

Modélisation et Commande par Approche d'État pour INOVEO

Y. EL Mrabet, C. Kulcsár, H.F. Raynaud (L2TI)
J. M. Conan, A. Costille, C. Petit (ONERA)

OA en Ophtalmologie

- ✓ Corriger les déformations du front d'onde lors de sa propagation dans les tissus

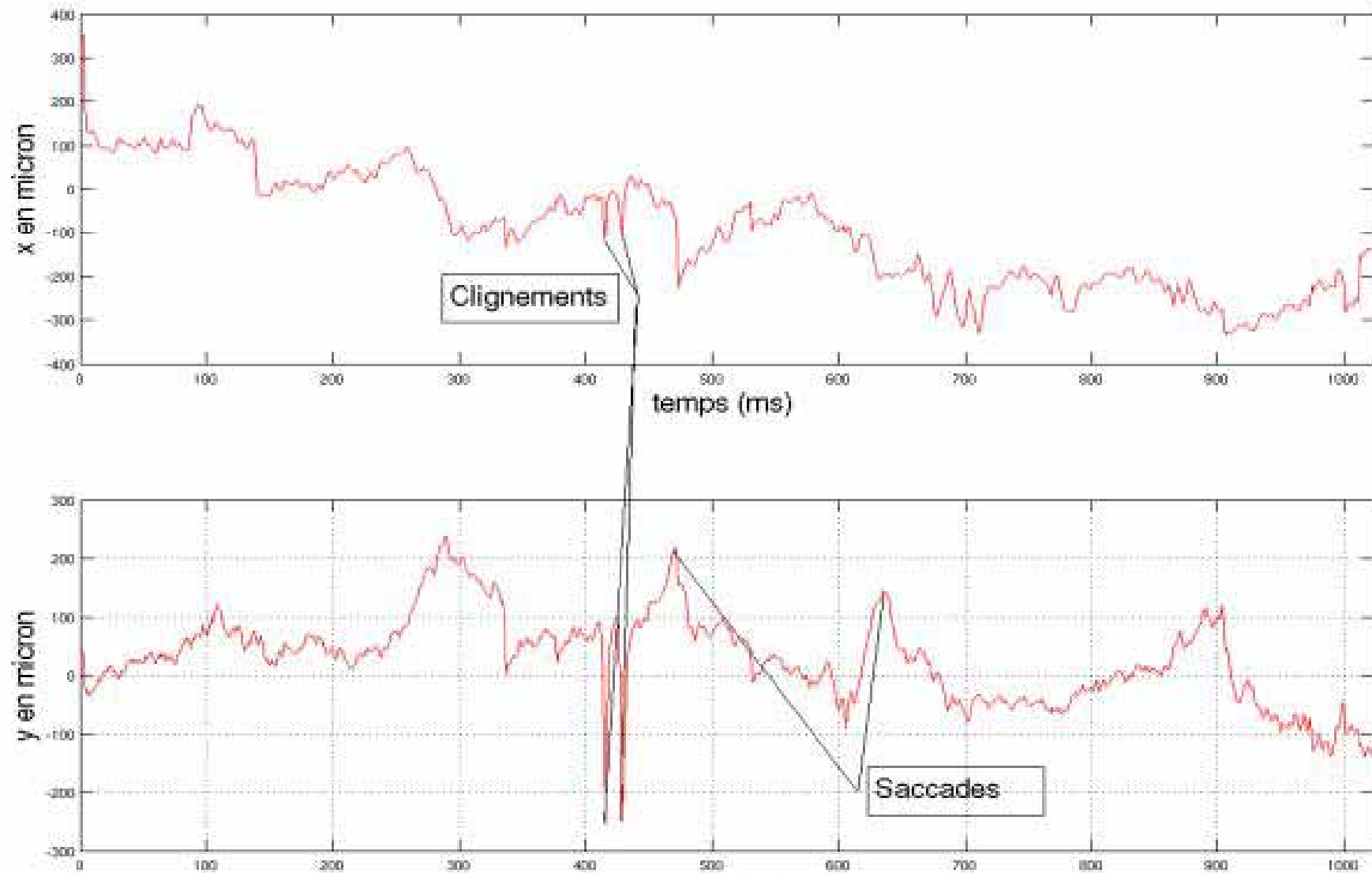
OA en Ophtalmologie

- ☑ Corriger les déformations du front d'onde lors de sa propagation dans les tissus

