Positions verticales				Δ max	Ecart des FQ moy Pos Horiz. / Verti.
	HB	HH			VB	VH	VD	VG		
	396	400		5	263	278	268	272	14	128
FQ moy	398			-	270				-	



CHRONOMETRY
INTERNATIONAL
CONGRESS

SEPT. 26-27 2007
COLOMBIER (NE)
SWITZERLAND



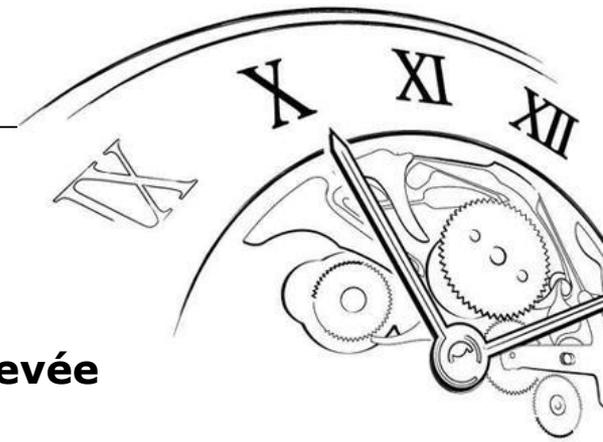
Autres points techniques



QMT qualimatest
technologies



INTEGRATEUR DE SYSTEMES EN VISION ET AUTOMATION



Les autres fonctions

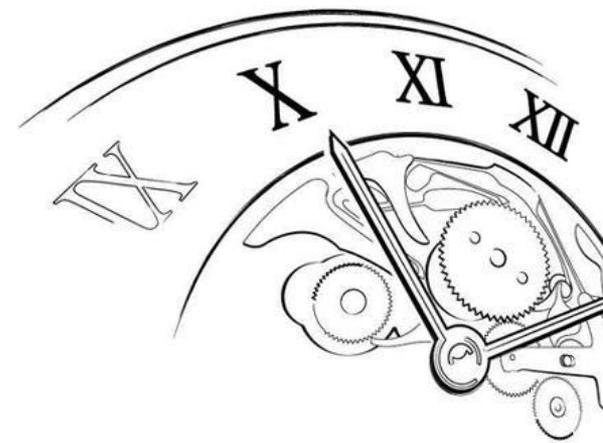
- **Évaluation de la correction de l'angle théorique de levée**
- **Un système d'acquisition d'images rapide synchronisé avec l'acoustique :**
 - Min : 500 images par seconde, avec un champ de 14 x 11 mm
 - Max : 8'000 images par seconde, avec un champ de 14 x 0.7 mm
- **Données complètes d'alternances 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





CHRONOMETRY
INTERNATIONAL
CONGRESS

SEPT. 26-27 2007
COLOMBIER (NE)
SWITZERLAND



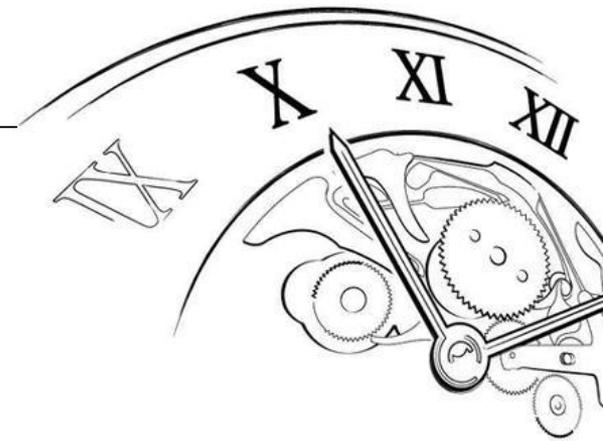
Quelques résultats

(Démonstration de l'équipement dans le hall)

QMT qualimatest
technologies



INTEGRATEUR DE SYSTEMES EN VISION ET AUTOMATION



Toutes les mesures réalisées simultanément

VidéoBalisomètre
Mesure de la marche et de l'amplitude d'un mouvement mécanique
lun. 17/09/2007 18:36:39

Mesure Standard
1.0 x

Général

Arrêter la mesure

1000x128 1X

1000x128 1X

Courbe d'amplitude

Amplitude [°]

