

L. AFILAL, K. GUELTON, N. MANAMANNI, S. MOUGHAMIR, J. ZAYTOON

RFIS Juin 2004, Valenciennes France

Systemes d'évaluations, de rééducation et d'entraînements sportifs

Centre de Recherche en Sciences et Technologies de
l'Information et de la Communication

Université de Reims Champagne-Ardenne

CReSTIC - URCA
UFR Sciences Exactes et Naturelles
Moulin de la Housse, BP 1039
F-51687 Reims Cedex 2, France

{nom.prenom}@univ-reims.fr

Plan de l'exposé

- Présentation du CReSTIC et de l'équipe de recherche
- Présentation de l'axe de recherche en génie biomédical
- 4 projets:
 - Machines MULTI-ISO (Spécification, Commandes et Résultats)
 - Machine MAB (Spécification et premiers Résultats)
 - Machine SYS-REEDUC (Spécification)
 - Système embarqué pour l'analyse des mouvements de la cheville
- Conclusion et perspectives

Contexte de recherche au CReSTIC

CReSTIC - LAM

Signal

Automatique

Micro-électronique

Système Dynamiques Hybrides

Diagnostic
et Supervision

Commande
Hybride

SED

Automatique
et
Génie Biomédical

Systèmes à
commutations

Équipe Génie Biomédical

**5 Permanents
4 Thésards
2 Ingénieurs CNAM
1 Technicien**

Compétences en:

*Automatique
Robotique
Électronique embarquée
Biomécanique*

**Machines
de rééducation
et d'entraînement**

Multi-Iso

MAB

SYS-REEDUC

**Semelle
instrumentée**

Machines d'entraînement et de rééducation

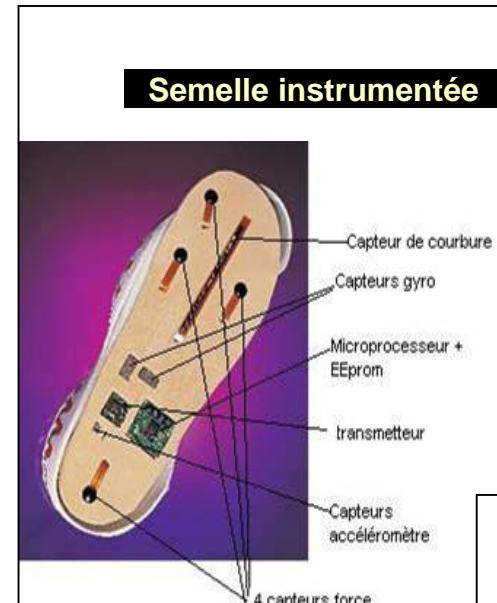
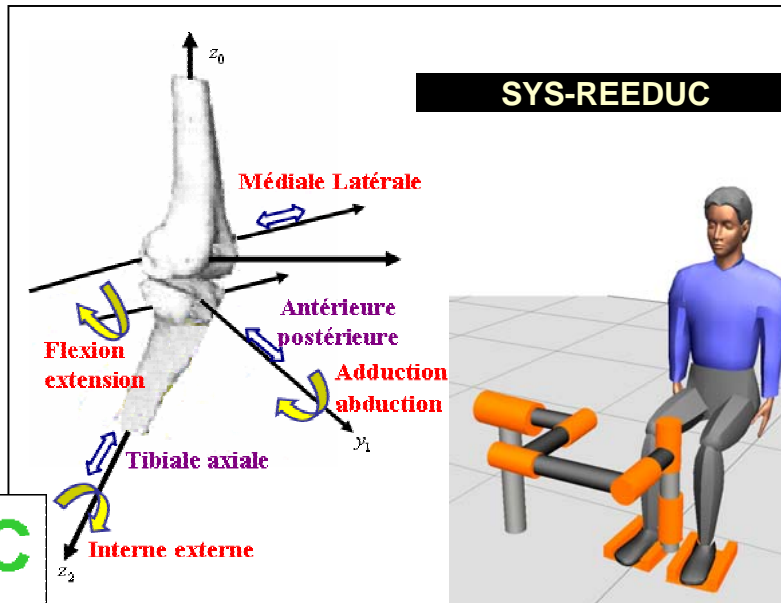
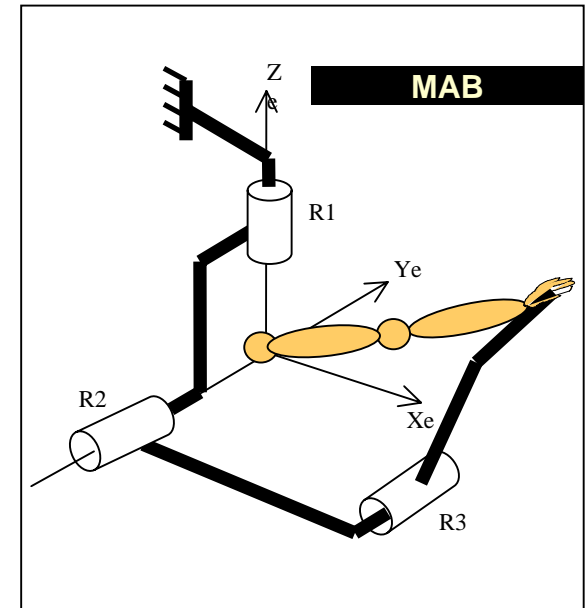