+

- ☑ Compenser les effets des mouvements involontaires de l'œil en fixation

Séquence type des μm^{vts} de l'œil en fixation



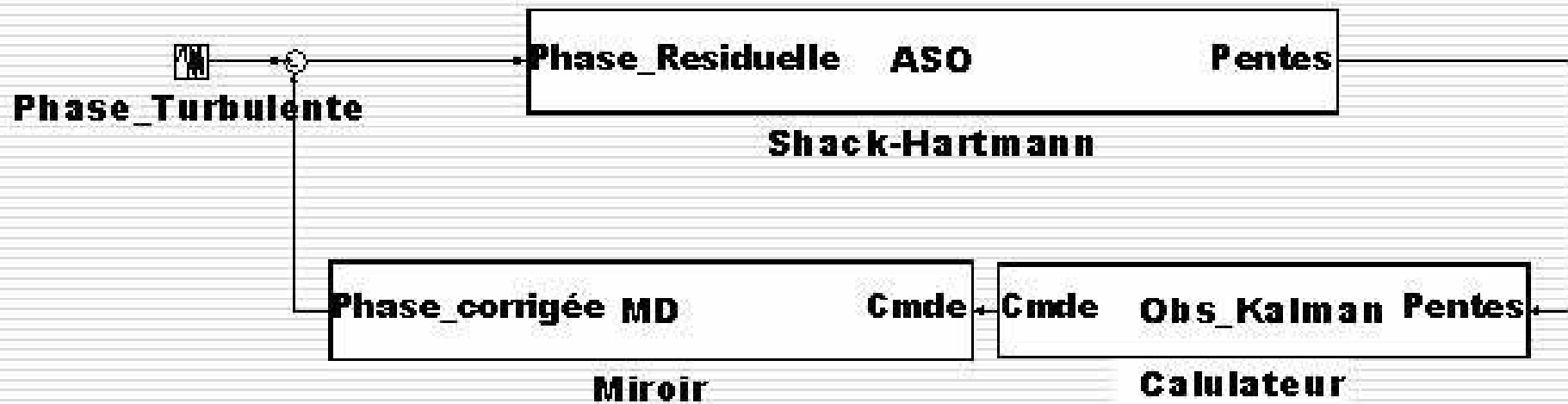
Objectifs d'INOVEO (ANR-RNTS)

Conception d'un prototype d'ophtalmoscope

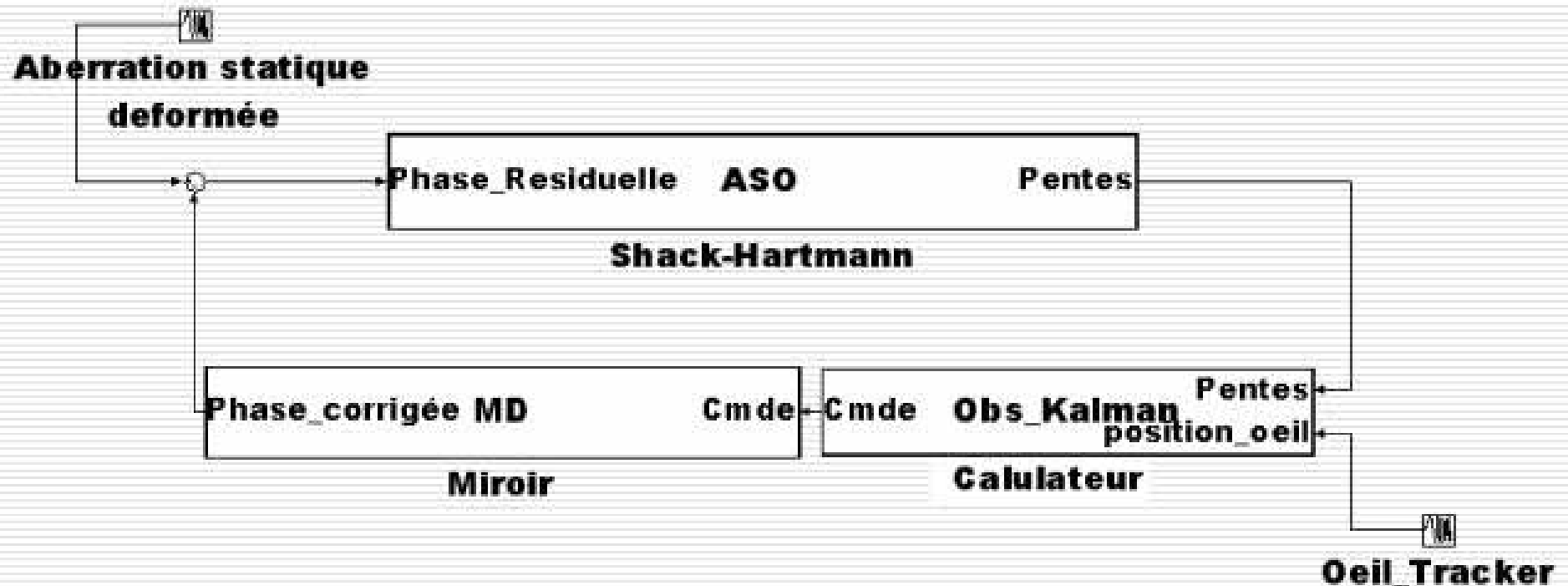
Instrument d'observation et d'imagerie à très haute résolution du tissu rétinien in vivo