Temps [h]

	Vision	Acoustique Directe	S1 RS232
Marche [s/j]	10.85	10.41	10.57
Amplitude [°]	170.2		162.4
Repère [ms]		0.2	0.2
Vitesse Max [°/ms]	4.0		

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

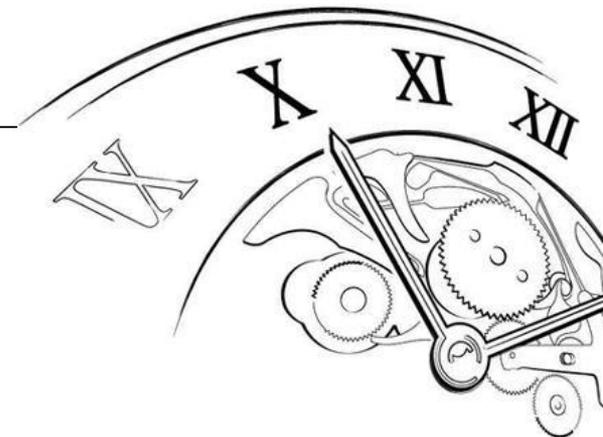
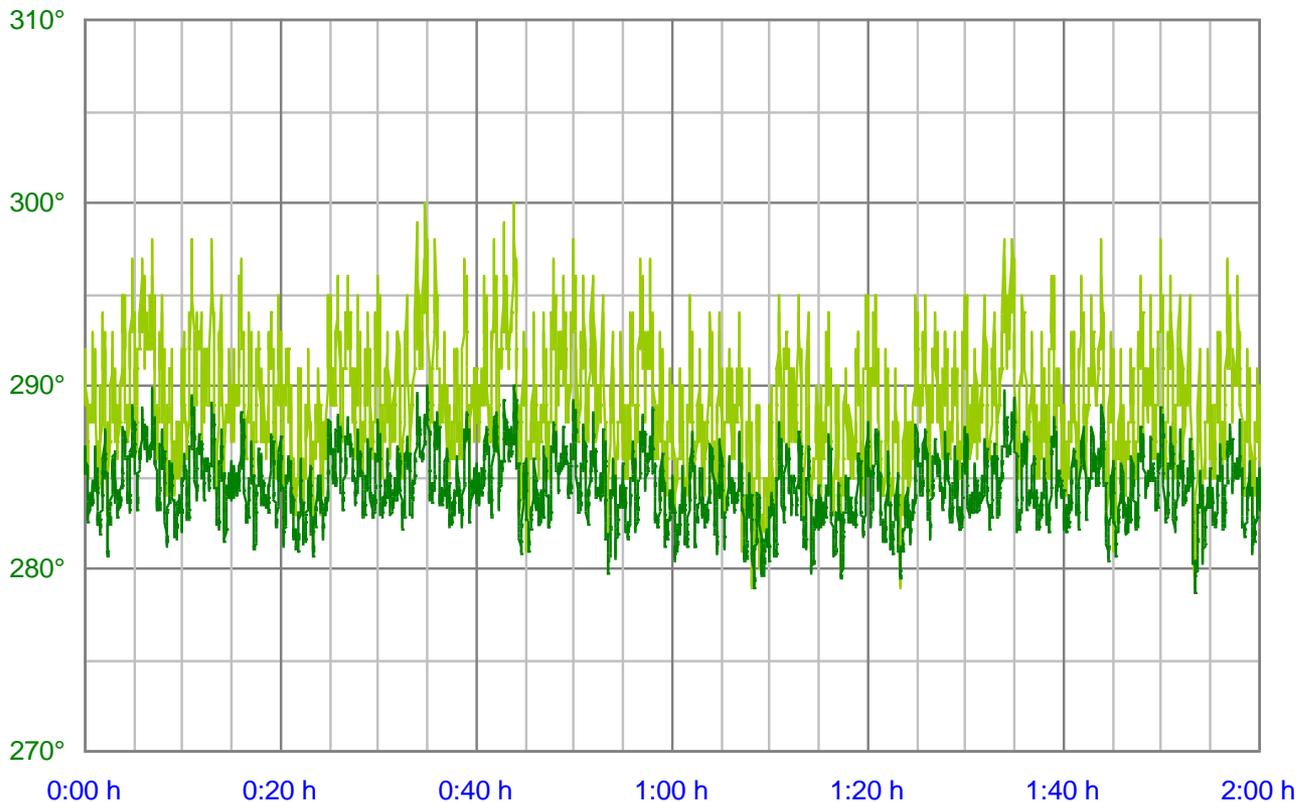
INTEGRATEUR DE SYSTEMES EN VISION ET AUTOMATION

