

# Analyse et évaluation des gestes médico chirurgicaux

Laboratoire AMPÈRE  
UMR CNRS 5005, Université de Lyon

16 novembre 2014



- 1 Motivations
- 2 Méthodes Classiques
- 3 Évaluation objective
- 4 DALW - Dynamic Arc Length Parametrization
- 5 Vitesse Affine
- 6 Conclusion & Perspectives



# Plan

## ① Motivations

Pourquoi ?

Comment ?

## ② Méthodes Classiques

## ③ Évaluation objective

## ④ DALW - Dynamic Arc Length Parametrization

## ⑤ Vitesse Affine



# Pourquoi évaluer les gestes ?

## Motivations

- Transfert du savoir faire
- L'apprentissage se fait par compagnonnage
- "*Jamais la première fois sur un patient*" [HAS, 2012]
- Formation sur simulateur
- Formation initiale et continue



# Pourquoi évaluer les gestes ?

La CMI apporte de nombreux avantages pour les patients ...  
 ... mais de nouvelles contraintes pour les chirurgiens

- Apprentissage des gestes
- Il existe des simulateurs pour s'entraîner
- Ils peuvent également servir d'outils de certification
- Nécessité d'une **évaluation objective**



# Comment évaluer les gestes ?

- Méthodes classiques
  - Chaînes de caractères
  - Texte manuscrit
  - Analyse d'images
  - Biométries
- Évaluation automatisée & objective
- Facile à implémenter et à interpréter
- Adaptable



# Plan

- 1 Motivations
- 2 Méthodes Classiques  
OSATS  
GOALS
- 3 Évaluation objective
- 4 DALW - Dynamic Arc Length Parametrization
- 5 Vitesse Affine



# OSATS – Objective Structure Assessment of Technical Skills

- Un novice réalise un geste sous la supervision d'un expert
- L'évaluation se fait sous forme de checklist des différentes étapes
- Chaque étape est validée sous forme de score (0 ou 1)

## Inconvénients

- Méthode pas vraiment objective
- Grande dispersion des résultats selon l'expert
- Comment découper le geste en étapes ?





# GOALS – GLObal Assessment of Laparoscopic Skills

- Un novice réalise un geste sous la supervision d'un expert
- 5 catégories :
  - Perception de la profondeur
  - Dextérité bi manuelle
  - Efficacité
  - Manipulation des tissus
  - Autonomie
- Chaque étape est validée sous forme de score (0 à 5)

## Inconvénients

- Méthode toujours pas objective
- Grande dispersion des résultats selon l'expert
- Difficilement transposable à d'autres gestes



# Plan

- 1 Motivations
- 2 Méthodes Classiques
- 3 Évaluation objective**
  - Mesure de la dextérité
  - DTW - Dynamic Time Warping
- 4 DALW - Dynamic Arc Length Parametrization
- 5 Vitesse Affine



# Mesure de la dextérité

- La mesure du temps n'est pas le seul paramètre
- Données multi dimensionnelles
- Choix des données mesurées :
  - position
  - orientation
  - vitesse
  - accélération
  - force
  - couple
  - nombre de mouvements
  - précision



# Segmentation du mouvement et HMM

- Le geste est découpé en éléments élémentaires (steps, sub-steps, tasks, sub-tasks, ...)
- Ces éléments sont hiérarchisés
- Validée pour certains gestes/procédures
- Hidden Markov Models

## Inconvénients

- Comment découper ?
- Besoin d'énormément de données
- Difficilement transposable à d'autres gestes
- Résultats pas très concluants



## Métriques non élastiques

Distance Euclidienne  $d_{Eucl} = \sqrt{\sum_{i=1}^m |x_1 - x_2|^2}$

Distance Manhattan  $d_{Manh} = \sum_{i=1}^m |x_1 - x_2|$

Distance Chebyshev  $d_{Cheb} = \max |x_1 - x_2|$

Distance Gower  $d_{Gower} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |x_1 - x_2|$

...

...