Partenaires: L2TI, ONERA, Imagines-Eyes, LESIA, Hôpital Quinze - Vingt , CHI Créteil, Hôpital Necker, Mauna Kea Technologies, ...

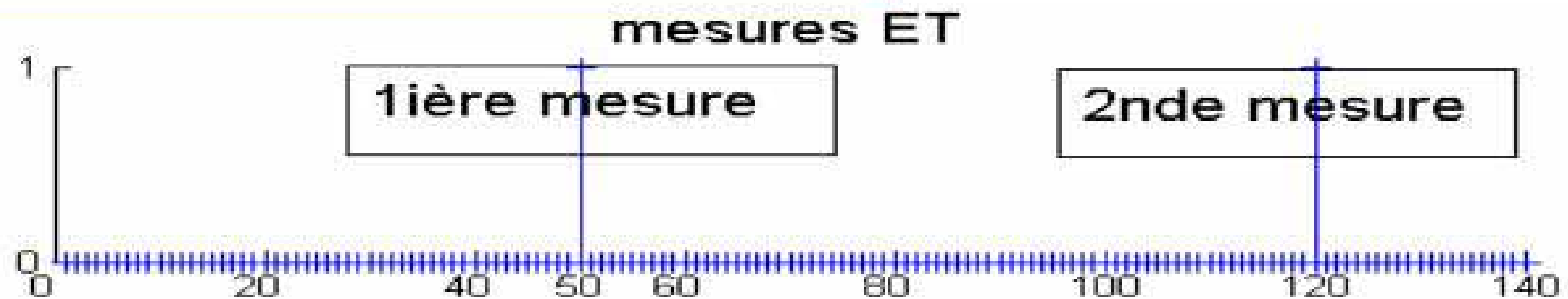