Médecine

- ❑ Rééducation
- ❑ Diagnostic
- ❑ Suivi médical

Sport

- ❑ Renforcement musculaire
- ❑ Évaluation

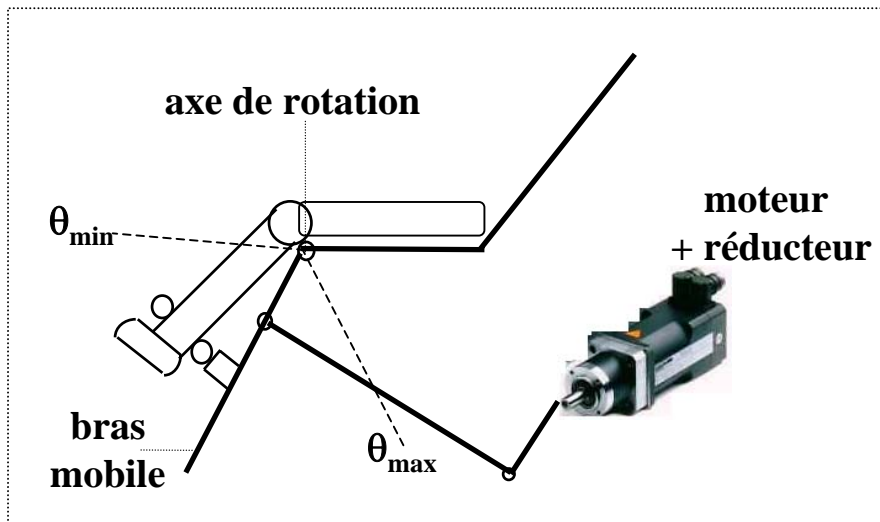


Spécification de la machine Multi-Iso

Multi-Iso

*Membres Inférieurs
1 DDL*

• Principe mécanique de Multi-ISO



Démarche méthodologique

Spécification

- ☐ Analyse
- ☐ Modélisation
- ☐ Contrôle-commande

Conception

- ☐ Développement
- ☐ Simulations
- ☐ Prototype

Implantation

- ☐ Programmation
- ☐ Tests
- ☐ Validation

Analyse des correspondances médico-techniques

Expression

Groupe musculaire

- Quadriceps
- Ischiojambiers

Mode d'entraînement

- Isocinétique
- Conduit
- Isotonique
- Physiocinétique
- Assisté
- Étirement
- Isométrique

Type d'entraînement

- concentrique
- excentrique

Mouvement de la jambe

- extension
- flexion

Définition technique

Sens de l'effort musculaire

Force exercée vers le haut ($F < 0$)
Force exercée vers le bas ($F > 0$)

Nature du mouvement

Vitesse constante avec conditions sur la force musculaire
Vitesse sans condition sur la force musculaire
Simulation d'une charge pesante constante
Simulation d'une charge pesante fonction de la position
Vitesse fonction des réactions d'effort du patient
Simulation d'une charge constante
Jambe maintenue immobile alors que le patient produit un effort