+

- Simple
- Efficace pour certaines applications

-

- Non généralisable
- Problème si les séquences ne sont pas de la même taille

# Métriques élastiques

Prise en compte des phénomènes suivants :

- Périodes d'échantillonnage différentes
- Vitesse différente
- Points aberrants
- Longueur différente
- Efficacité
- Sensibilité aux bruits et aux valeurs aberrantes

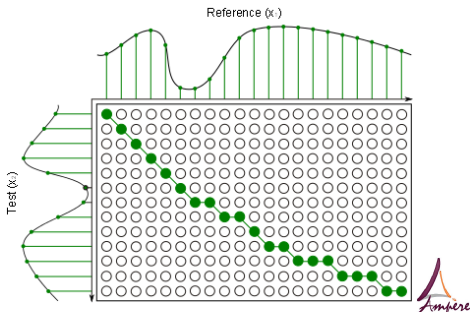
# DTW - Dynamic Time Warping

À partir de deux séquences  $A$  et  $B$  tel que :

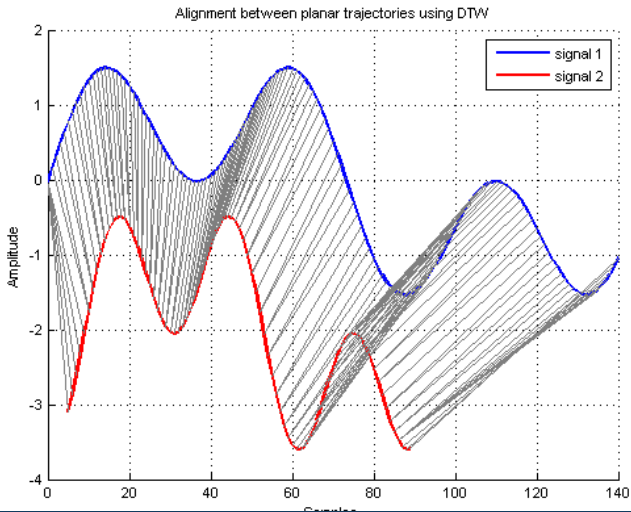
$$A = a_1, \dots, a_i, \dots, a_n \text{ et } B = b_1, \dots, b_j, \dots, b_m$$

## Algorithme

- Une matrice  $n \times m$  contient chacune des distances  $d(a_i, b_j)$
- Chaque élément de matrice correspond à l'alignement entre  $a_i$  et  $b_j$
- La déformation est une série continue des éléments de matrice qui définit le mapping entre  $A$  et  $B$