Page 22 / 33

AP
AUDEMARS PIGUET
Le maître de l'horlogerie depuis 1875

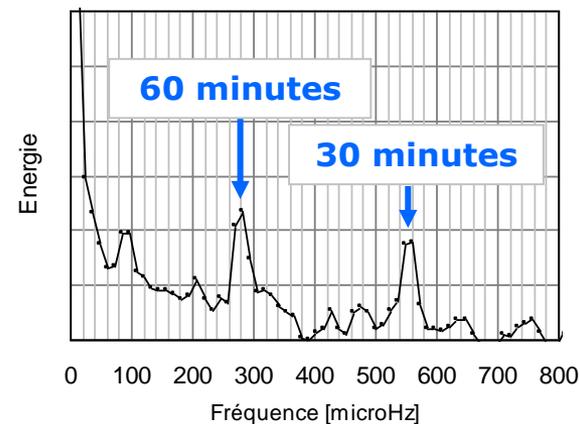
Les mesures d'amplitudes : exemple

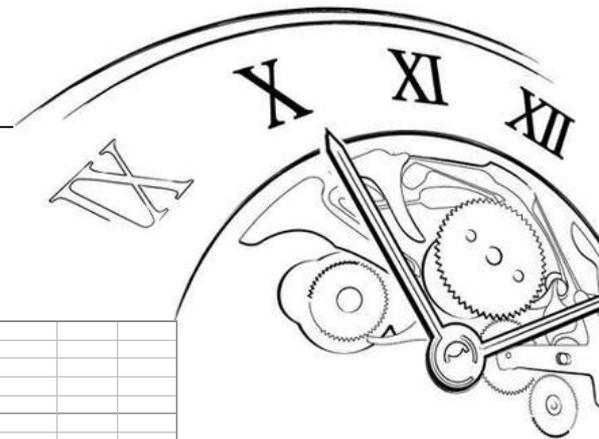
— Amplitude par acoustique RS232 — Amplitude par vision