Nature de l'effort musculaire

Muscle moteur
Muscle résistant

Direction du mouvement

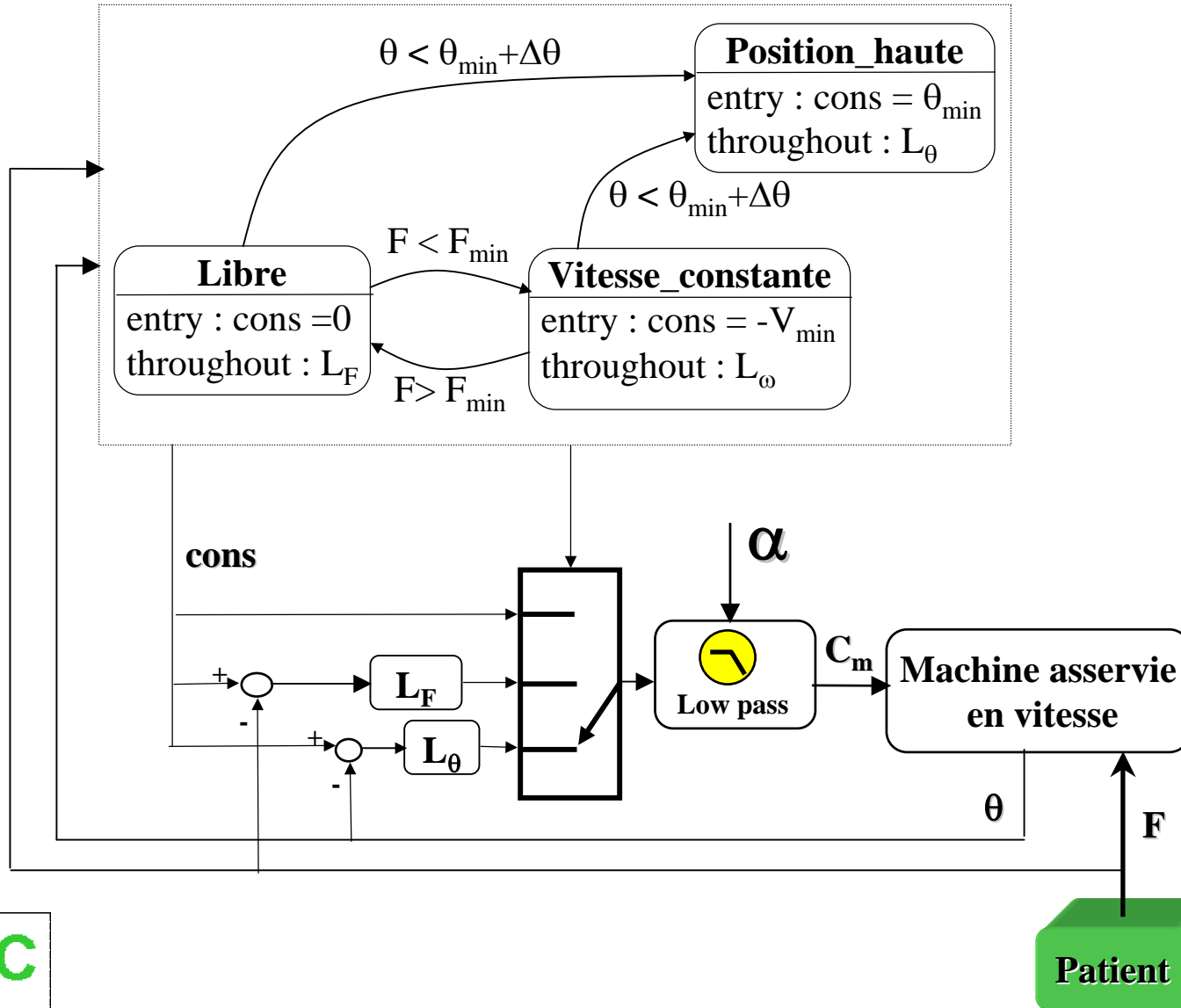
Haut
Bas

Correspondance médico-techniques

⇒ Nécessité de 3 lois de commande pour l'exécution de tous les types de mouvement

