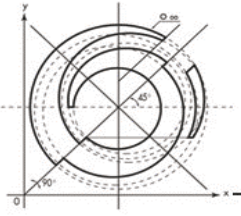


28-29 Mars 2002

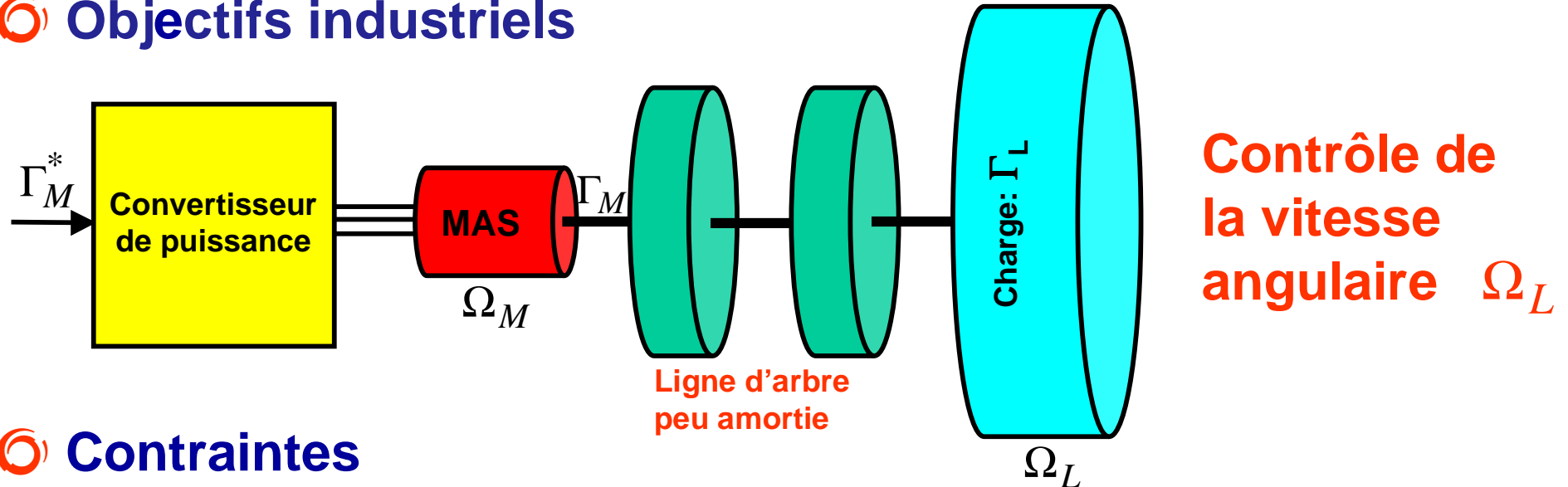
Application de la commande à la variation de vitesse angulaire d'un entraînement électromécanique peu amorti

Auteurs : J.L. Thomas, S. Poullain, P. Latteux, C. Aït Mahrez

ALSTOM

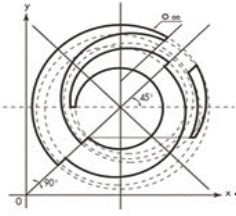


Objectifs industriels



Contraintes

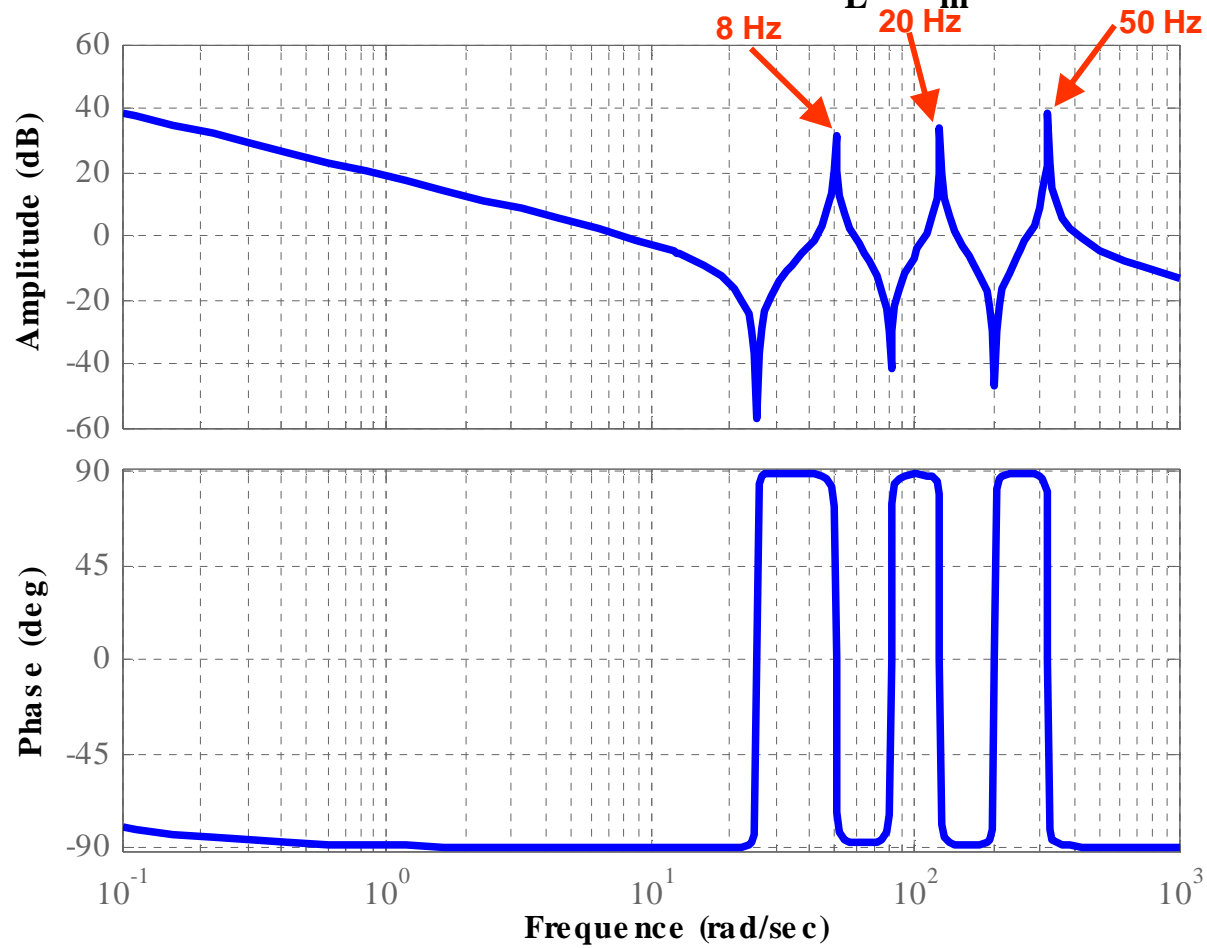
- ➡ Pas de mesure de la vitesse Ω_L ; Mesure de la vitesse Ω_M
- ➡ Γ_L inconnu et non mesuré
- ➡ Paramètres de la ligne d'arbre (inerties, raideurs,...) variables, peu ou mal connus (variations bornées)
- ➡ Présence de non linéarités de type jeu mécanique