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

Analyse fréquentielle sur une mesure par vision



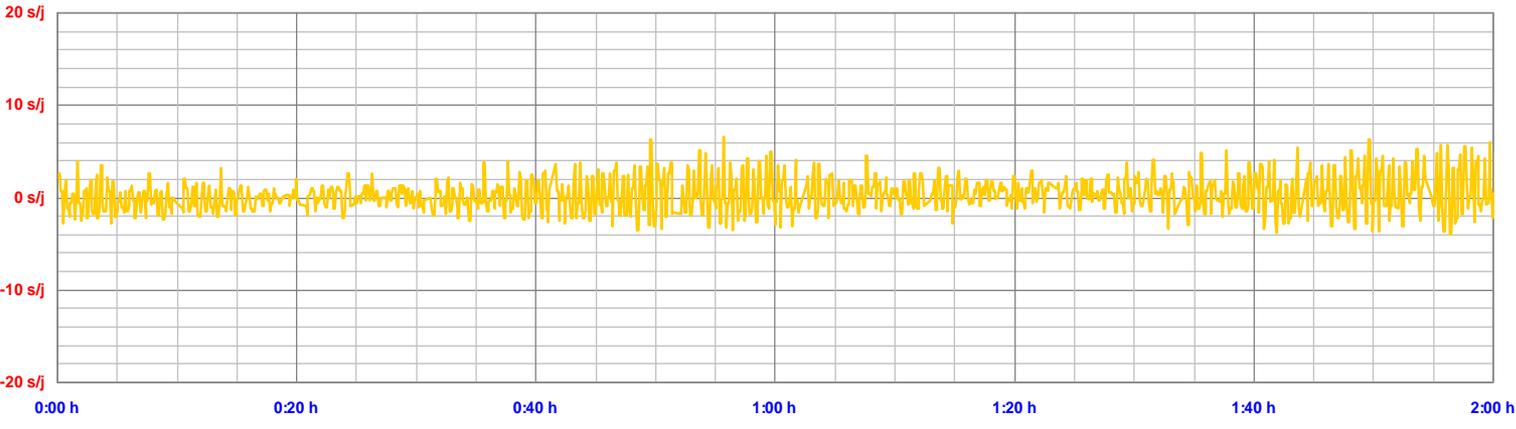
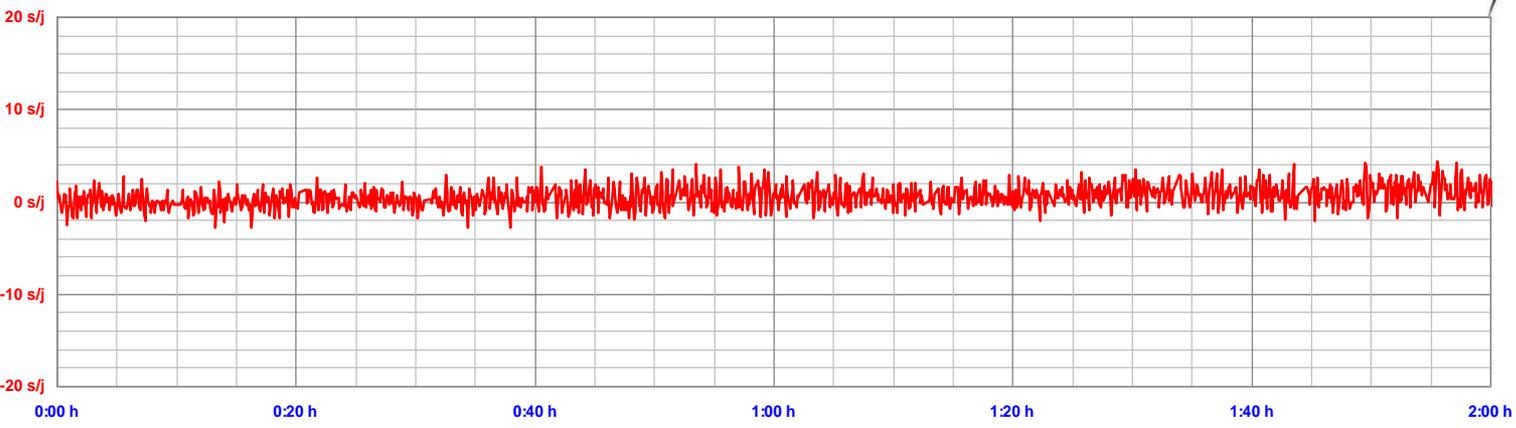