Commande hybride de Multi-ISO

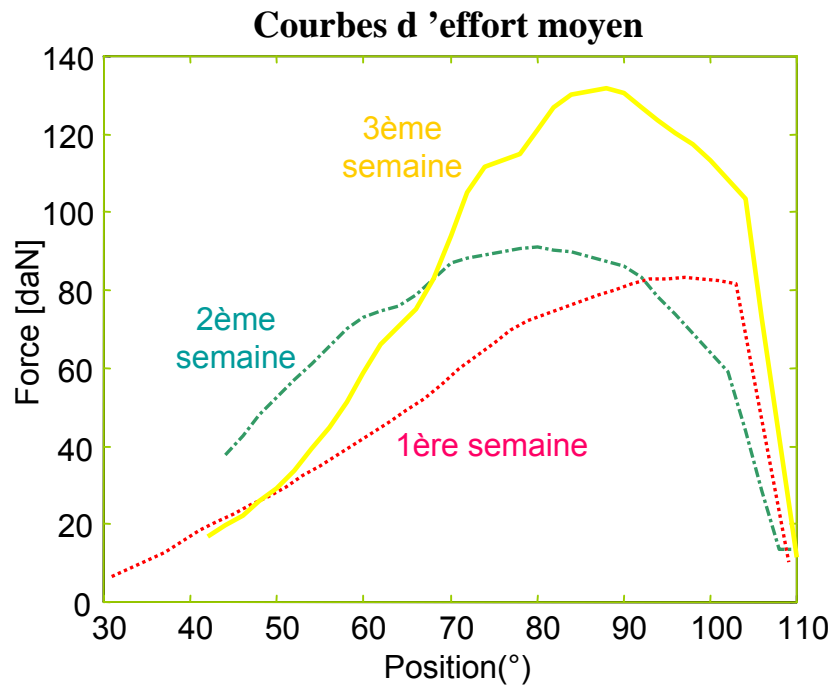
• Partie commande



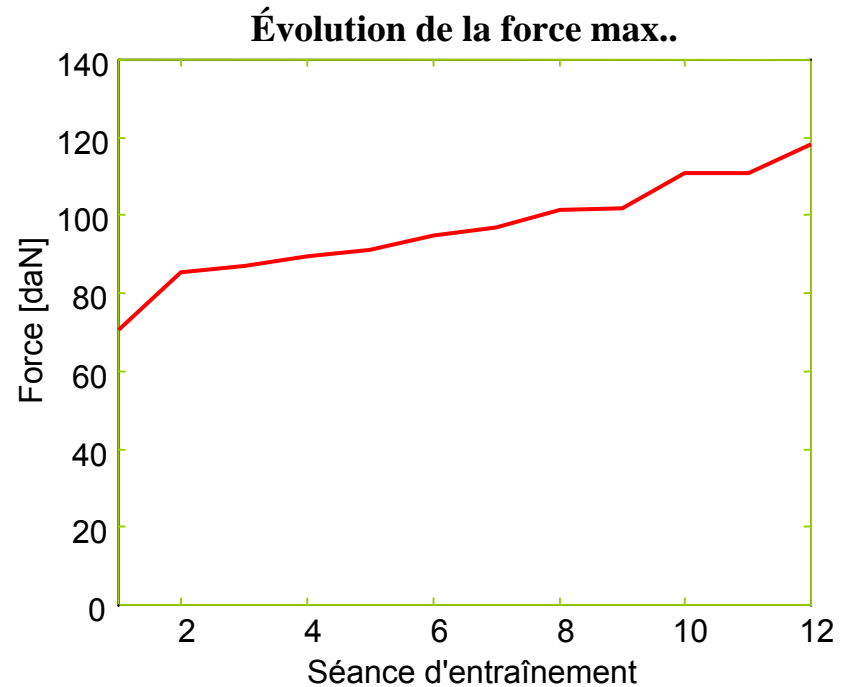
Résultats expérimentaux Multi-ISO

• Renforcement musculaire

1. 12 séances d'entraînement sur 3 semaines
2. Évaluations hebdomadaires



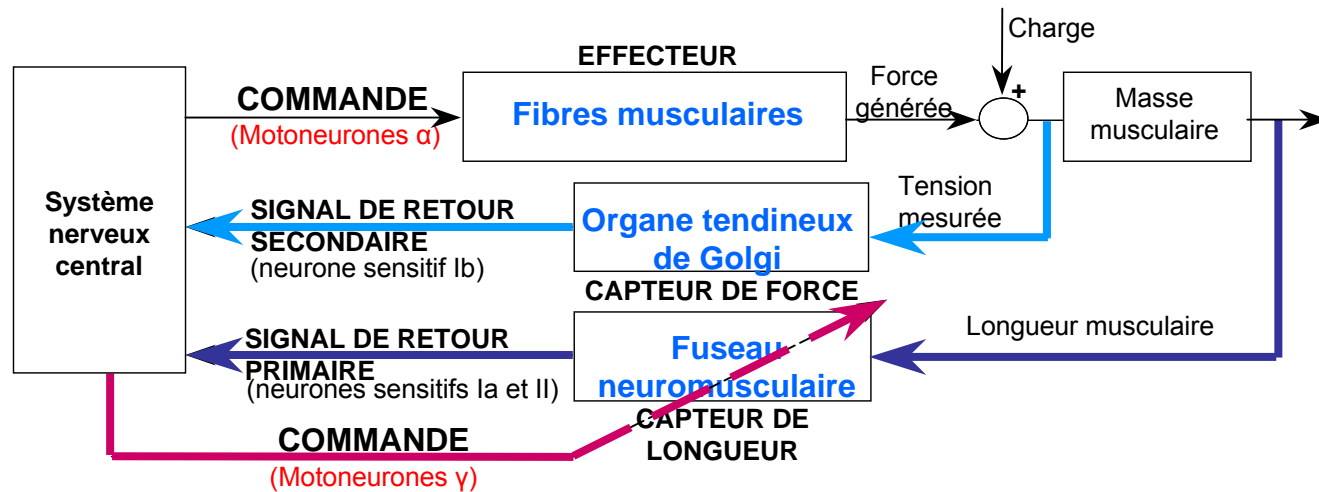
✓ Augmentation du pic de force



✓ Augmentation « linéaire » de Fmax

STIMULATION MECANIQUE DE LA BOUCLE NEUROMUSCULAIRE GAMMA

• Contrôle neuromusculaire

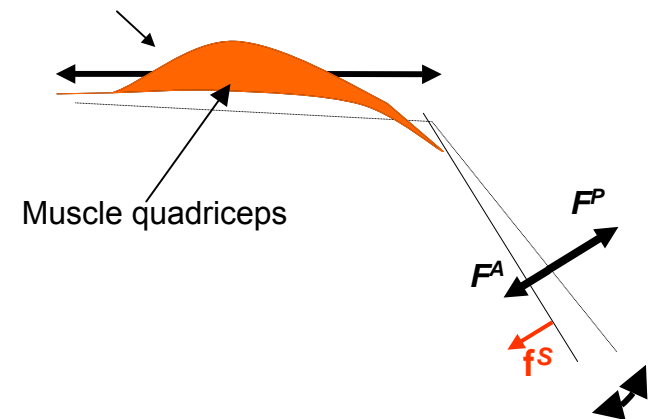


• Techniques de renforcement musculaire

- Entraînement physique (méthodes classiques)
- Electrostimulation (excitation synchrone involontaire)
- Stimulation mécanique (Stimulation GAMMA)

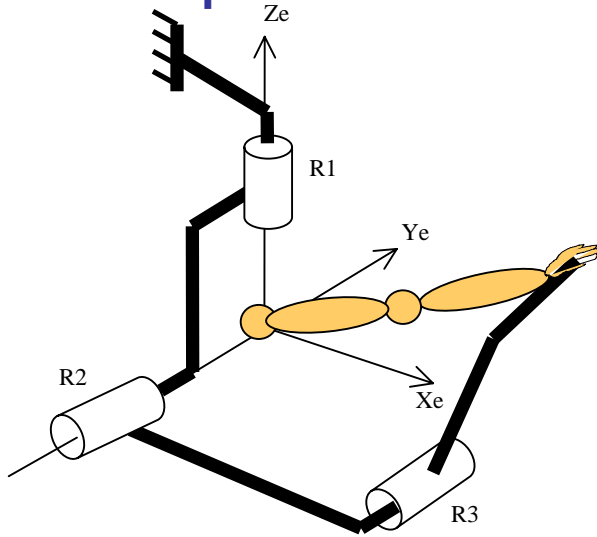
⇒ Lois de commandes adaptées
⇒ Amplitude et Fréquence de f^S
(déterminées de manière individuelle)

Etirement du muscle par f^S



Spécifications Machine MAB

• Cinématique de la machine Membre Sup.



