

**PRISME**  
Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche  
Ingénierie des Systèmes, Mécanique, Énergétique

**JETSAN – 2017**  
**La santé connectée**

**JetSan 2017**  
IUT de Bourges 31 mai - 1<sup>er</sup> juin 2017

**Generalized Framework for Control of Redundant Manipulators in RA-MIS**

Contrôle dynamique d'un manipulateur redondant :  
application à la chirurgie mini-invasive robotisée

Juan Sebastián SANDOVAL-ARÉVALO  
Pierre VIEYRES  
Gérard POISSON

01/06/2017  
6<sup>ème</sup> édition du colloque JETSAN

1 juin 2017

UNIVERSITÉ D'ORLÈANS  
INSA INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES CENTRE VAL DE LOIRE

**PRISME**  
Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche  
Ingénierie des Systèmes, Mécanique, Énergétique

**INTRODUCTION**    REDONDANCE    COMMANDE PROPOSÉE    RÉSULTATS


**Contexte:**  
**Besoin : Anesthésie Logo Régionale écho-guidée (ultrasons)**  
*Equipe Médipôle-Garonne Toulouse – projet Région Danieal*

↑

- Expert dépendant : détection du nerf
- Aide au geste : insertion d'aiguille
- Assistance robotisée

UNIVERSITÉ D'ORLÈANS  
INSA INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES CENTRE VAL DE LOIRE



**PRISME**  
Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche  
Ingénierie des Systèmes, Mécanique, Énergétique

INTRODUCTION

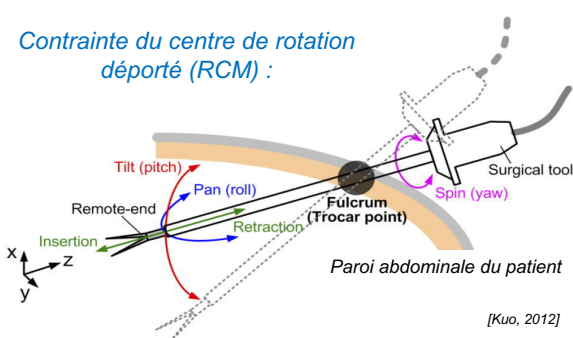
REDONDANCE

COMMANDE PROPOSÉE

RÉSULTATS

**Enjeux scientifiques :**  
Application : chirurgie mini-invasive assistée par comanipulation robotique



*Contrainte du centre de rotation déporté (RCM) :*



*[Kuo, 2012]*

01/06/2017

3

INSTITUT NATIONAL  
DES SCIENCES  
APPLIQUÉES  
CENTRE VAL DE LOIRE



**PRISME**  
Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche  
Ingénierie des Systèmes, Mécanique, Énergétique

INTRODUCTION

REDONDANCE

COMMANDE PROPOSÉE


RÉSULTATS

**Enjeux scientifiques :**

- RCM mécanique :



Cinématique en parallélogramme



*[Kuo, 2012]*


*[da Vinci® Surgical System, Intuitive Surgical]*

01/06/2017

4




INSTITUT NATIONAL  
DES SCIENCES  
APPLIQUÉES  
CENTRE VAL DE LOIRE

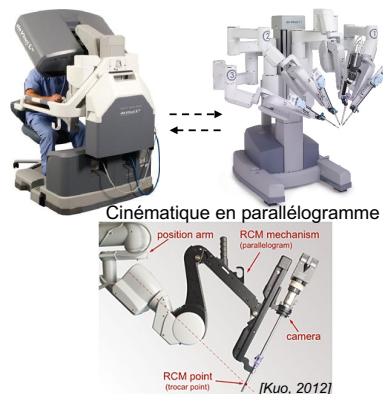


**PRISME**  
Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche  
Ingénierie des Systèmes, Mécanique, Énergétique

INTRODUCTION
REDONDANCE
COMMANDE PROPOSÉE
RÉSULTATS

## Enjeux scientifiques :

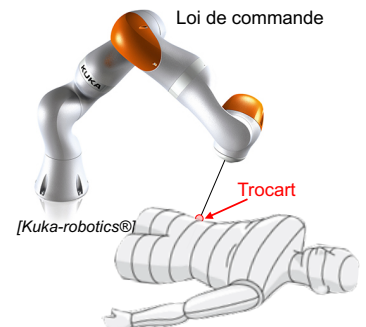
- **RCM mécanique :**



Cinématique en parallélogramme

- **RCM programmable :**

Loi de commande



[Kuka-robotics®]