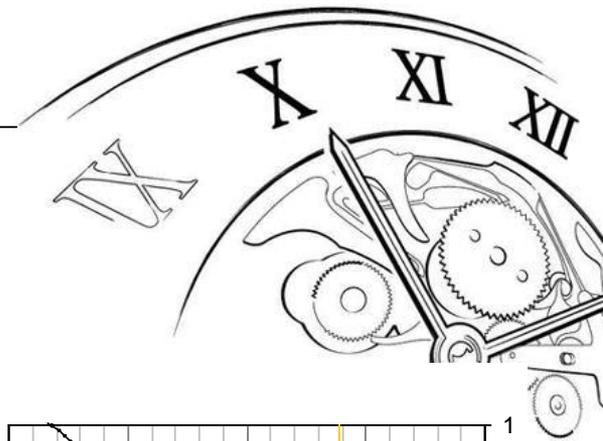
Les mesures de marches : exemple

Vision

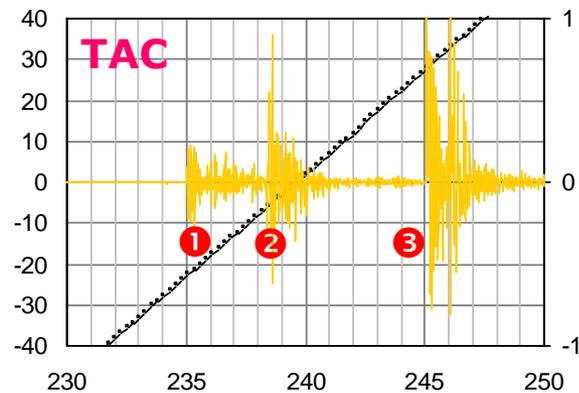
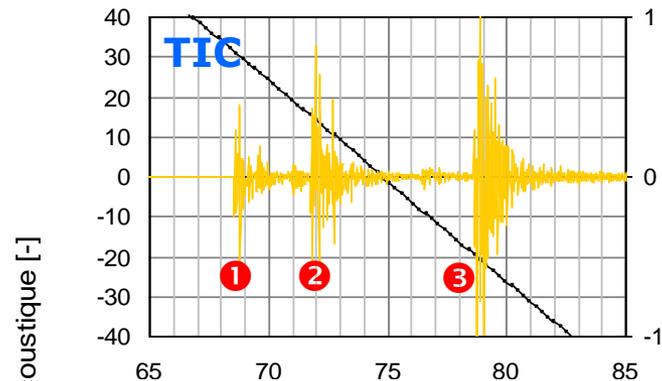
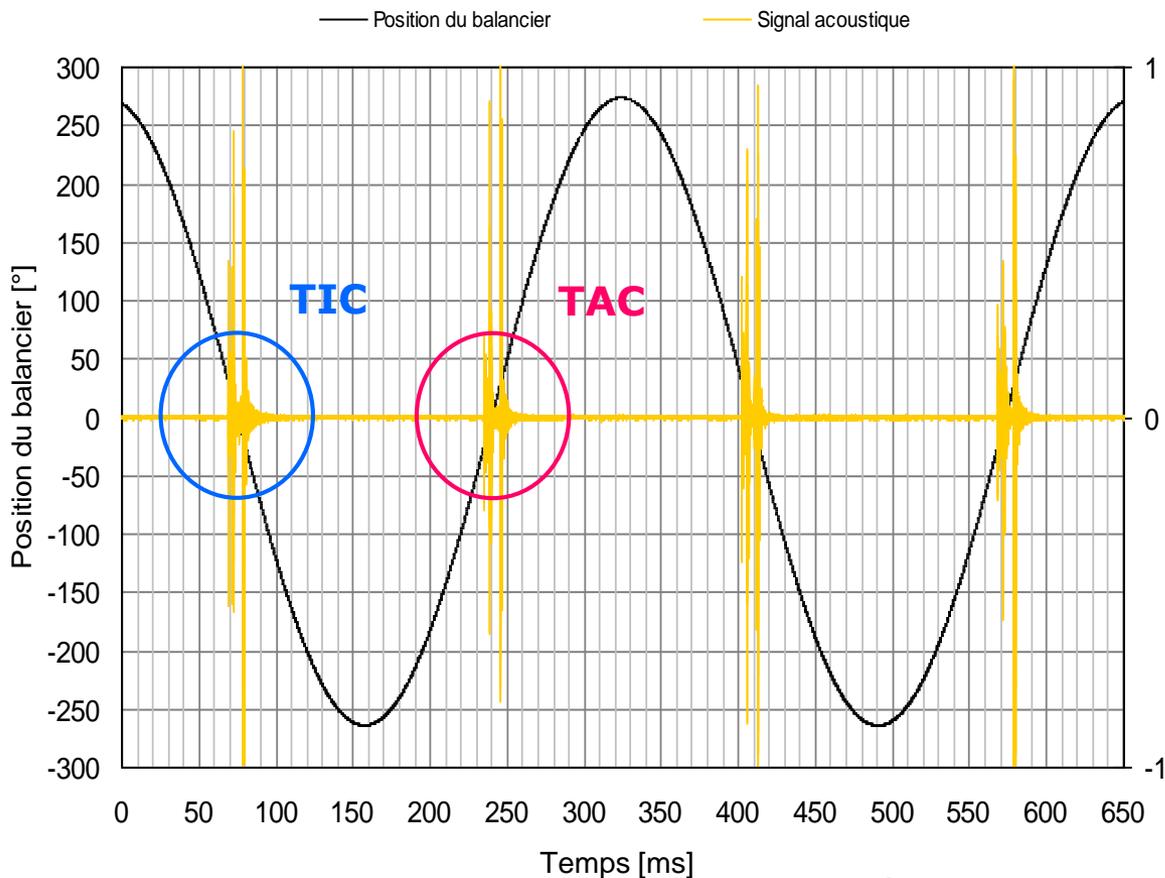
$$\Delta_{\text{marche}} = 0.2 \text{ s/j}$$