- 3 articulations rotoïdes
- Plan horizontal et vertical
- Exécution de mouvements physiologiques
- Rééducation graduelle
- Capteurs d'efforts

• Objectif et spécification de la partie commande

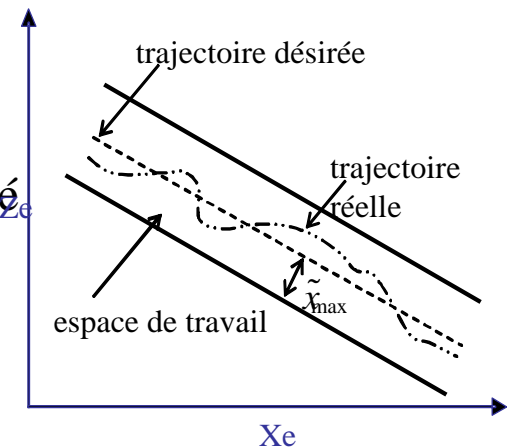
- Contraindre le sujet à rester dans l'espace de travail assigné
- Simulation de l'inertie désirée (Erreur faible)
 - ⇒ Commande en force
- Correction de position + sécurité (Erreur importante)
 - ⇒ Commande en impédance

⇒ **Commande hybride Force/Impédance**

MAB

*Membres supérieurs
Machine à 3 DDL*

Contraintes de commande:



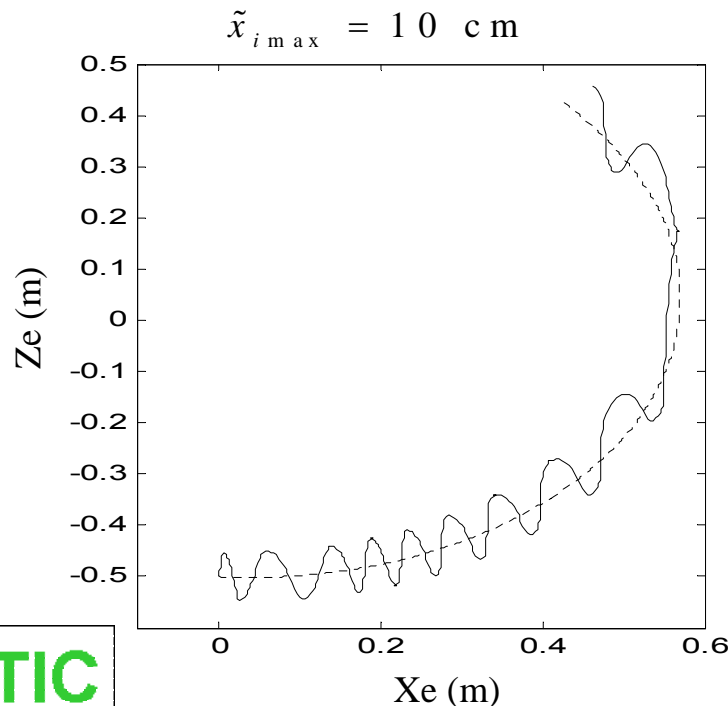
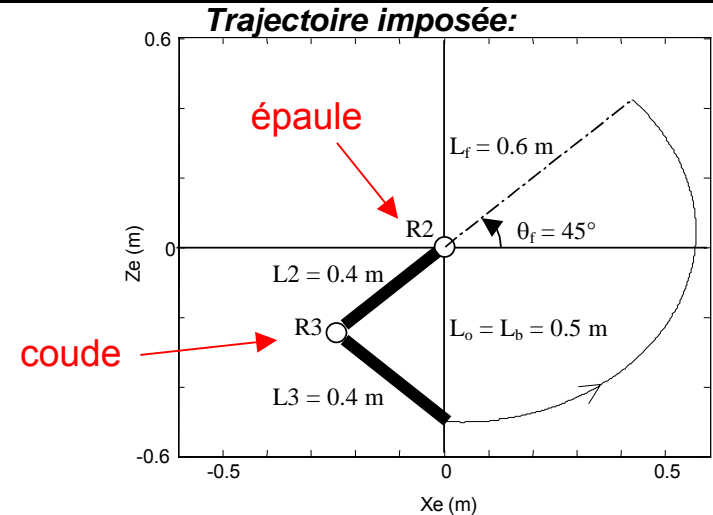
Simulations et résultats (MAB)