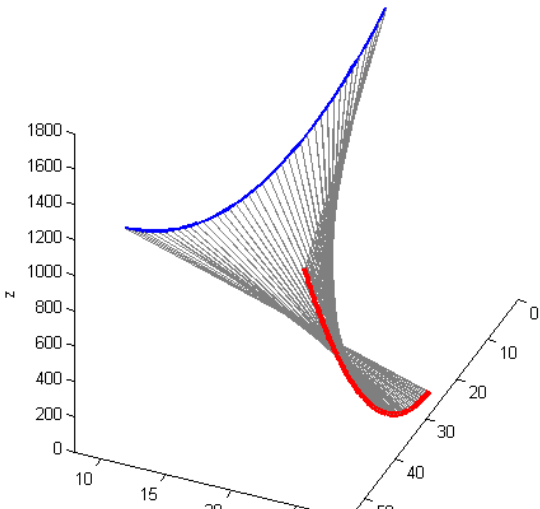
# DTW - Dynamic Time Warping





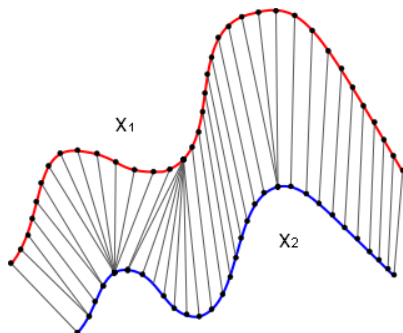


# MD-DTW - Multi Dimensional DTW

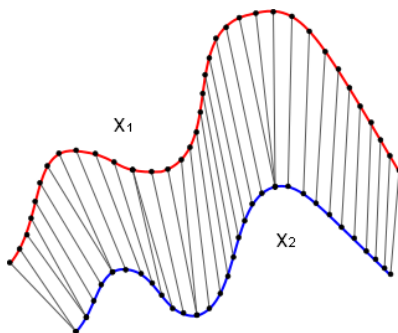


# DDTW - Derivative DTW

Si la différence d'échantillonnage est grande



Classic DTW



Derivative DTW

# Plan

- 1 Motivations
- 2 Méthodes Classiques
- 3 Évaluation objective
- 4 DALW - Dynamic Arc Length Parametrization**
  - Courbure
  - Simulation
  - Résultats expérimentaux
- 5 Vitesse Affine



# Étude de la courbure

Une alternative à la représentation classique :

Paramétrisation en fonction de la longueur d'arc



# Étude de la courbure

Soit  $\mathbf{P}$  une trajectoire 4D définie par  $(t, x, y, z)$

- $\mathbf{P}$  est généralement interprétée par un vecteur tel que  $\vec{r}(t) = [x(t), y(t), z(t)]$  où  $t \in [a, b]$ .
- Soit  $S$  la longueur d'arc cumulée tel que :

$$S = \int_{t_a}^{t_b} \|\vec{r}'(t)\| dt$$

- $\mathbf{P}$  peut être reparamétrée en fonction du paramètre normalisée  $s$  tel que :

$$s = \frac{1}{S} \int_{t_a}^{t_b} \|\vec{r}'(t)\| dt \text{ où } s \in [0, 1]$$



# Étude de la courbure

## Cette paramétrisation apporte plusieurs intérêts

- Indépendance par rapport au temps
- Indication sur la forme de la trajectoire
- Indépendance du système de coordonnées initiales
- Facilité pour calculer la courbure  $\kappa$

$$\kappa(s) = \|\vec{r}''(s)\|$$

# Exemple sur un geste obstétrique - video

## Partie visualisation

Pour visualiser les forceps à l'intérieur du bassin maternel en temps réel.

## Partie électro pneumatique

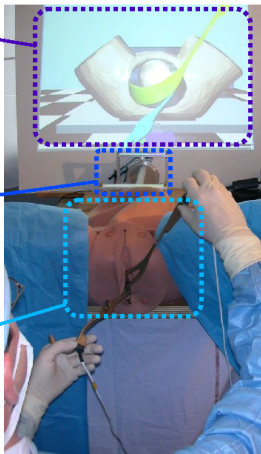
Actionneur pneumatique (simulation des efforts)

Système rotatif (orientation de la tête)