Acoustique
RS232





Analyse des signaux pour une connaissance temporelle et géométrique des évènements



- ❶ Dégagement
- ❷ Impulsion
- ❸ Chute





CHRONOMETRY
INTERNATIONAL
CONGRESS

SEPT. 26-27 2007
COLOMBIER (NE)
SWITZERLAND



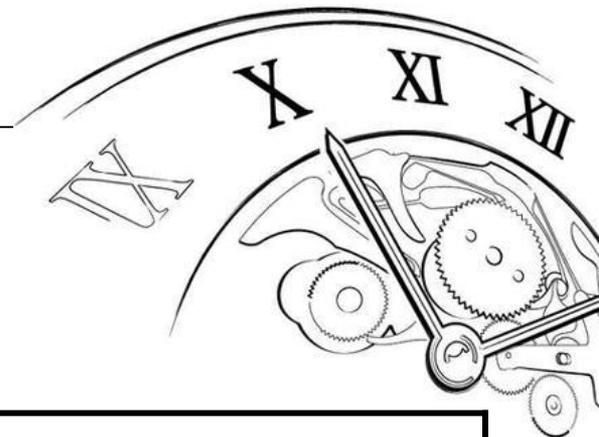
Spécifications



QMT qualimatest
technologies



INTEGRATEUR DE SYSTEMES EN VISION ET AUTOMATION



Spécifications

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



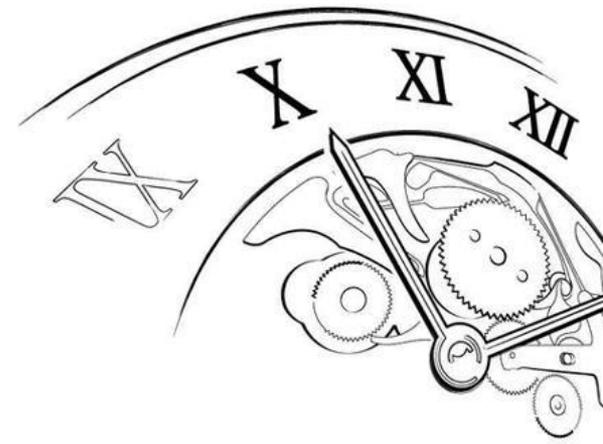
Spécifications : Les 3 types de mesures

	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	



CHRONOMETRY
INTERNATIONAL
CONGRESS