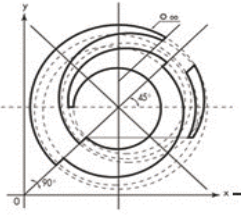


Fonction de transfert type



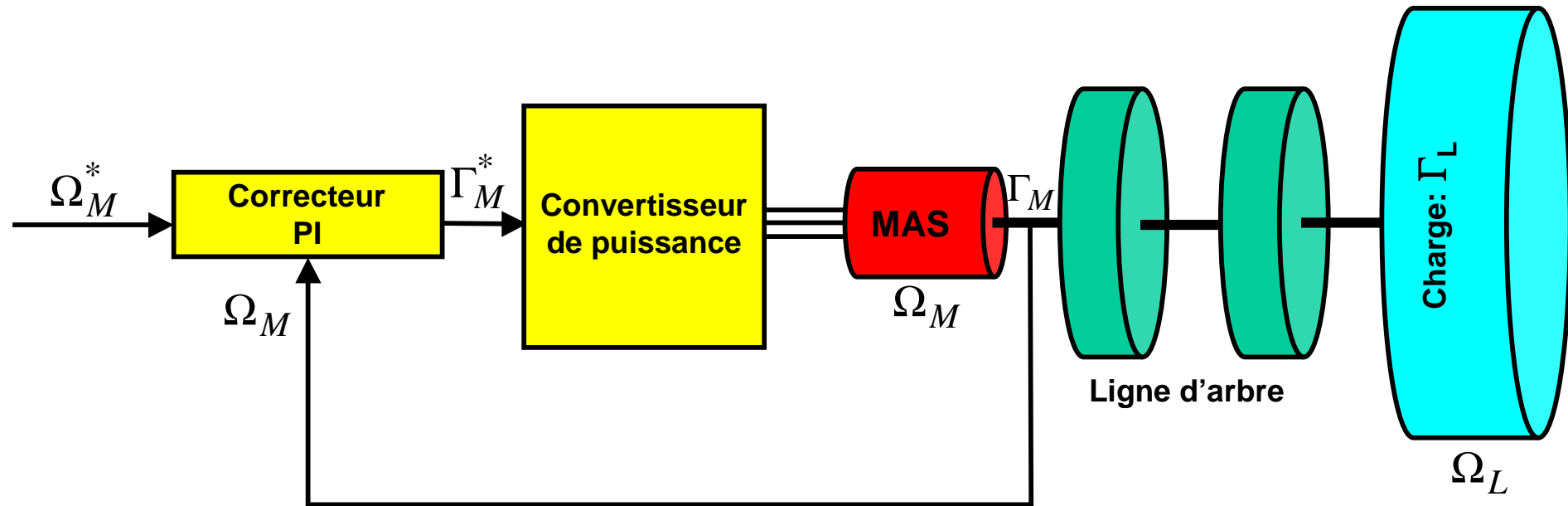
Fonction de transfert: Ω_L / Γ_m



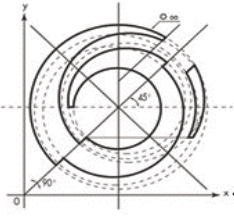


Structure de contrôle standard

ALSTOM

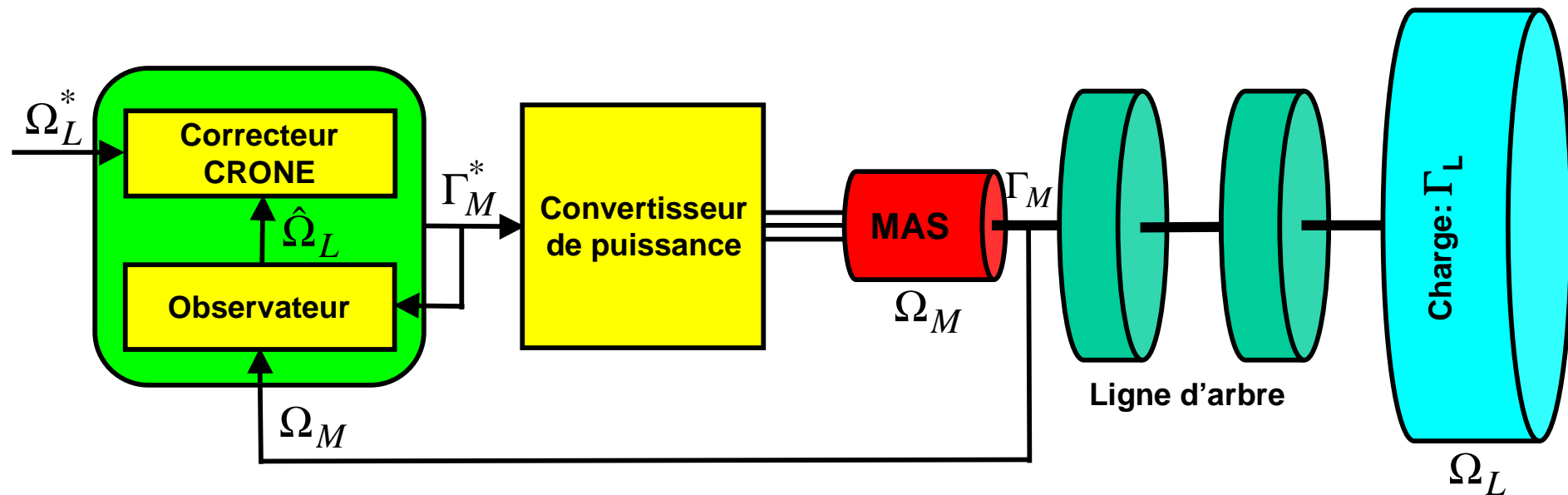


- ➔ Bouclage sur Ω_M : Contrôle en "boucle ouverte" de Ω_L
- ➔ Possibilité d'intégrer des filtres sélectifs sur les fréquences de résonance: Très faible robustesse devant les variations de paramètres

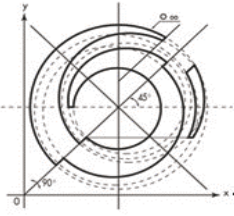


Structure de contrôle robuste proposée

ALSTOM

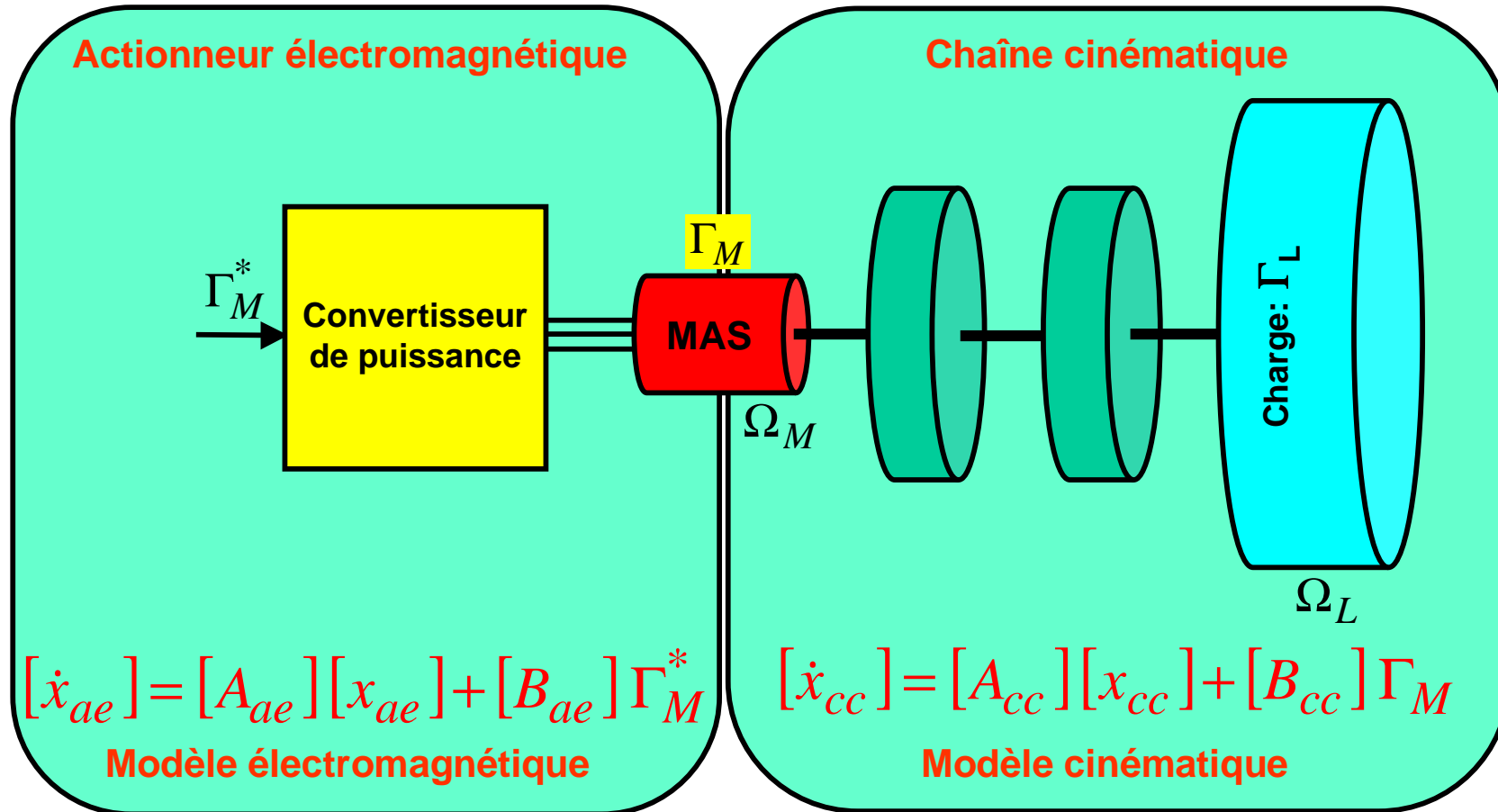


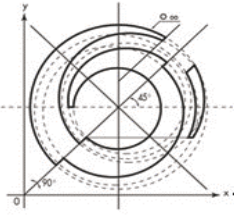
➔ Brevet ALSTOM (Inventeurs: ALSTOM / LAP): *“Procédé et dispositif de contrôle d’une chaîne électromécanique peu amortie”*



Synthèse de l'observateur de vitesse

- ➔ Modèle linéaire (pas de prise en compte des jeux mécaniques)
- ➔ Pas d'incertitudes sur les paramètres





Synthèse de l'observateur de vitesse

Estimation du couple de charge: Extension du modèle

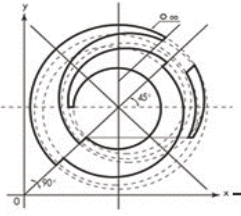
$$\dot{\Gamma}_L = 0$$

Modèle électromécanique étendu

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_{ae} \\ \dot{x}_{cc} \\ \dot{\Gamma}_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [A_{ae}] & [0] & [0] \\ [A_{ccae}] & [A_{cc}] & [A_{ccL}] \\ [0] & [0] & [0] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{ae} \\ x_{cc} \\ \Gamma_L \end{bmatrix} + [B] \Gamma_M^*$$

$$y = \Omega_M$$

➡ **Modèle linéaire: Synthèse d'un observateur de Kalman**



○ Domaine de variation des paramètres de la ligne d'arbre

➔ Inerties: $\frac{1}{2} J_{Ni} \leq J_{Ni} \leq 2J_{Ni}$

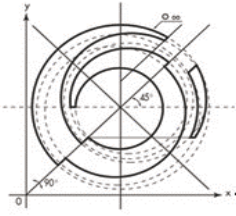
➔ Raideurs: $\frac{1}{2} k_{Ni} \leq k_{Ni} \leq 2k_{Ni}$