Boucle OA en Astronomie



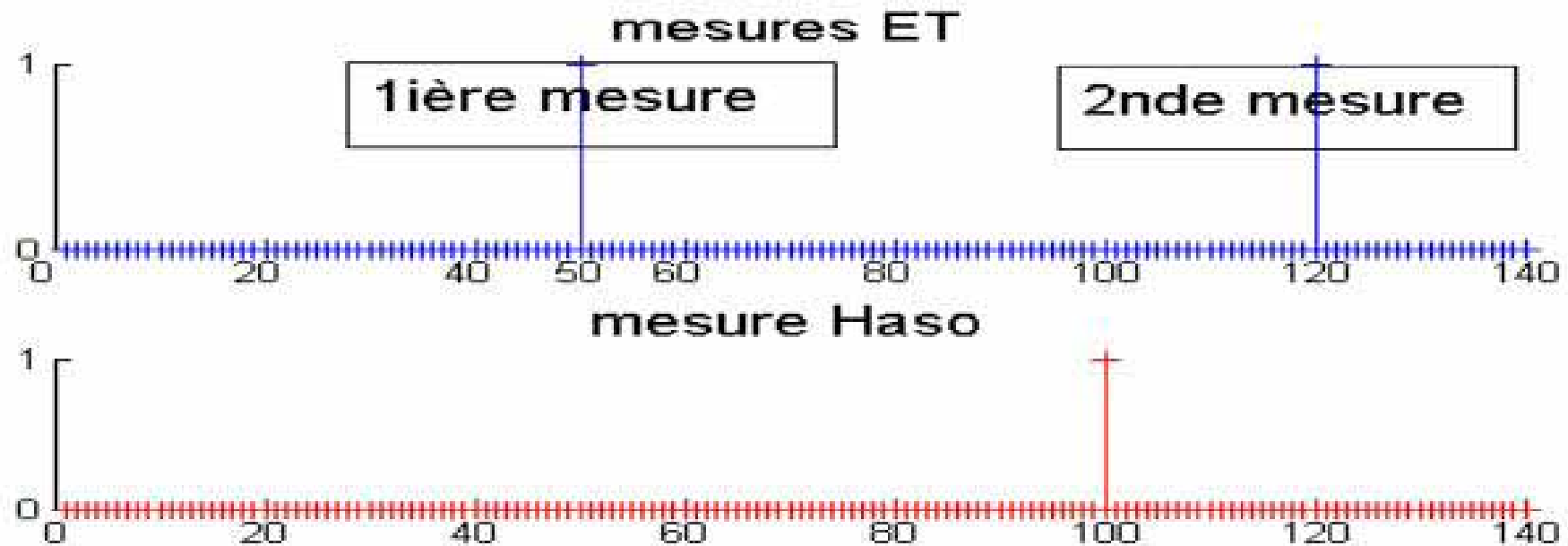
Boucle OA en Ophtalmologie



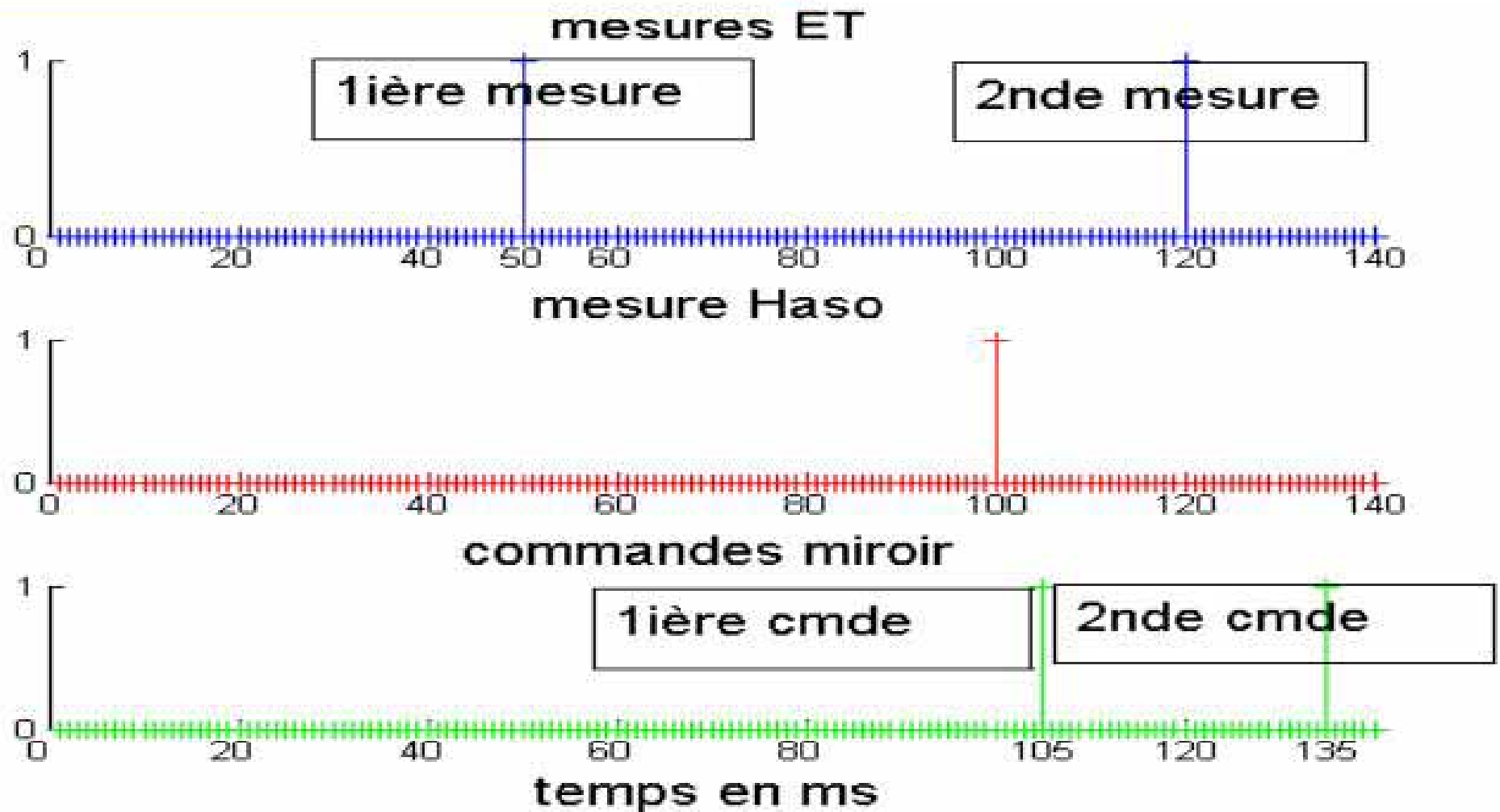
Chronogramme du système entre 2 flashes caméra