- **Simulation avec suivi de trajectoire**

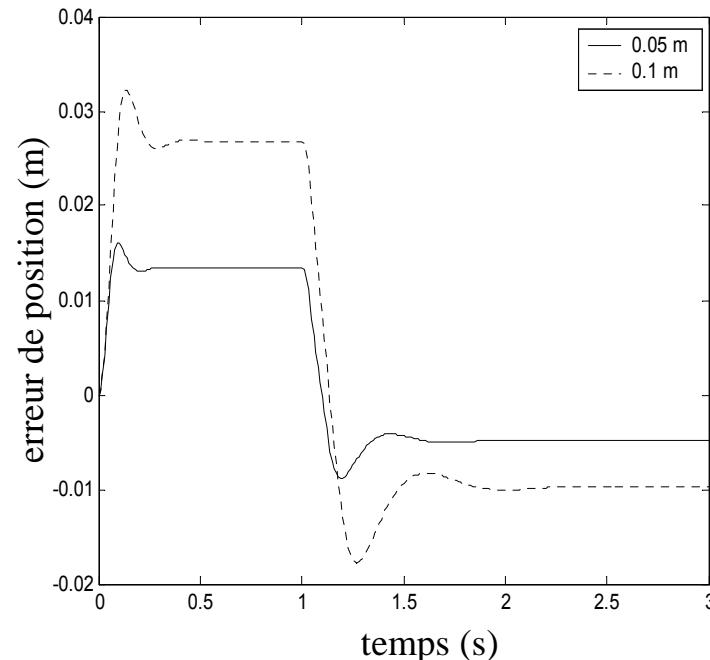
- Amplitude angulaire de l'effecteur: 135°
- Déplacement horizontaux négligés
- Action humaine supposée sinusoïdale

- **Simulation de lâché prise et reprise**

- Lâché: erreur initiale nulle, force nulle à $t=0$
- Reprise: échelon de force à 9.81N à $t=1$ s



Suivit de trajectoire



Lâché prise et reprise

Machine SYS-REEDUC (rééducation 3D du genou)

SYS-REEDUC

Machine à 6 DDL

• Objectifs

- Un meilleur diagnostic de ses pathologies
- Une rééducation précise et personnalisée
- L'amélioration des performances lors des entraînements
- La validation de dispositifs médicaux tels que les prothèses totales du genou

• Modélisation cinématique et dynamique du genou

- 3 translations
 - 3 Rotations
- ⇒ Modèle 3D

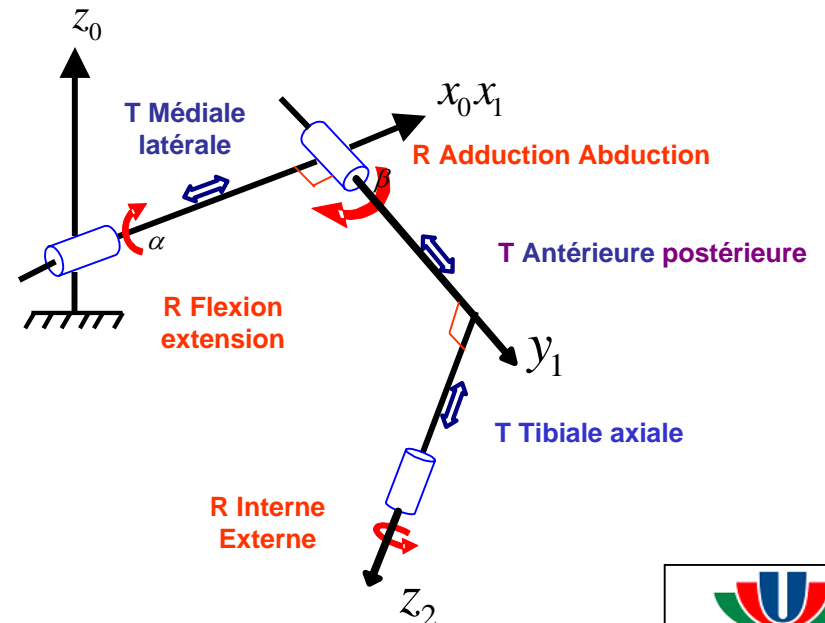
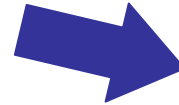
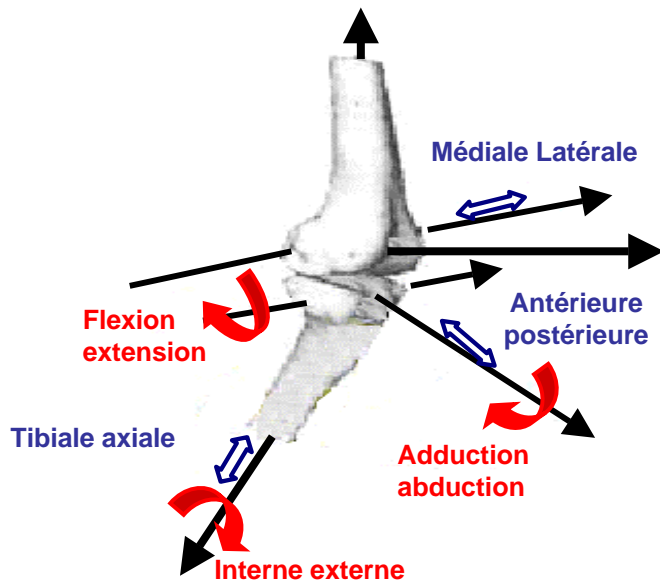
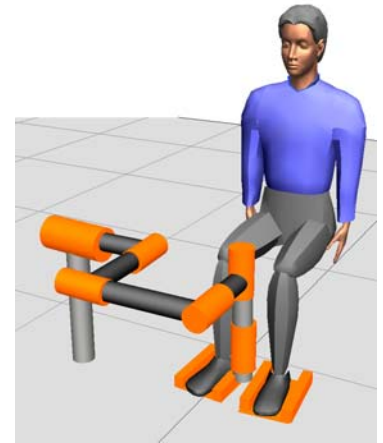