➔ Jeu mécanique: $0 \leq \Delta\theta \leq 4^\circ$

○ Prise en compte de la dynamique de l'observateur

○ Prise en compte explicite des fréquences de résonance

○ Discrétisation du correcteur par transformation en "δ"



Etude de cas: Foire de Hanovre Maquette expérimentale



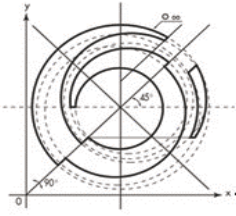
Poitiers, 28-29 Mars 2002

“Les Systèmes à Dérivées Non Entières”

PERT/C/02/0009

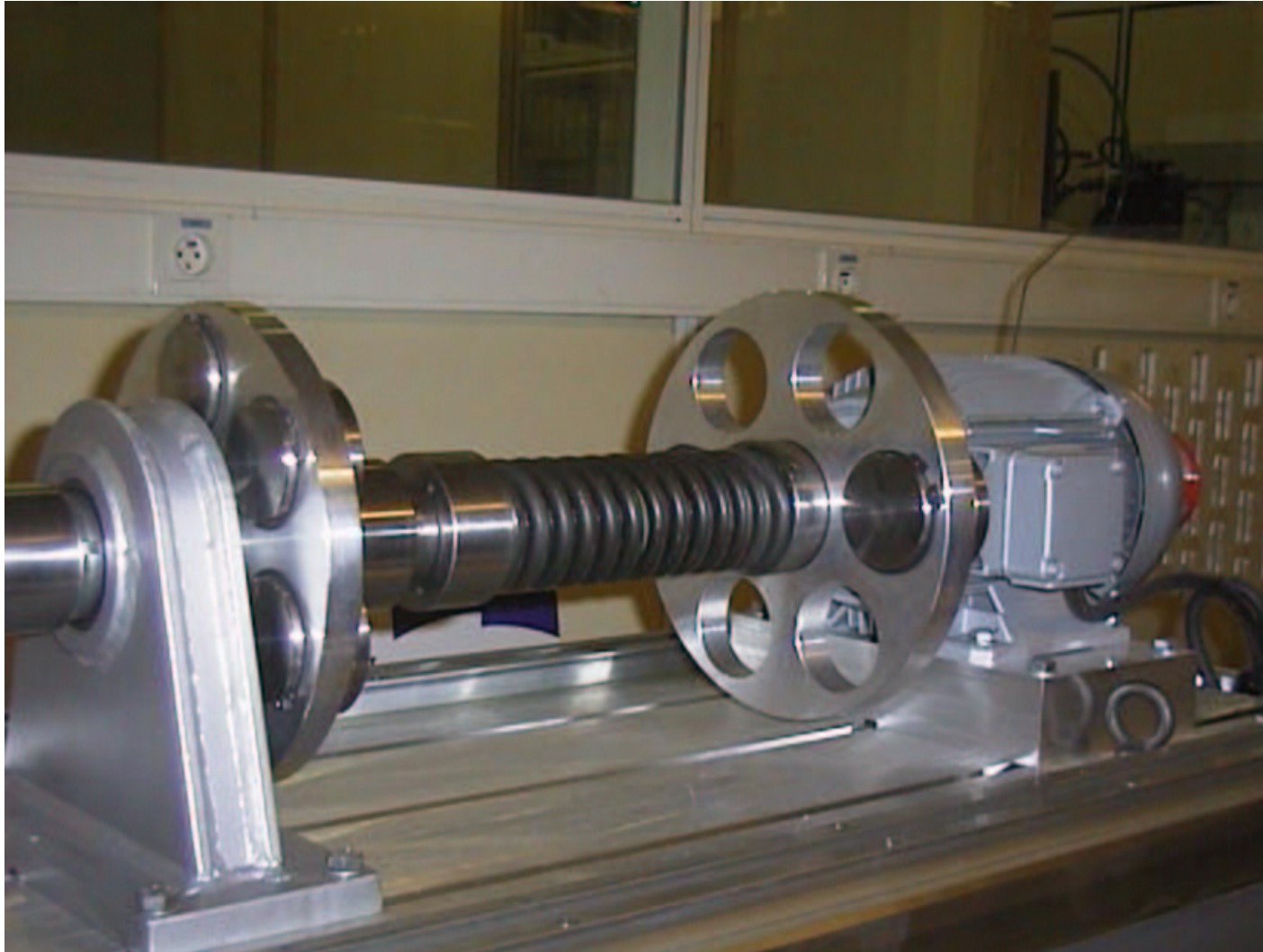
9/27

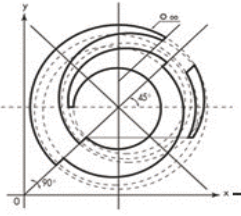
CONFIDENTIAL. All rights reserved. ALSTOM - Passing on and copying of this document, use and communication of its content is not permitted without prior written authorization.