↑

Versatilité

↓

Sécurité du patient




UNIVERSITÉ D'ORLÈANS



INSA

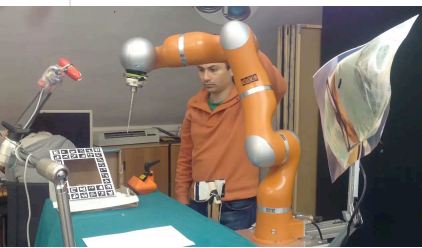
INSTITUT NATIONAL  
DES SCIENCES  
APPLIQUÉES  
CENTRE VAL DE LOIRE

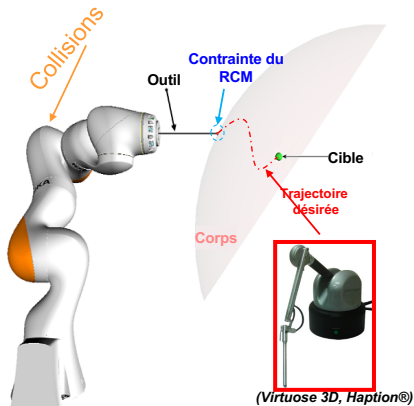


**PRISME**  
Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche  
Ingénierie des Systèmes, Mécanique, Énergétique

INTRODUCTION
REDONDANCE
COMMANDE PROPOSÉE
RÉSULTATS

## Système robotisé redondant pour la chirurgie mini-invasive :






(Virtuose 3D, Haption®)


- Interaction Opérateur/Robot
- Espace de travail
- Gestion des collisions; Tâches
- Redondance

- Trajectoire outil > Système haptique




UNIVERSITÉ D'ORLÈANS



INSA

INSTITUT NATIONAL  
DES SCIENCES  
APPLIQUÉES  
CENTRE VAL DE LOIRE

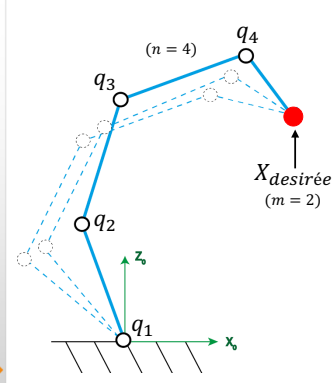
01/06/2017



**PRISME**  
Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche  
Ingénierie des Systèmes, Mécanique, Énergétique

INTRODUCTION
**REDONDANCE**
COMMANDE PROPOSÉE
RÉSULTATS

### Redondance cinématique :



- Un robot est considéré redondant si :
 



$$m < n$$


*m = dimension de l'espace de déplacement*  
*n = dimension de l'espace articulaire*
- Plusieurs configurations articulaires garantissent une même position
- Exploitation : autres tâches (évitement...)

Espace redondant → **Espace nul**

7

01/06/2017

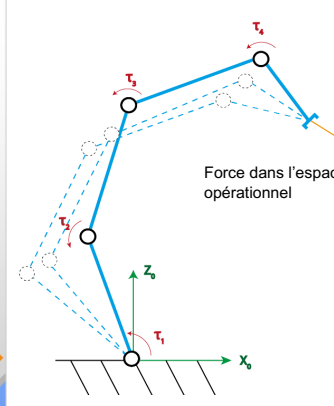





**PRISME**  
Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche  
Ingénierie des Systèmes, Mécanique, Énergétique

INTRODUCTION
**REDONDANCE**
COMMANDE PROPOSÉE
RÉSULTATS

### Redondance en dynamique :



- Modèle dynamique d'un manipulateur :