## Partie mécanique

Bassin mou et osseux  
Tête fœtale

Sensation haptique



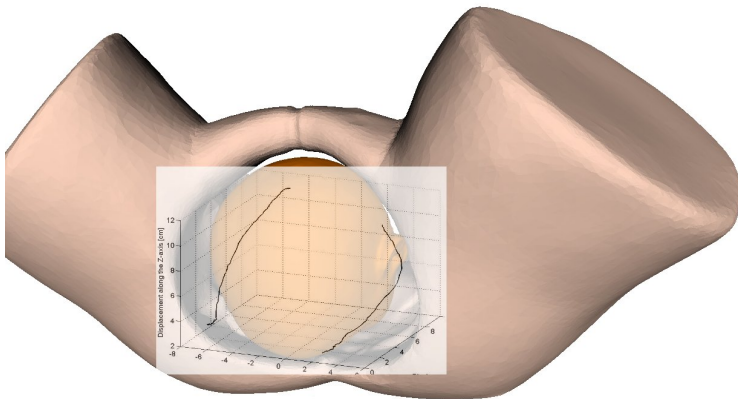
## Instrumentation

Capteur d'effort  
Capteurs de pression  
Capteurs de position à 6ddl

## Acquisition et contrôle

Solution de prototypage rapide dSPACE couplée avec Matlab Simulink

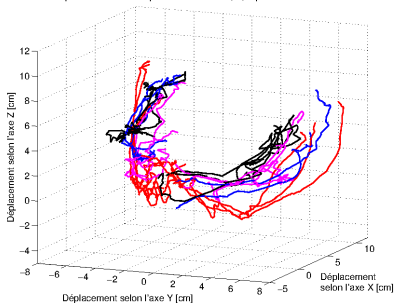
# Exemple sur un geste obstétrique





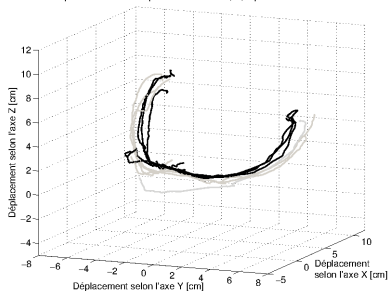
# Novices vs Experts

Déplacement des forceps selon les axes X, Y, Z pour CP+2 – Vue en 3D



Trajectoire de 4 Novices

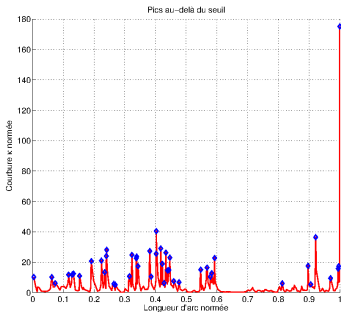
Déplacement des forceps selon les axes X, Y, Z pour CP+2 – Vue en 3D



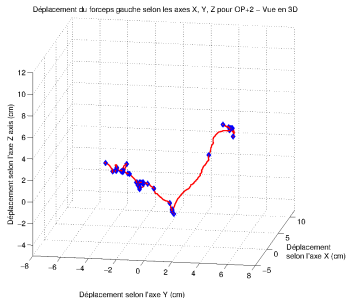
Trajectoire de 2 experts



# Cas d'un novice



Pics sur la courbure

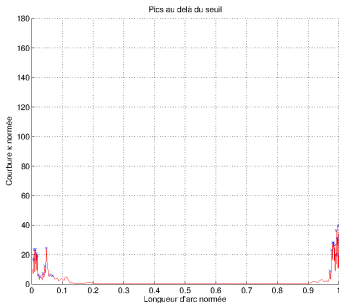


Pics sur le geste en 3D

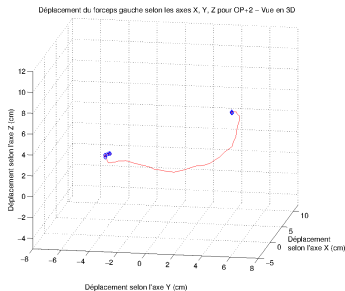




# Cas d'un expert



Pics sur la courbure



Pics sur le geste en 3D

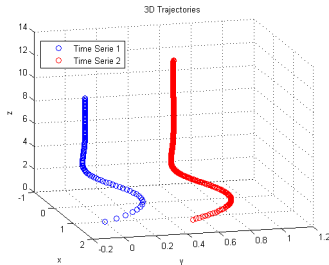


# Évolution d'un novice

Présentation OP+2		Coefficient de corrélation $r_{pr}$ [%]		
		Jour de formation 1	Jour de formation 2	Jour de formation 3
Novice 1	CGF	33.16	48.93	45.89
	CDF	19.05	51.42	70.49
Novice 2	CGF	33.54	11.29	44.51
	CDF	27.88	25.45	52.95
Novice 3	CGF	17.92	38.23	43.81
	CDF	04.22	48.13	35.98
Novice 4	CGF	29.49	16.66	35.15
	CDF	28.19	26.20	61.37
Moyenne des Novices	CGF	<b>28.53</b>	<b>28.78</b>	<b>42.34</b>
	CDF	<b>19.83</b>	<b>37.80</b>	<b>55.20</b>