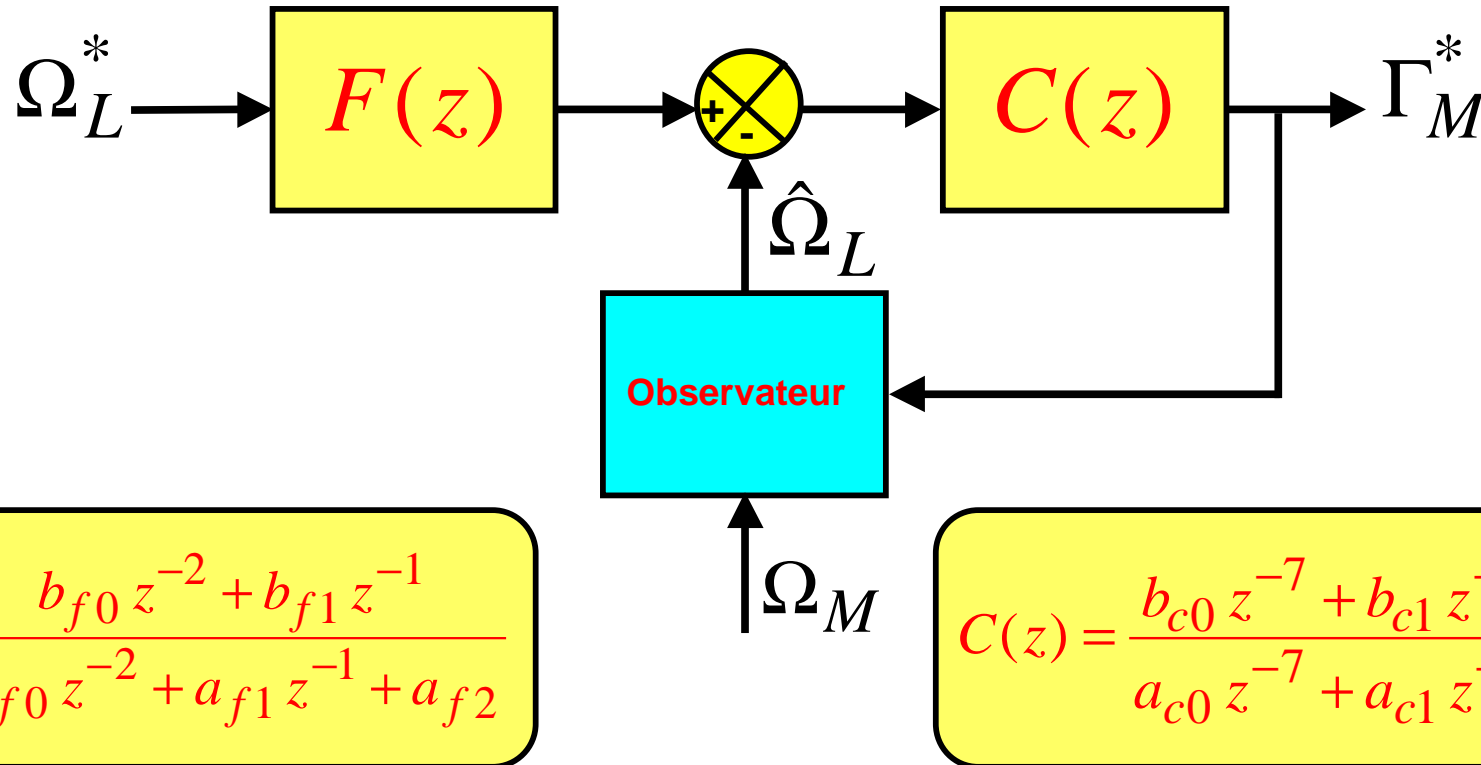
Etude de cas: Foire de Hanovre

Maquette expérimentale: Détail

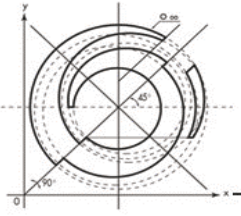




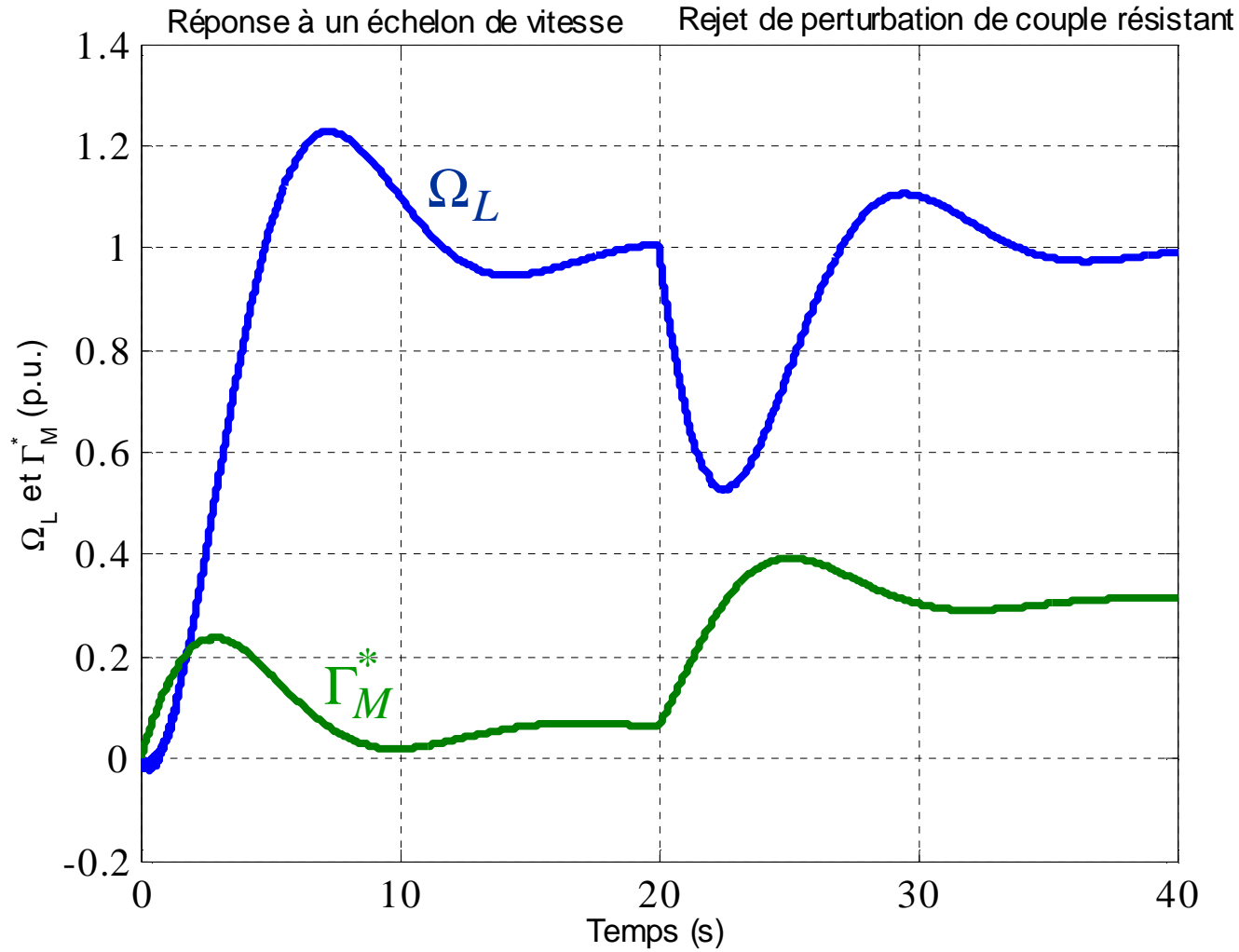
Correcteur temps réel implanté

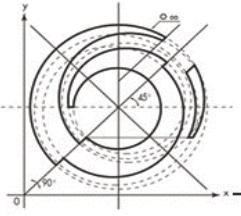


- 👉 Période d'échantillonnage $F(z)$ et $C(z)$: 5 ms
- 👉 Période d'échantillonnage observateur: 1 ms