Machine de rééducation tridimensionnelle du genou

- Modèle cinématique

⇒ Proposition d'une architecture mécanique de la machine

⇒ Spécification de trajectoires de consignes



Machine de rééducation tridimensionnelle du genou

- Modèle dynamique

⇒ Évaluation des contraintes articulaires
Dynamique inverse, observateurs...

⇒ Synthèse de lois de commandes
Positions, Vitesses, Forces...



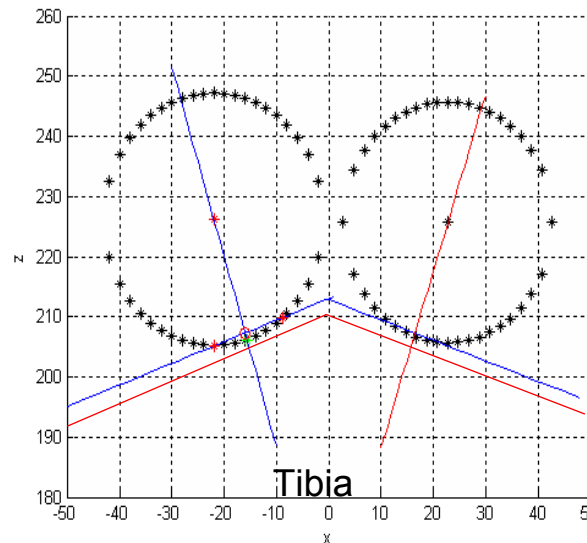
Système fortement
non linéaire



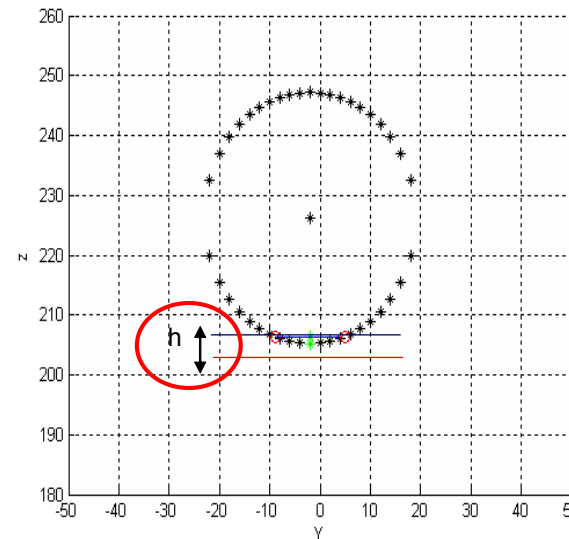
Automatique avancée
(Commande floue, modes glissants...)

- Simulation 3D des mouvement et contraintes articulaires

Fémur



Vue frontale



Vue sagittale

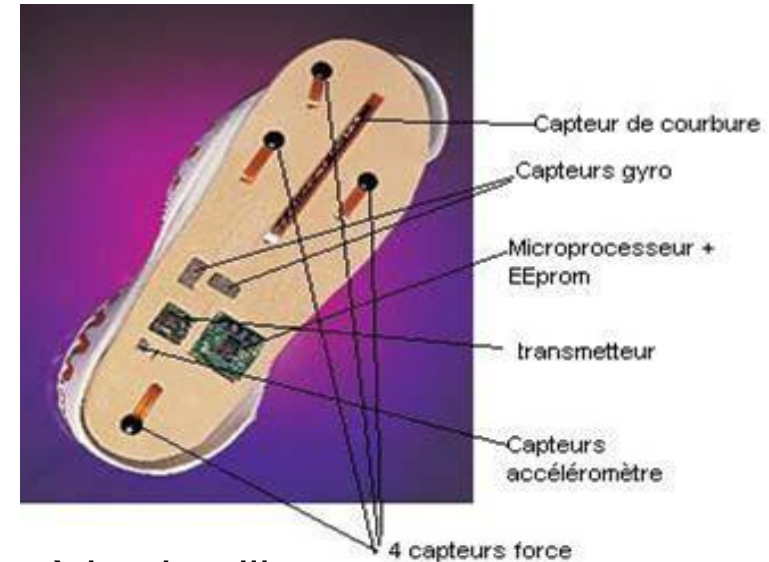
Système embarqué pour l'analyse des mouvements de la cheville

• Objectif

- Analyse dynamique du geste sportif
- Système d'évaluation pour la conception de semelles pour sportifs de haut niveaux

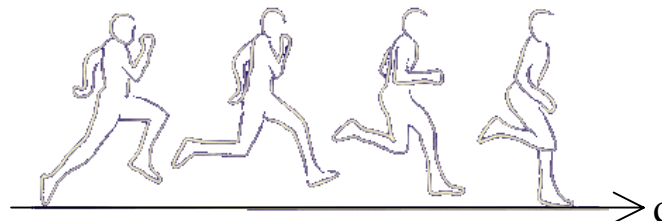
• Spécifications

- Microprocesseur, multi capteur, mémoire
- Analyse temps réel des contraintes articulaires à la cheville
- Analyse temps réel des contacts pieds/sol
- Communication sans fil



Utilisation possibles:

Détermination de la distance parcourue, fatigue articulaire, détection temps réel des risques d'entorses...