# DALW - d'un problème 3D à un problème 1D

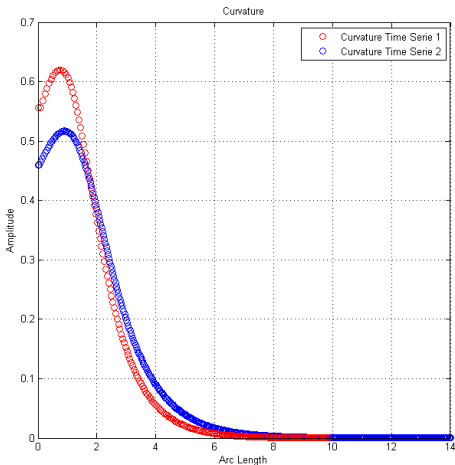
- 2 trajectoires simples
- l'une d'elle est une homothétie
- position spatiale différente
- nombre d'échantillons différent



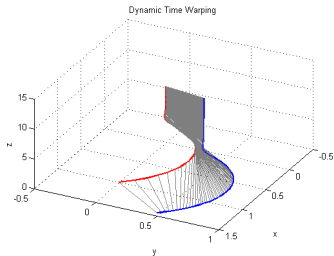
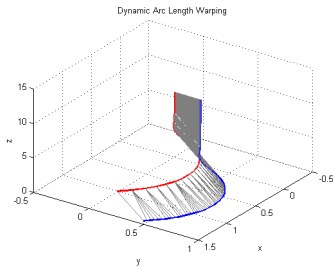


# Exemple en simulation

## Visualisation de la courbure

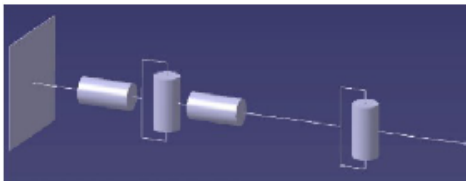
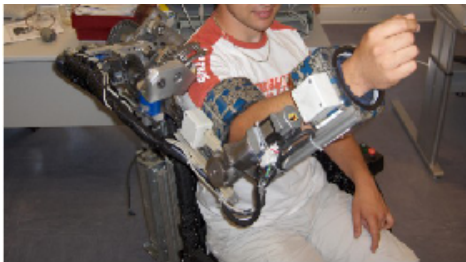


# Exemple en simulation



DALW	MD-DTW
60.25	61.86

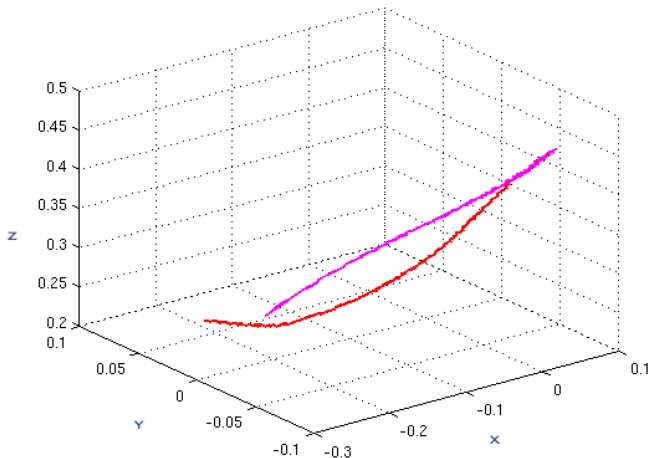
# Analyse d'un geste humain



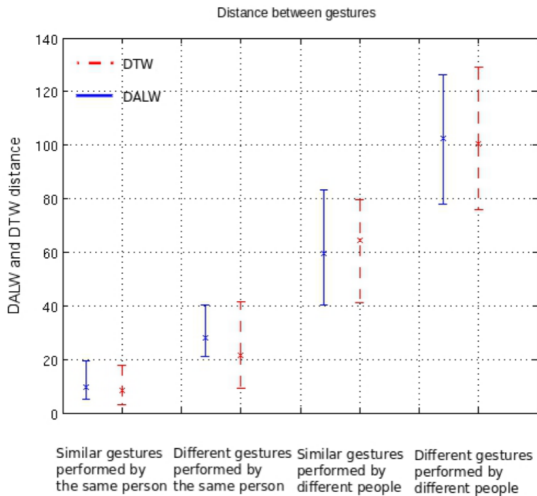
- Deux sortes de gestes cinématiquement similaires
- 10 sujets différents
- Transparence de l'exosquelette (effets de la gravité compensés)