Résultats de simulation: Correcteur PI

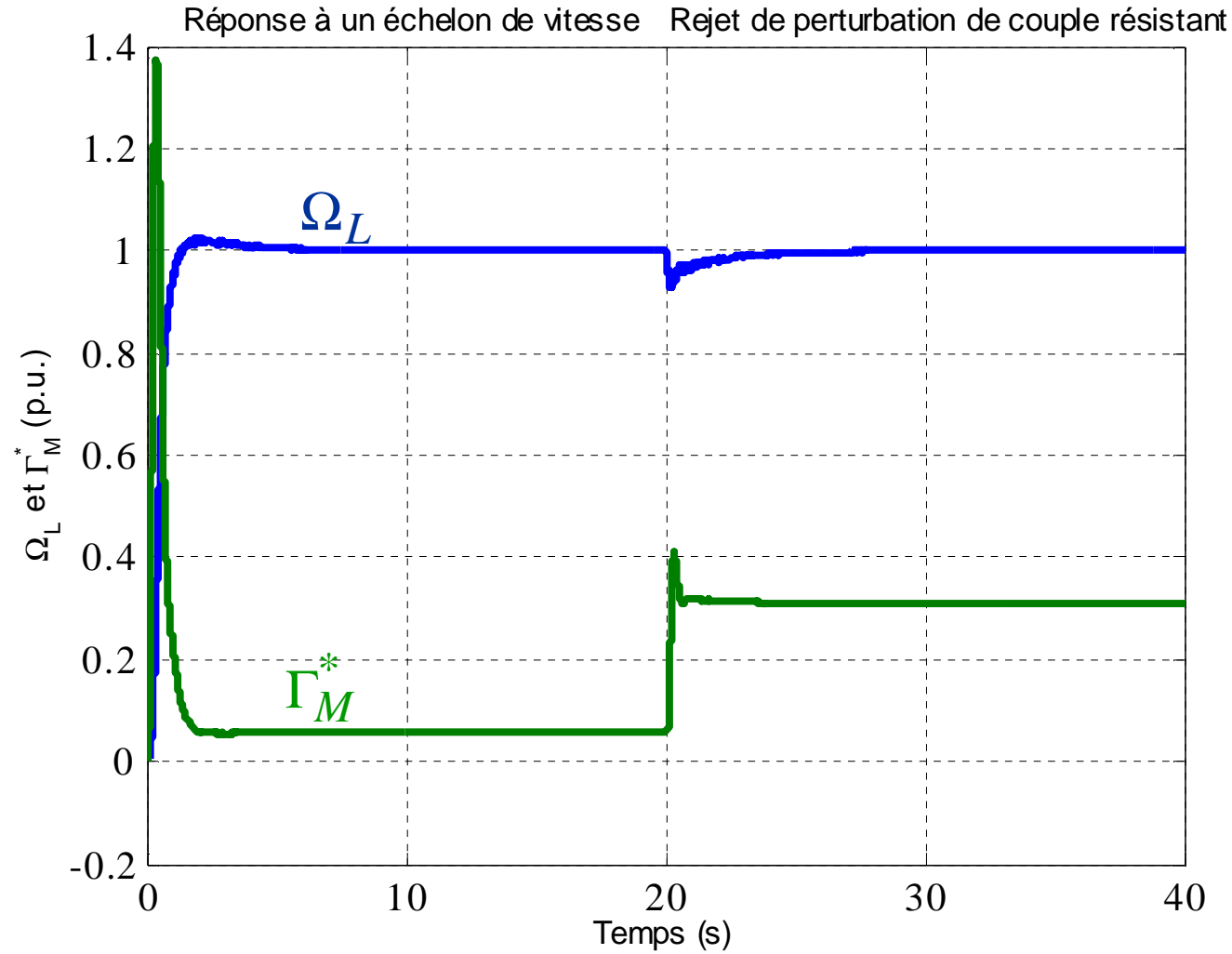


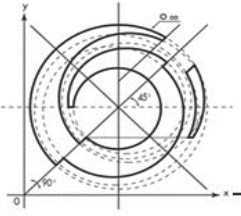


Résultats de simulation: Correcteur "Observateur+

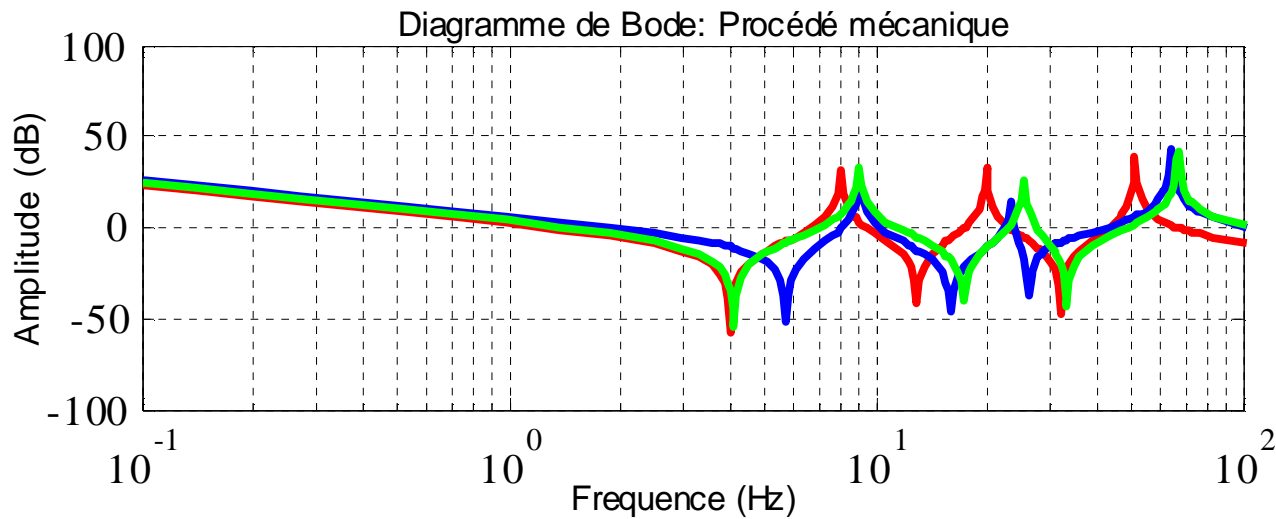
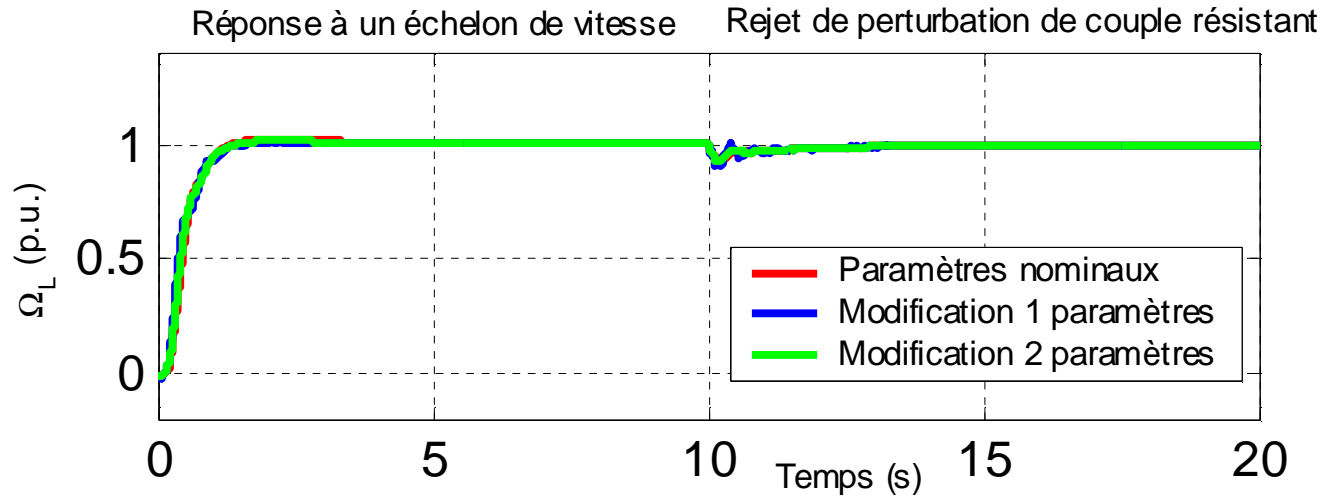
CROVE

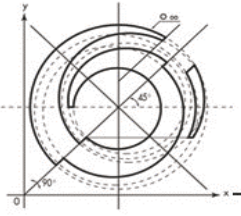
ALSTOM



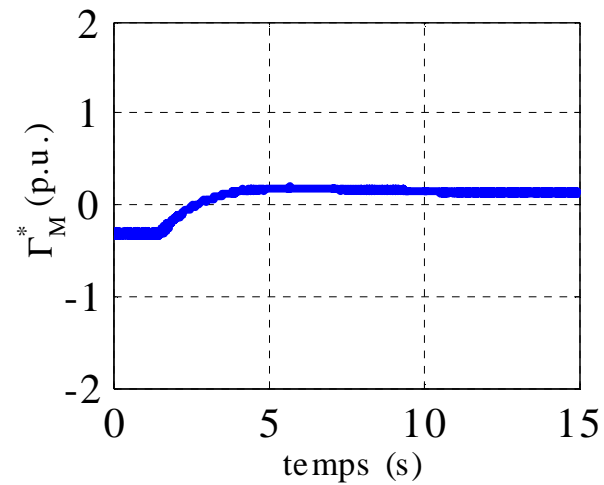
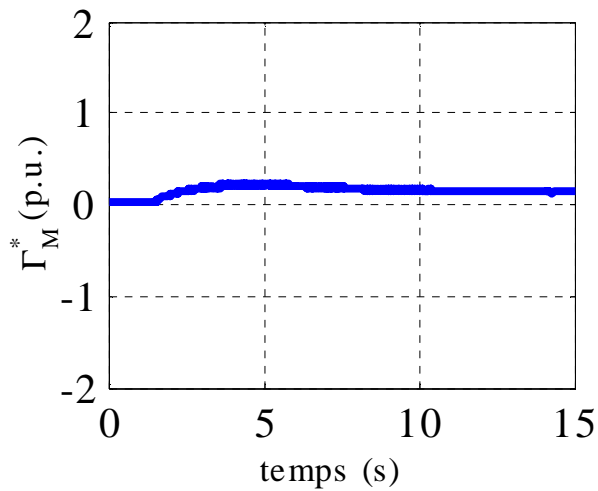
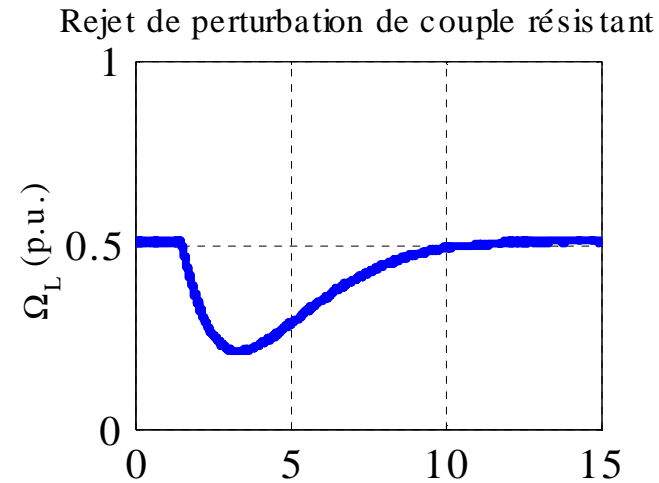
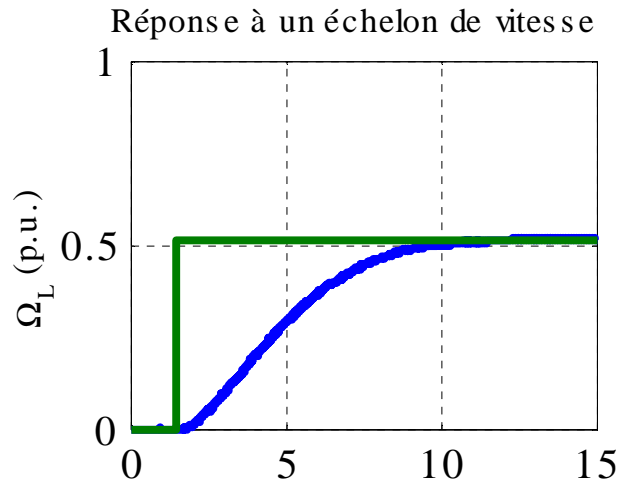


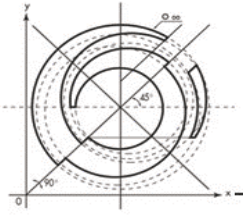
Résultats de simulation: Robustesse Correcteur "Observateur+ CROVE