Chronogramme du système entre 2 flashes caméra



Chronogramme du système entre 2 flashes caméra

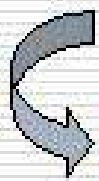


Prédiction du mvt

Commande 1: 55ms après la 1^{ère} mesure

Commande 2: 15ms après la 2^{ième} mesure

 Prédicteur de mouvement

 Nécessité d'avoir un modèle de mouvement

Étape cruciale: Modélisation

- ✓ Étude et modélisation linéaire des μm^{vts}
- ✓ Modélisation par espace d'état de la boucle fermée OA
- ✓ Prédicteur de Kalman de ces μm^{vts} .

Structure du modèle d'état de la position de l'oeil

- Modèle linéaire AR d'ordre 2

$$\begin{bmatrix} d_x(k) \\ d_y(k) \end{bmatrix} = A_1 \cdot \begin{bmatrix} d_x(k-1) \\ d_y(k-1) \end{bmatrix} + A_2 \cdot \begin{bmatrix} d_x(k-2) \\ d_y(k-2) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \eta_1(k) \\ \eta_2(k) \end{bmatrix}$$

- Estimation des paramètres

moindres carrés

Yule-Walker

$$A_1 = \begin{pmatrix} 1.9405 & 0.0267 \\ -0.0592 & 1.9352 \end{pmatrix}$$

$$A_2 = \begin{pmatrix} -0.9412 & -0.0264 \\ 0.0583 & -0.9388 \end{pmatrix}$$

Exemple

	Mesure ET (μm)	Val. Finale (μm)	Val. modèle (μm)	Écart val.finale /mesure	Écart val.finale /modèle
1 ^{ère} mesure	9.0051		12.9955	13.7958	9.8054
	70.9842	22.8009	53.1750	5.6225	12.1867
2 ^{ème} mesure	13.9221	65.3617	25.6284	8.8788	2.8275
	44.4048		57.2042	20.9569	8.1575
					

Estimateur de Kalman associé

- **Filtre de Kalman pour la prédiction :**
estimation de $dx(k+n)$ et $dy(k+n)$ en fonction des mesures et de l'estimée précédente
- **Minimise la variance de l'erreur d'estimation/prédiction**

$$\begin{bmatrix} e_1(k+1|k) \\ e_2(k+1|k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_x(k+1) \\ d_y(k+1) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \hat{d}_x(k+1|k) \\ \hat{d}_y(k+1|k) \end{bmatrix}$$

Conclusion

- Détection automatique des saccades et des clignements
- Calage du modèle sur le patient
- Importance d'avoir des bonnes performances pour la commande
- Validation sur plusieurs jeux de données