SEPT. 26-27 2007
COLOMBIER (NE)
SWITZERLAND



QMT qualimatest
technologies



INTEGRATEUR DE SYSTEMES EN VISION ET AUTOMATION

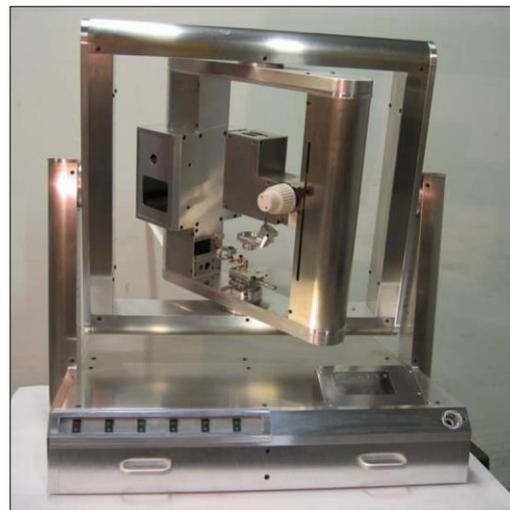


Avantages

- **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**



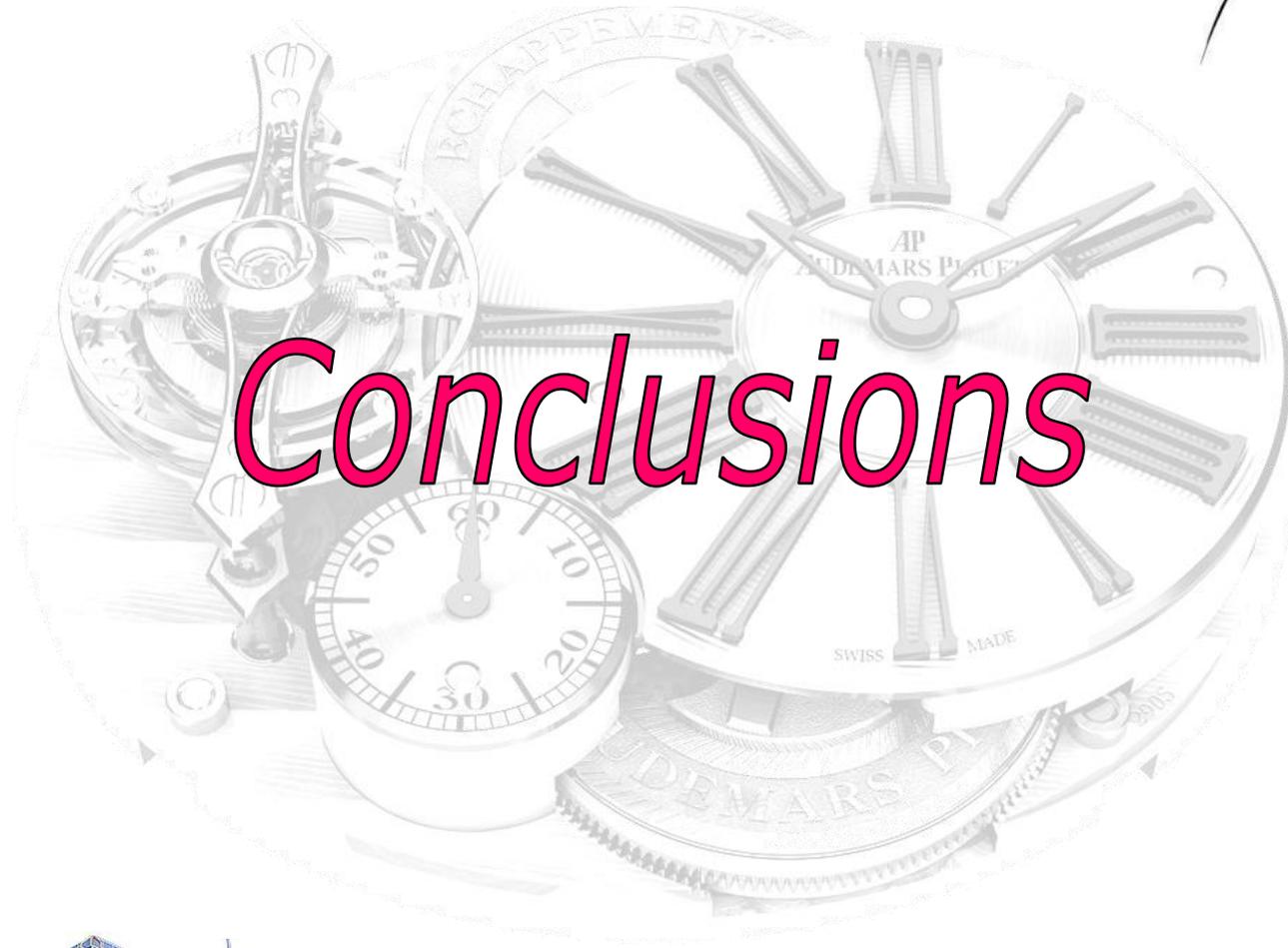
Fabrication de l'appareil





CHRONOMETRY
INTERNATIONAL
CONGRESS

SEPT. 26-27 2007
COLOMBIER (NE)
SWITZERLAND



Conclusions

QMT qualimatest
technologies



INTEGRATEUR DE SYSTEMES EN VISION ET AUTOMATION



Conclusions

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





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 :