Essais expérimentaux: Correcteur PI: Réglage nominal

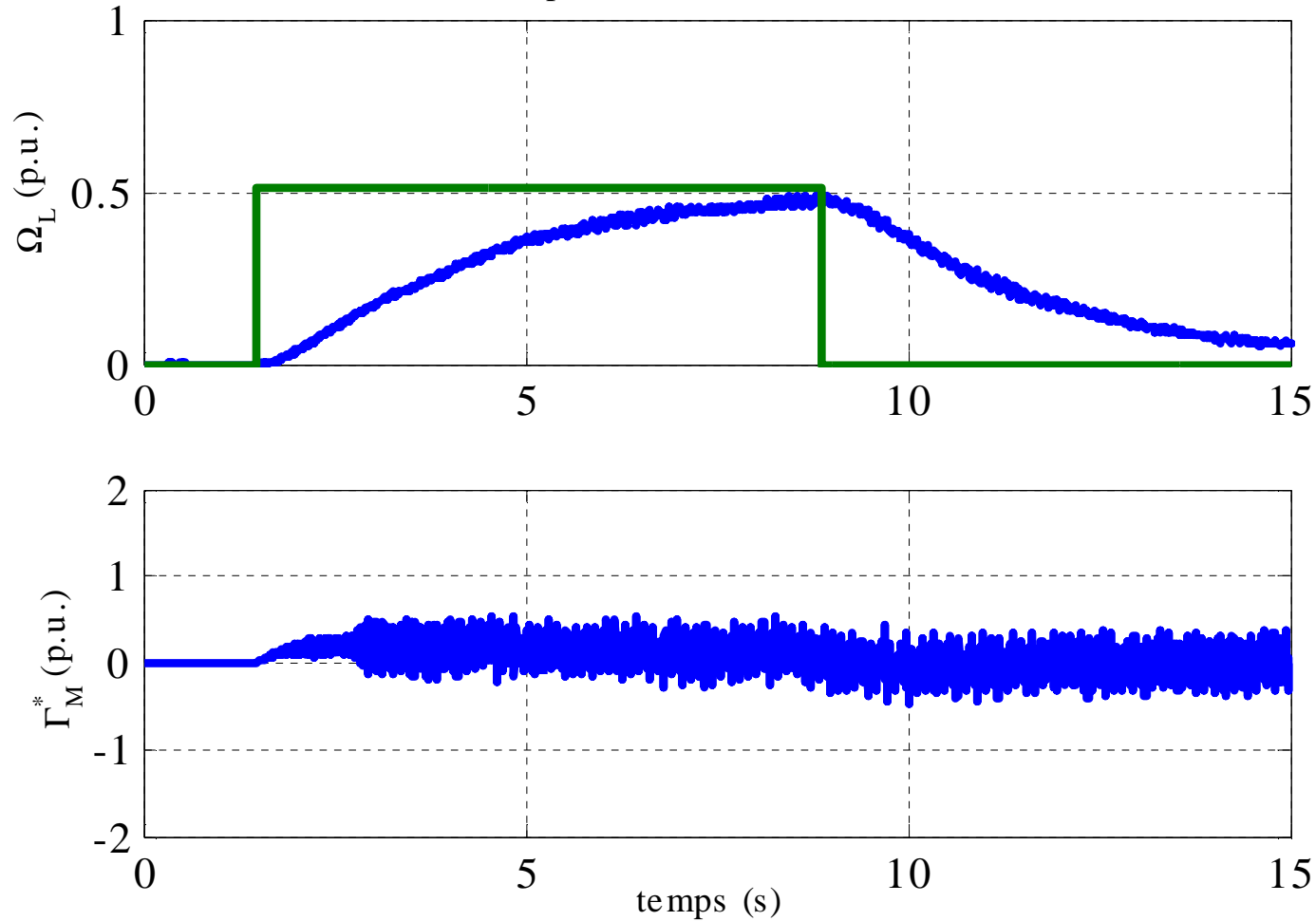


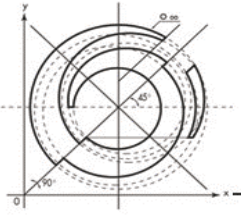


Essais expérimentaux: Correcteur PI: Augmentation Gains



Réponse échelons de vitesse

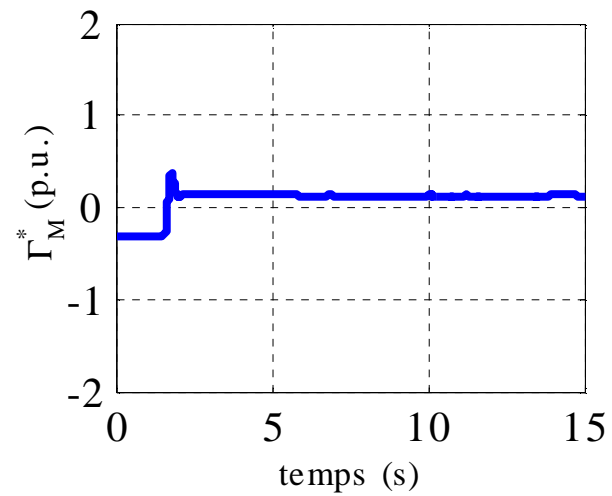
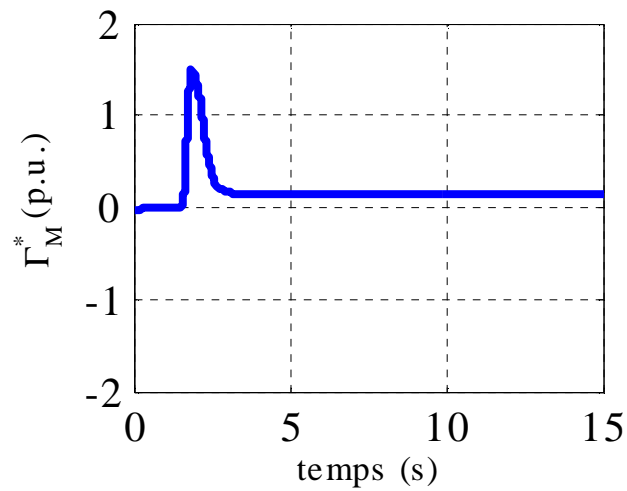
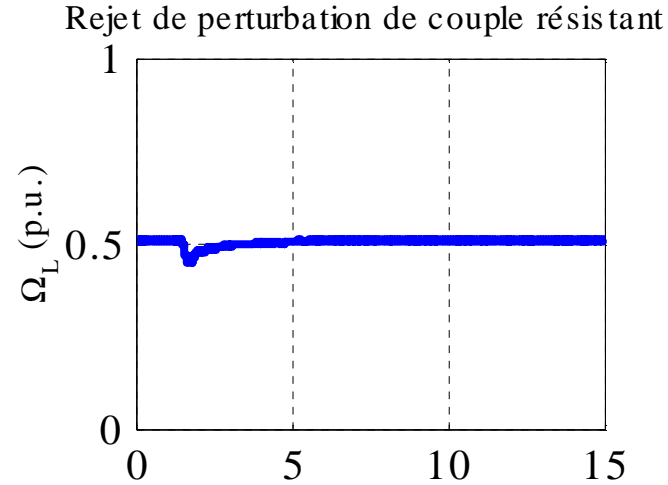
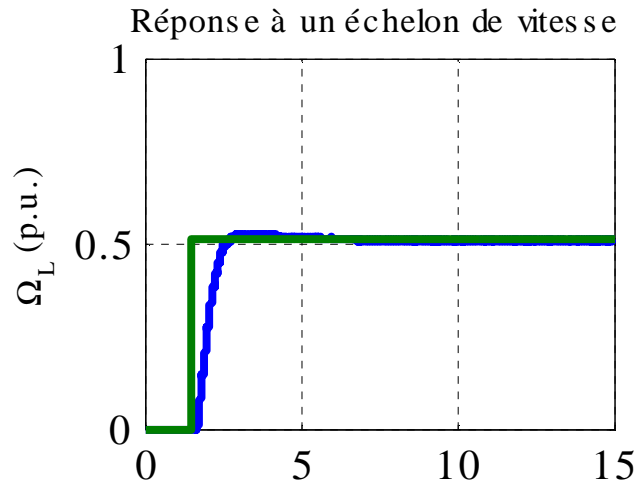