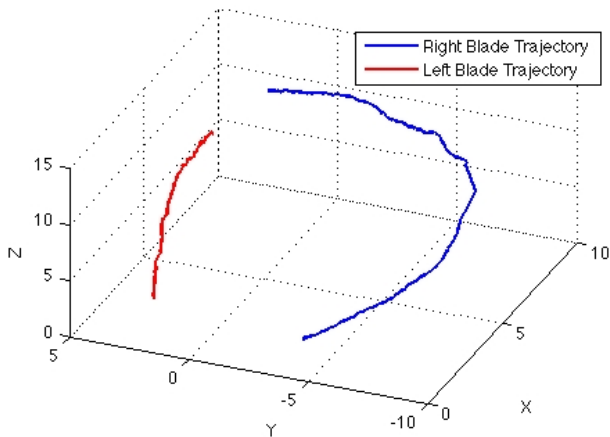
# Analyse d'un geste humain



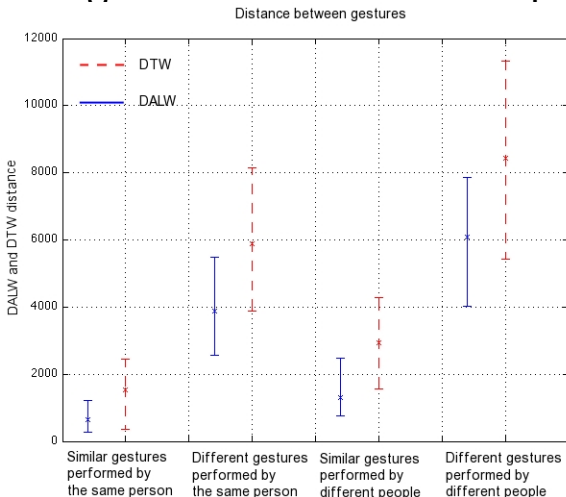
# Analyse d'un geste humain



# Analyse d'un geste médical - Obstétrique



# Analyse d'un geste médical - Obstétrique



# Plan

- ① Motivations
- ② Méthodes Classiques
- ③ Évaluation objective
- ④ DALW - Dynamic Arc Length Parametrization
- ⑤ Vitesse Affine
  - Two-thirds and One-Sixth Power Law
  - Application aux gestes obstétriques
  - Application aux gestes laparoscopiques



# Two-thirds power law

Observations pour des mouvements 2D :

- $v$  diminue quand  $\kappa$  augmente
- $v$  augmente quand la trajectoire devient linéaire

Conclusion :

La relation entre la géométrie locale et la cinématique est corrélée par :

$$v = \alpha \kappa^{-\frac{1}{3}}$$

avec :  $v = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}$      $\alpha$  : facteur de gain     $\kappa = \frac{|\dot{x}\ddot{y} - \ddot{x}y|}{(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)^{\frac{3}{2}}}$



# Vitesse affine

Pour les gestes complexes, l'étude de la vitesse affine ( $v_a$ ) est plus appropriée que la vitesse euclidienne ( $v$ ) :

$$v_a = |\dot{x}\ddot{y} - \ddot{x}\dot{y}|^{\frac{1}{3}}$$

Après quelques manipulations algébriques, on obtient :

$$v = v_a K^{-\frac{1}{3}}$$

Si  $v_a$  est constant, le mouvement est équivalent à un mouvement régit par la "Two-thirds Power Law"