Couple de commande
Matrice d'inertie
Forces gravitationnelles

$$\dot{\tau} = M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + g(q) - J^T F_{ext}$$

Forces centrifuges
Forces externes
- Solution dynamique généralisée :

$$\tau_c = \tau_1 + \tau_N + \hat{C}(q, \dot{q})\dot{q} + \hat{g}(q)$$

C couple de commande dans l'espace opérationnel, « tâche primaire » : trajectoire

C couple de commande dans l'espace nul « tâche secondaire »

8

01/06/2017

**PRISME**  
Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche  
Ingénierie des Systèmes, Mécanique, Énergétique
INTRODUCTION    REDONDANCE    **COMMANDE PROPOSÉE**    RÉSULTATS

### Approche de commande proposée : priorité entre les tâches

- Solution dynamique généralisée :

$$\tau_c = \tau_1 + \tau_N + \hat{C}(q, \dot{q})\dot{q} + \hat{g}(q)$$

← Espace opérationnel
← Espace nul
- Multiples tâches dans l'espace nul :

$$\tau_N = \sum_{i=2}^r N_i(q)\tau_i = \sum_{i=2}^r N_i(q)J_i^T F_i$$
- Projecteur dans l'espace nul :

$$N_i(q) = I - J_{i-1}^A(q)^T (J_{i-1}^A(q))^+$$

Avec,  $J_{i-1}^A(q) = \begin{bmatrix} J_1(q) \\ J_2(q) \\ \vdots \\ J_{i-1}(q) \end{bmatrix}$

01/06/2017 → Ni garantit la priorité stricte entre les tâches :  
(evitement obstacle, gestion singularité..)

**PRISME**  
Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche  
Ingénierie des Systèmes, Mécanique, Énergétique
INTRODUCTION    REDONDANCE    **COMMANDE PROPOSÉE**    RÉSULTATS

### Approche de commande proposée : priorité entre les tâches

- Priorités des tâches :
  1. Commande en impédance cartésienne pour la trajectoire de l'outil:

$$\tau_1 = J_1^T [K_c(x_d - x) + D_c(\dot{x}_d - \dot{x})]$$

Force du type « ressort-amortisseur »

01/06/2017

**PRISME**  
Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche  
Ingénierie des Systèmes, Mécanique, Énergétique

INTRODUCTION REDONDANCE **COMMANDE PROPOSÉE** RÉSULTATS

Approche de commande proposée :

- Priorités des tâches :
  1. Commande en impédance cartésienne
  2. Contrainte du RCM , minimiser distance D

$$\tau_2 = J_{RCM}^T [K_r(t_a - t) + D_r(\dot{t}_a - \dot{t})]$$

$t = D$   
 $t_a = \dot{t}_a = 0$

11

01/06/2017

**PRISME**  
Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche  
Ingénierie des Systèmes, Mécanique, Énergétique

INTRODUCTION REDONDANCE **COMMANDE PROPOSÉE** RÉSULTATS

Approche de commande proposée :

- Priorités des tâches :
  1. Commande en impédance cartésienne
  2. Contrainte du RCM
  3. Compliance dans le corps du robot :

$$\tau_3 = [K_j(q_a - q) + D_j(\dot{q}_a - \dot{q})]$$

↑  
Configuration articulaire désirée

12

01/06/2017



**PRISME**  
Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche  
Ingénierie des Systèmes, Mécanique Énergétique

**JetSan 2017**  
La Santé Connectée

Avec **BERNARDI/centra**  
mail: robert.bernardi@centra.polimi.it  
Site: robert.bernardi@centra.polimi.it

## Merci de votre attention



Juan Sandoval @ NearLab (Politecnico di Milano, Mai 2017)

15

01/06/2017

**UNIVERSITÉ D'ORLÈANS**  
**INSA** INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES  
CENTRE VAL DE LOIRE