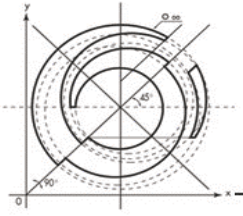


Essais expérimentaux: Correcteur "Observateur+

CROVE

ALSTOM

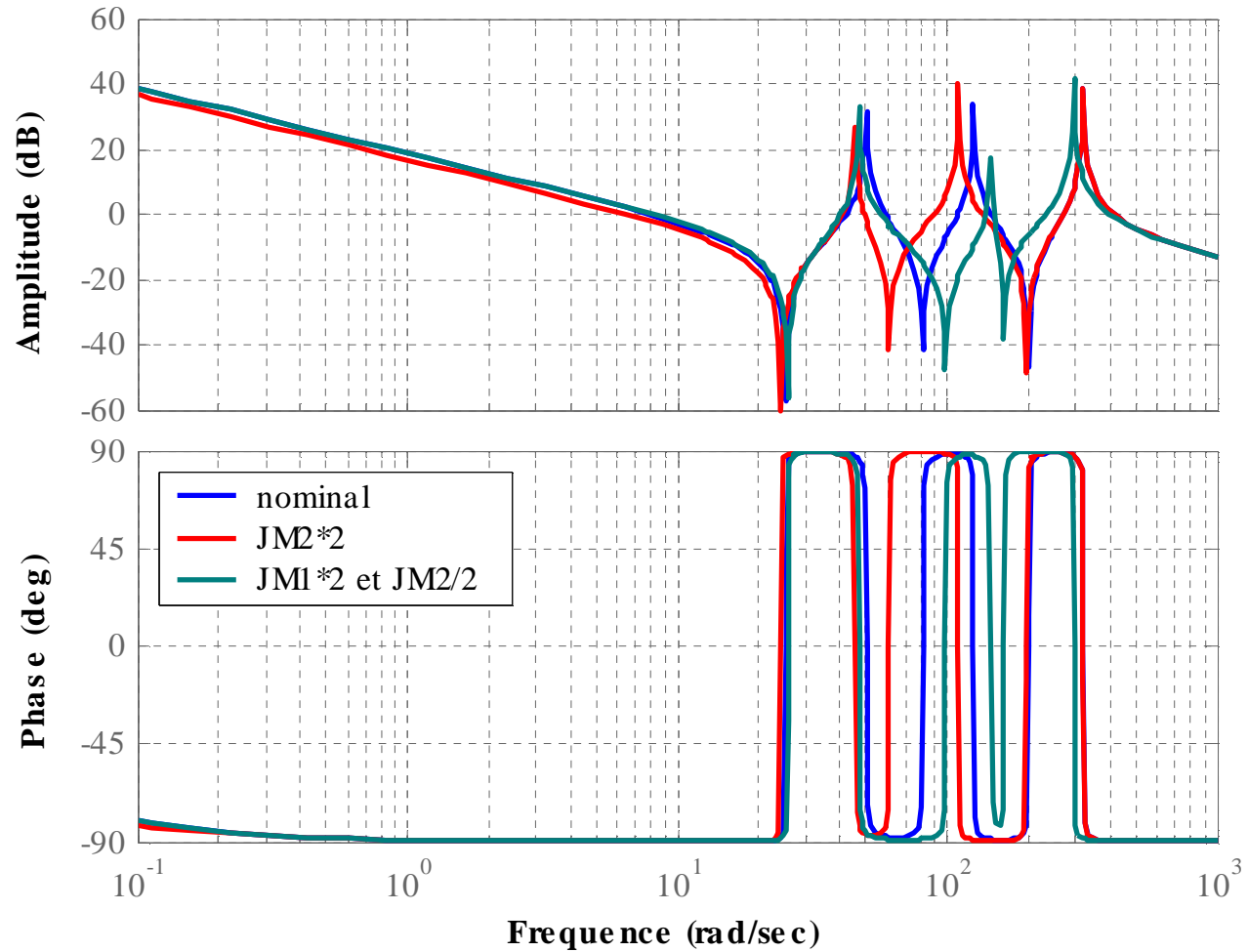


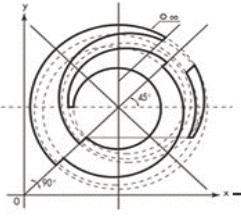


Essais expérimentaux: Robustesse Correcteur "Observateur+ *CROVE*

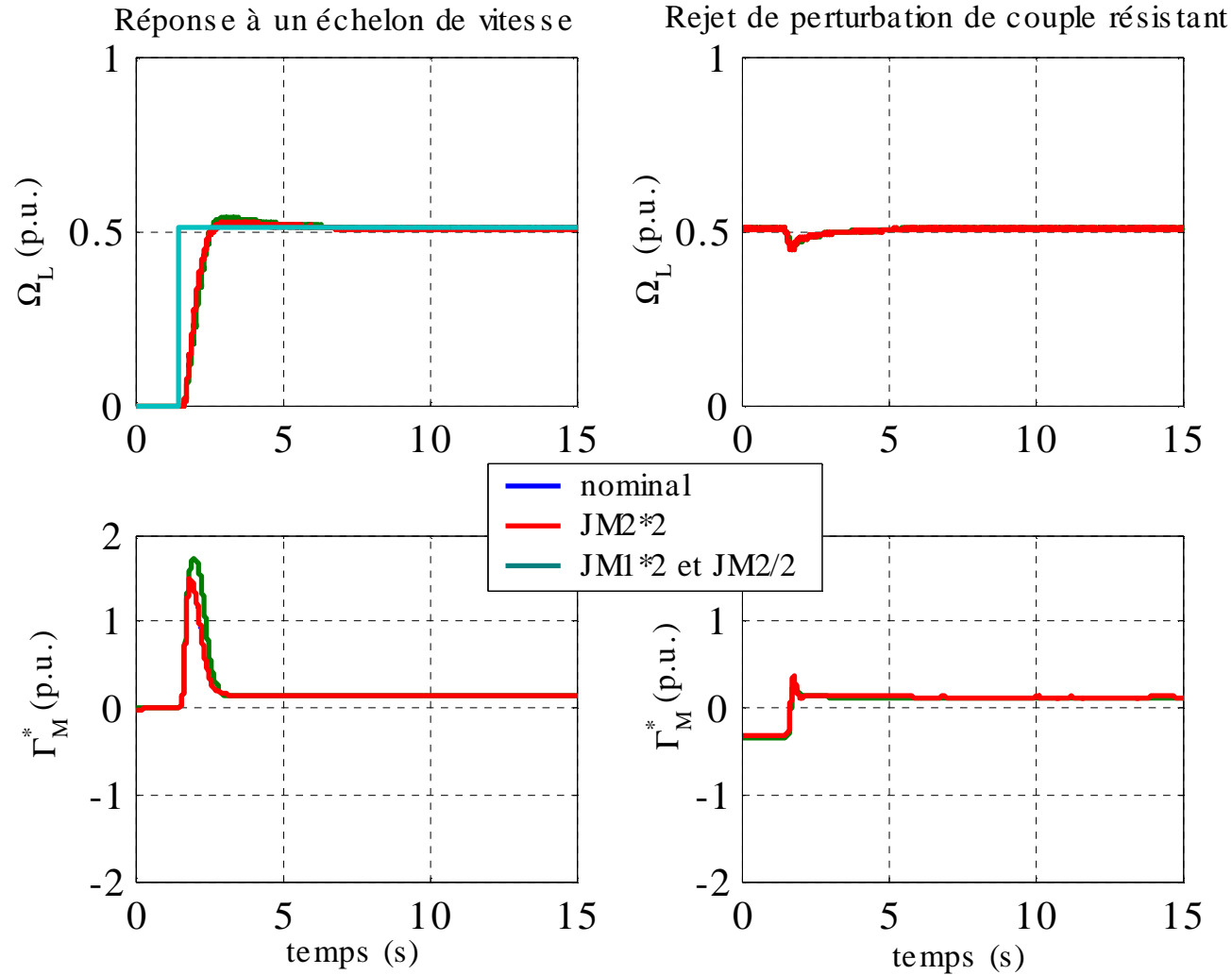


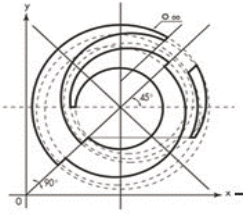
Fonction de transfert: Ω_L / Γ_m





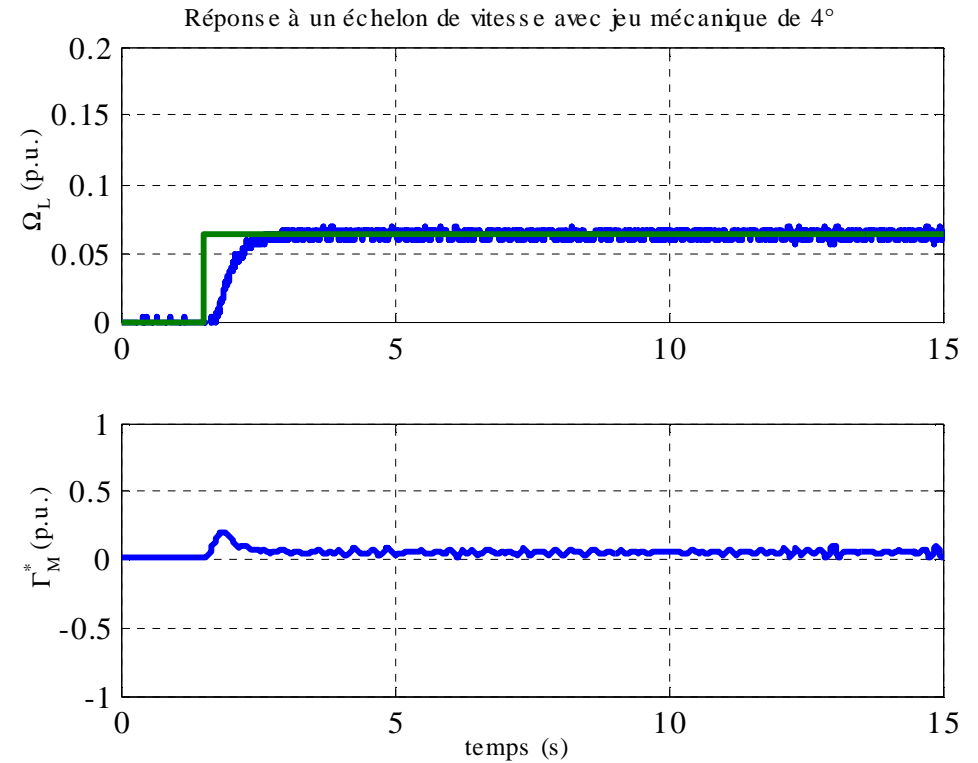
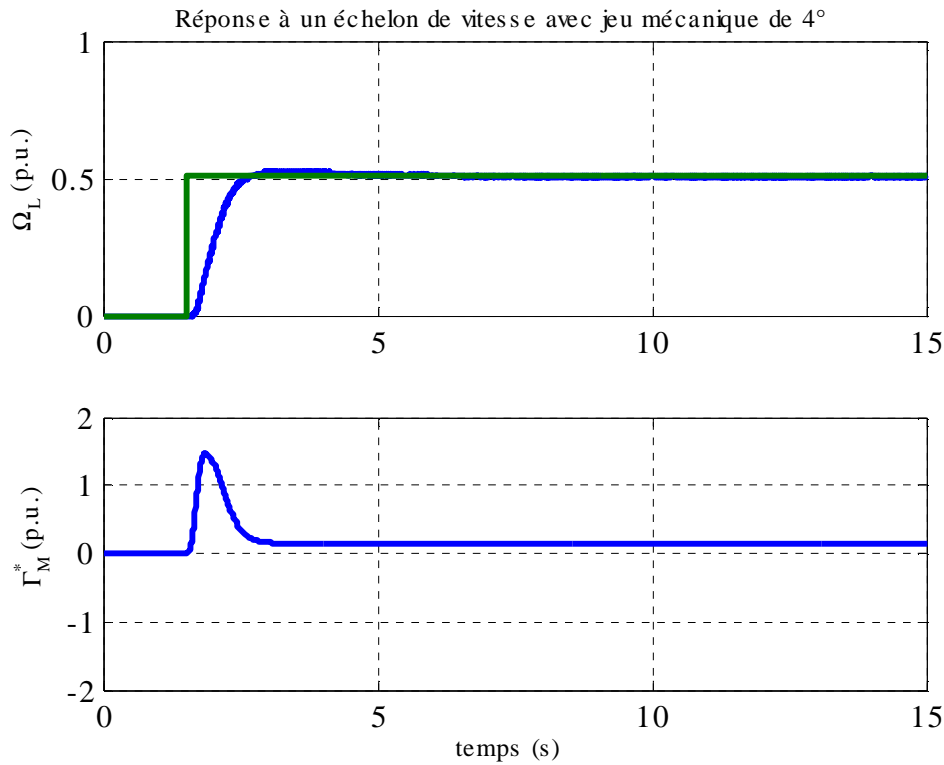
Essais expérimentaux: Robustesse Correcteur "Observateur+ CROVE