# One-sixth power law

Pour les gestes complexes 3D, on a :

$$v = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}$$

$$\kappa = \frac{\sqrt{(\dot{y}\ddot{z} - \ddot{y}z)^2 + (\ddot{x}z - \dot{x}\ddot{z})^2 + (\dot{x}\ddot{y} - \ddot{x}y)^2}}{(\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2)^{\frac{3}{2}}}$$

$$\tau = \frac{\left| \frac{dr}{dt}, \frac{d^2r}{dt^2}, \frac{d^3r}{dt^3} \right|}{\left\| \frac{dr}{dt} \wedge \frac{d^2r}{dt^2} \right\|}$$





# One-sixth power law

Pour les gestes complexes 3D, on a :

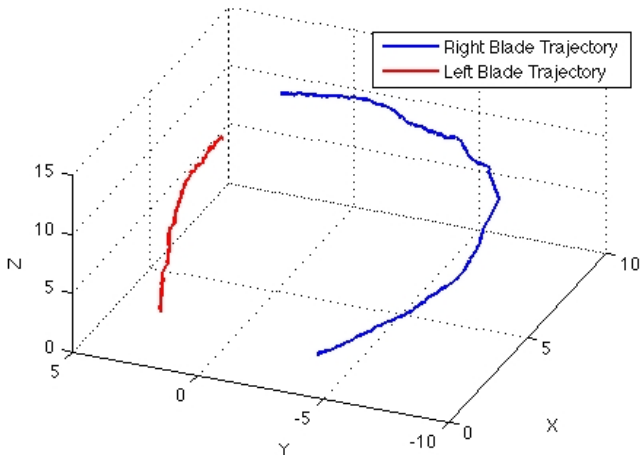
$$v_a = \left| \frac{dr}{dt}, \frac{d^2r}{dt^2}, \frac{d^3r}{dt^3} \right|^{1/6}$$

$$v = v_a (\kappa^2 |\tau|)^{-1/6}$$

$$v = v_a \kappa^{-1/3} |\tau|^{-1/6}$$

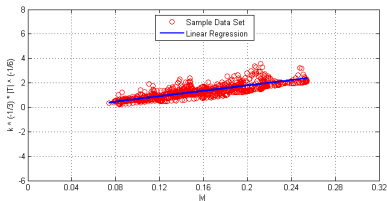


# Application aux gestes obstétriques

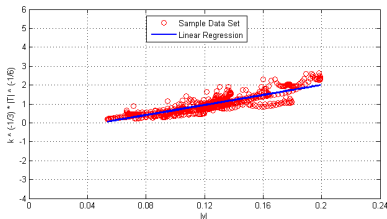


# Application aux gestes obstétriques

Ces gestes vérifient la “One-Sixth Power Law”



$\kappa^{1/3}|\tau|^{-1/6}$  en fonction de  $|v|$   
Gauche



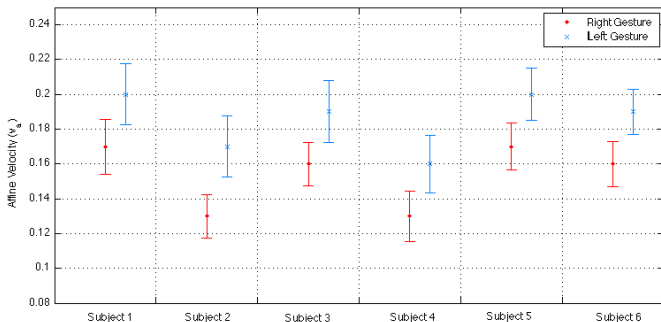
$\kappa^{1/3}|\tau|^{-1/6}$  en fonction de  $|v|$   
Droit