Conclusion et perspectives

• Applications de l'automatique en Génie Biomédical

- Compétences initiales: SDH, électronique embarquée, robotique
- Contrats industriels (société Myosoft...)

⇒ **Réalisation de la machine MULTI-ISO**



- Développement de l'axe génie biomédical

⇒ **MAB** (machine membres supérieurs)

⇒ Obtention d'un CPER: **SYS-REEDUC**

⇒ **Semelle instrumentée** (partenariat STAPS Reims)

• Perspectives

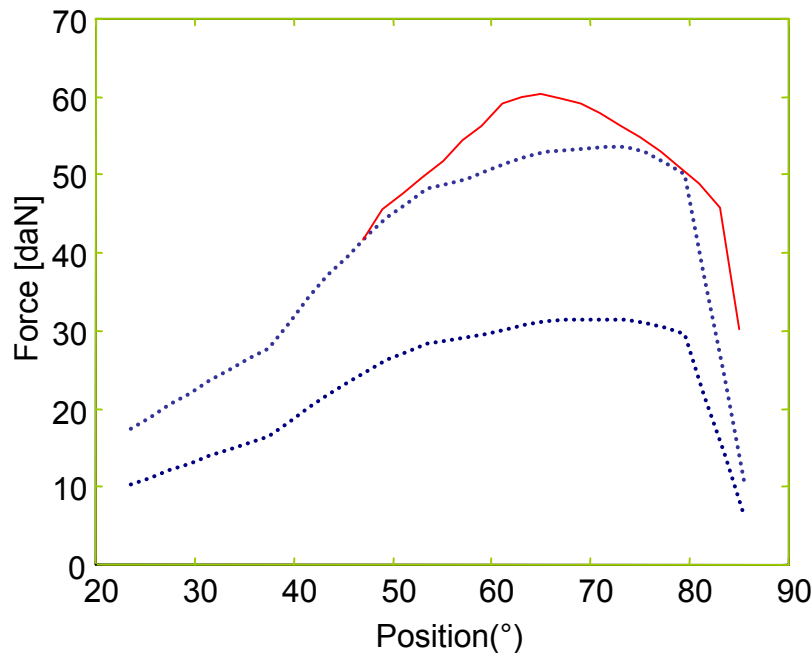
- Renforcer les compétences en Génie Biomédical au CReSTIC
- Favoriser le transfert technologique (ERT)
- Études de commandes robustes pour systèmes robotisés (Exosquelettes, Prothèses intelligentes...)

Résultats expérimentaux Multi-ISO

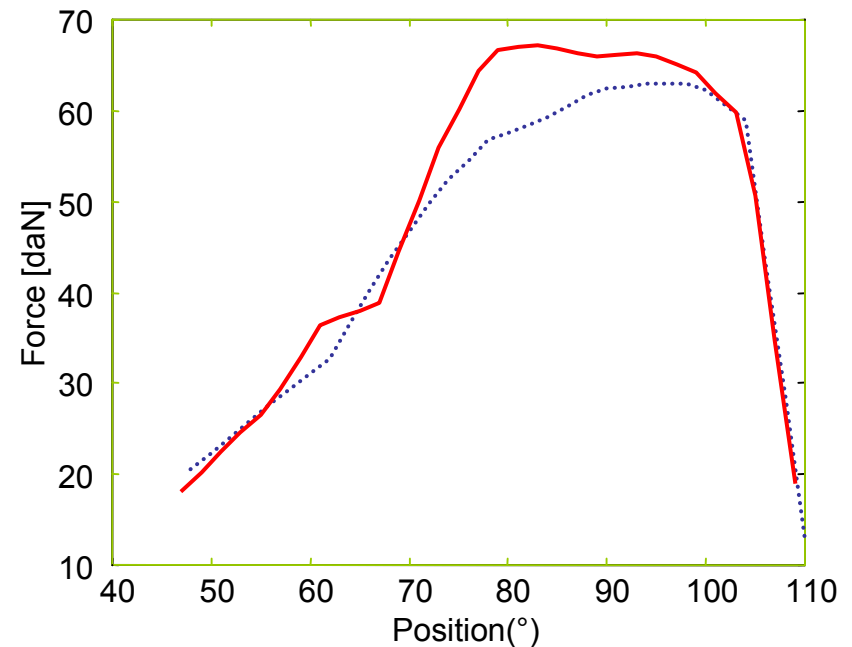
• Correction de la courbe d'effort: Mode physiocinétique

1. Courbe de référence
2. Adaptation de la consigne
3. Première évaluation
4. Entraînement avec suivi de consigne imposée
5. Évaluation finale

Courbes d'entraînement : *Physiocinétique*



Courbes d'évaluation : *Isocinétique*



✓ Décalage du pic de force (80°)