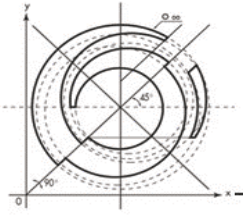




Essais expérimentaux: Jeu mécanique

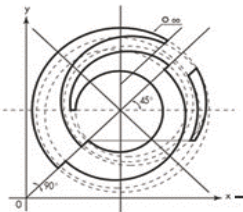
Correcteur "Observateur+ CROVE





Essais expérimentaux: Correcteur PI: Réglage nominal





Essais expérimentaux: Correcteur PI: Augmentation Gain

ALSTOM



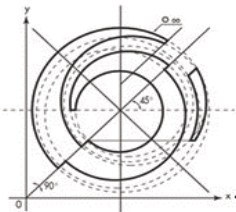
Poitiers, 28-29 Mars 2002

“Les Systèmes à Dérivées Non Entières”

PERT/C/02/0009

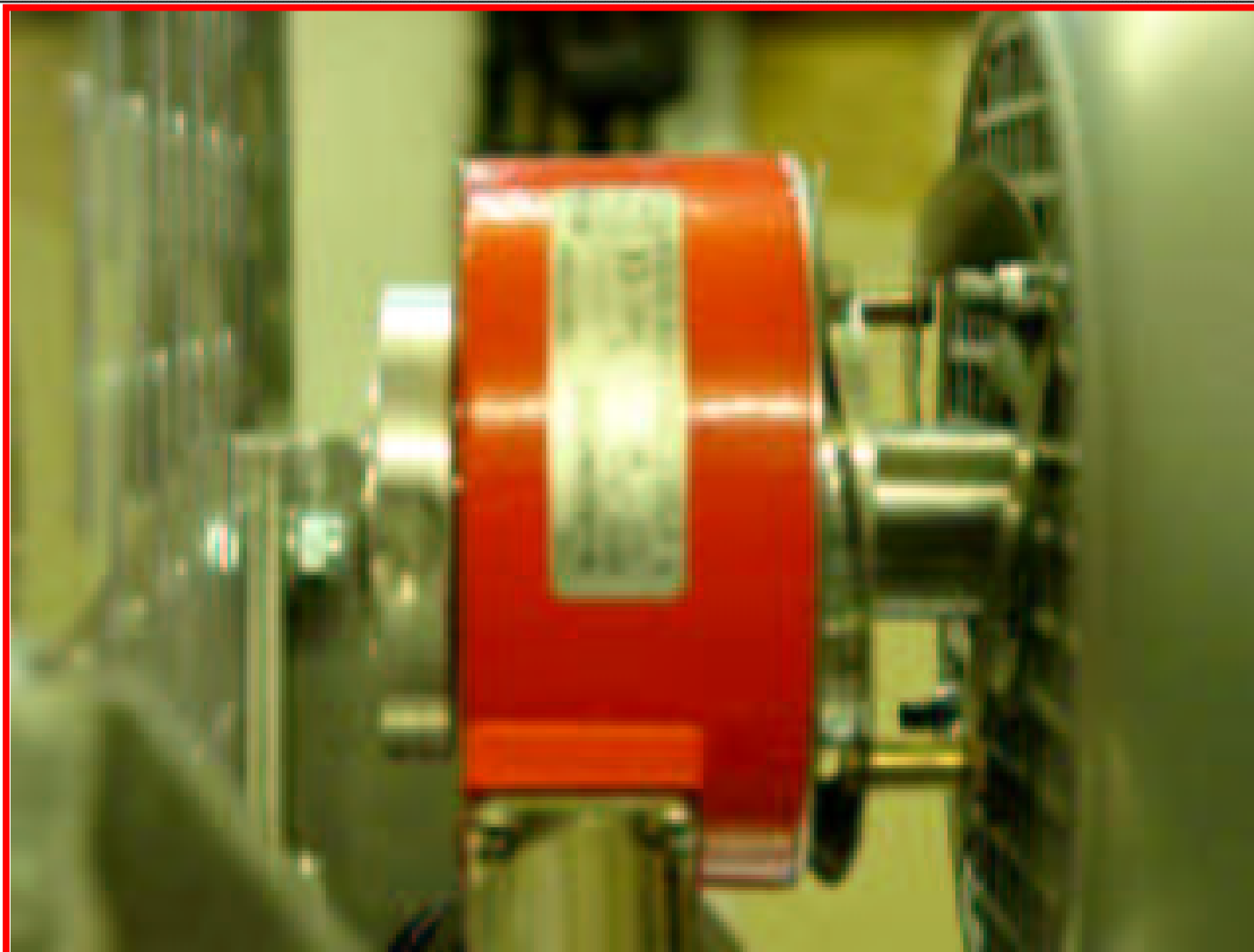
22/27

CONFIDENTIAL. All rights reserved. ALSTOM - Passing on and copying of this document, use and communication of its content is not permitted without prior written authorization.



Essais expérimentaux: Correcteur PI: Augmentation Gain

ALSTOM



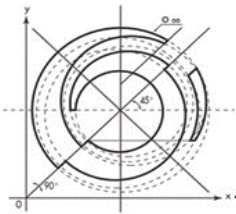
Poitiers, 28-29 Mars 2002

“Les Systèmes à Dérivées Non Entières”

PERT/C/02/0009

23/27

CONFIDENTIAL. All rights reserved. ALSTOM - Passing on and copying of this document, use and communication of its content is not permitted without prior written authorization.



Essais expérimentaux: Correcteur "Observateur+

CROVE

ALSTOM



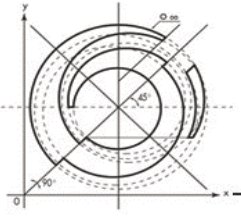
Poitiers, 28-29 Mars 2002

"Les Systèmes à Dérivées Non Entières"

PERT/C/02/0009

24/27

CONFIDENTIAL. All rights reserved. ALSTOM - Passing on and copying of this document, use and communication of its content is not permitted without prior written authorization.



Conclusion - I

⦿ Performances

Principalement résultantes de l'association

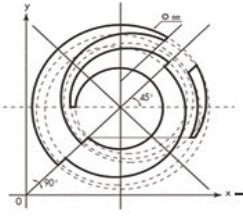
Correcteur *CROIE* + Observateur

➡ Dynamique / Poursuite - Régulation

- ✓ Gain d'un facteur 10 sur la bande passante
- ✓ Amortissement actif: pas d'accrochage mécanique

➡ Robustesse paramétrique

- ✓ Insensibilité aux variations d'inertie et de raideurs
- ✓ « Bon comportement » en présence de jeu mécanique



Conclusion - II

ALSTOM

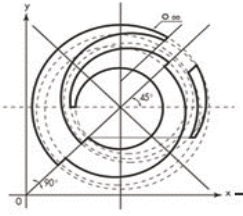
🕒 Réglages

👉 Observateur

- ✓ KALMAN standard
- ✓ Basé sur un jeu de coefficients simples liés au procédé nominal

👉 Correcteur *CROVE*

- ✓ Nombre identique *coefficients* réglage / Correcteur PID
- ✓ *Gabarit fréquentiel* en adéquation avec les usages industriels
- ✓ *Ordre* du correcteur compatible avec les contraintes industrielles



« AUTO- REGLAGE »

Self Commissioning

Self Tuning

« SITE INDUSTRIEL PILOTE ? »