# Application aux gestes obstétriques

Vitesse affine pour chaque geste

6 sujets - 30 trajectoires gauches - 30 trajectoires droites



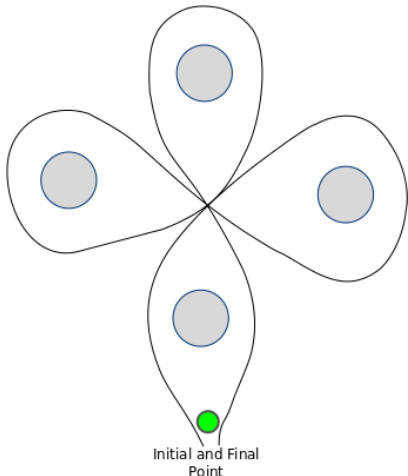
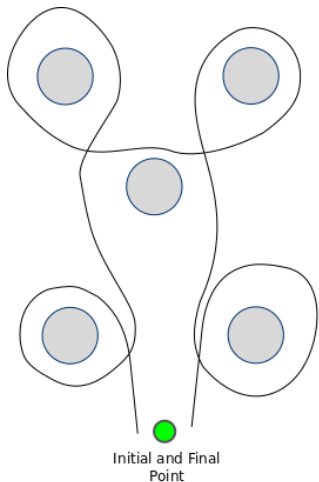
# Application aux gestes laparoscopiques

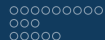
## Système d'entraînement aux gestes laparoscopiques



# Application aux gestes laparoscopiques

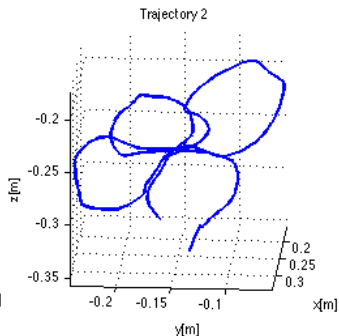
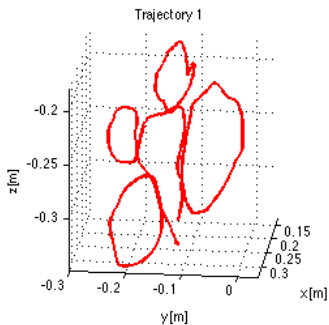
## Trajectoires théoriques





# Application aux gestes laparoscopiques

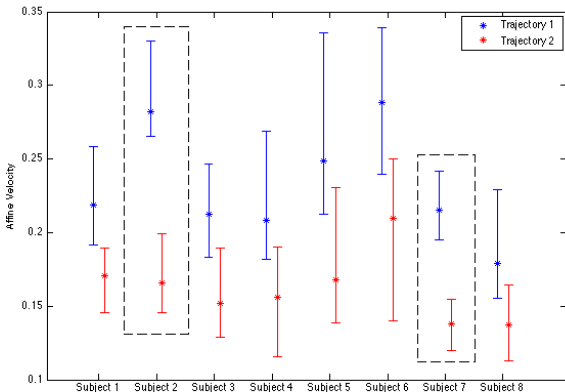
## Trajectoires expérimentales



# Application aux gestes laparoscopiques

Vitesse affine pour chaque geste

8 sujets - 10 trajectoires 1 - 10 trajectoires 2





# Plan

- ① Motivations
- ② Méthodes Classiques
- ③ Évaluation objective
- ④ DALW - Dynamic Arc Length Parametrization
- ⑤ Vitesse Affine
- ⑥ Conclusion & Perspectives

Conclusion

# Conclusion

## Pourquoi analyser le geste ?

- Évaluation de la formation
- Formation initiale et continue sur simulateur
- Apprentissage personnalisée
- Auto apprentissage et auto évaluation

# Conclusion

## Comment évaluer le geste ?

- Dans la littérature, plusieurs méthodes existent pour évaluer des trajectoires
- Problème de distorsion avec le paramètre temps
- Proposition de reparamétrisation
- Étude de la courbure
- Proposition d'un algorithme alternatif DALW
- Étude de la vitesse affine



# Perspectives

- Méthodes à compléter statistiquement
- Méthodes à mettre en œuvre sur d'autres gestes

Besoin de données expérimentales

# Perspectives

- Segmentation automatisée des gestes
- Prises en compte d'autres paramètres (forces/couples)
- Étude énergétique

# Merci de votre attention

