

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

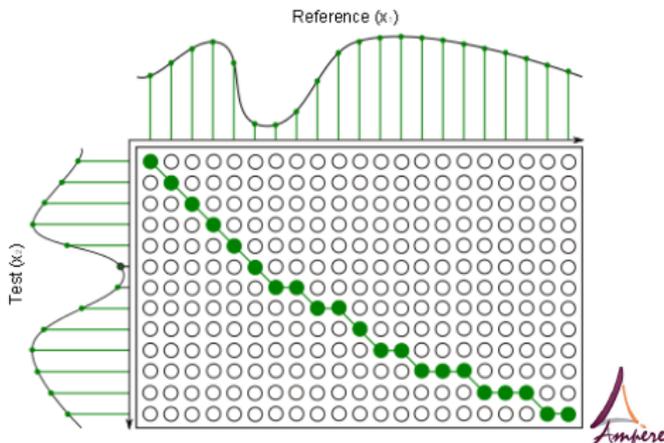
DTW - Dynamic Time Warping

À partir de deux séquences A et B tel que :

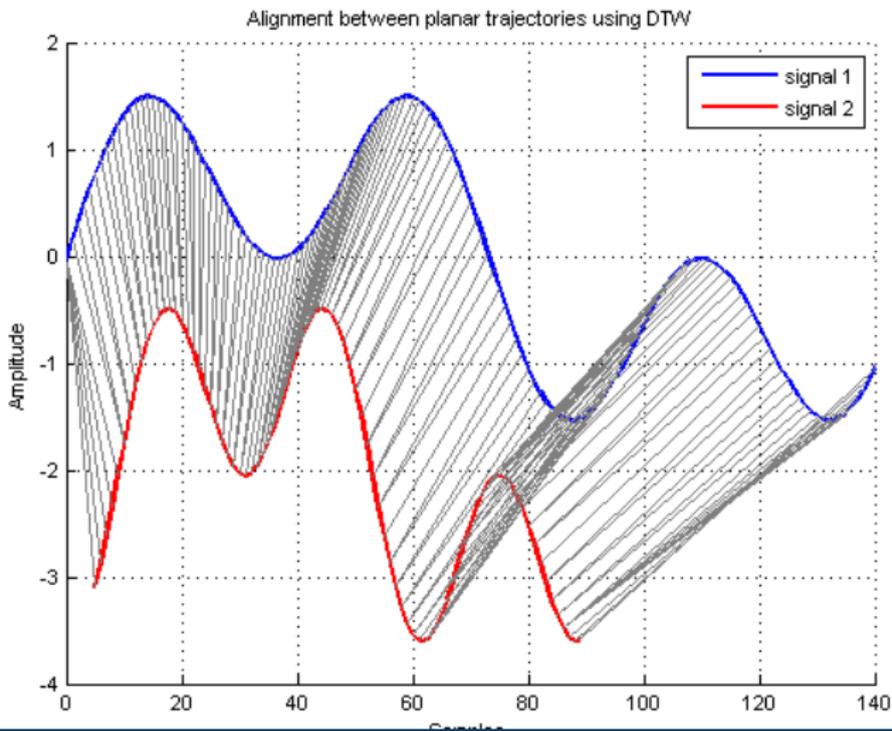
$$A = a_1, \dots, a_i, \dots, a_n \text{ et } B = b_1, \dots, b_j, \dots, b_m$$

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

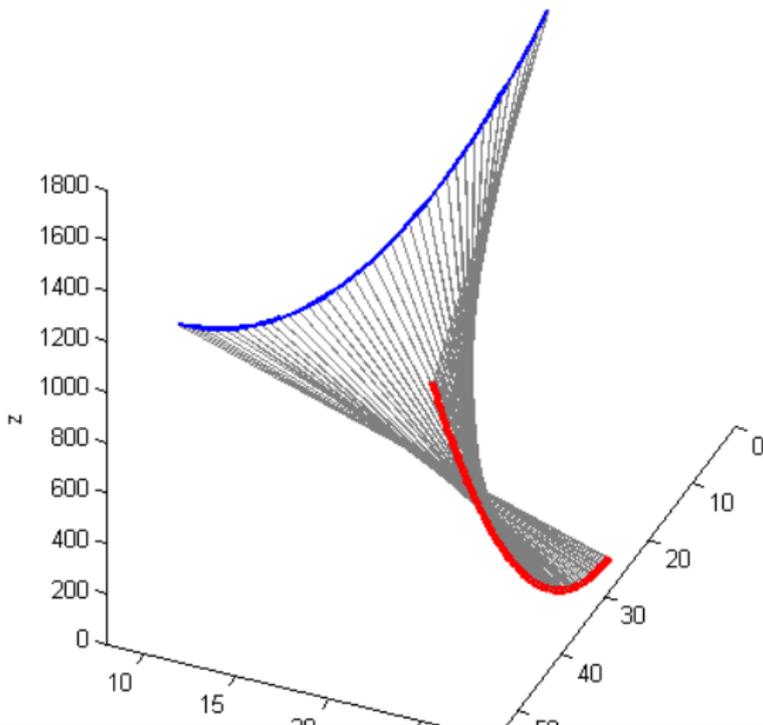


DTW - Dynamic Time Warping



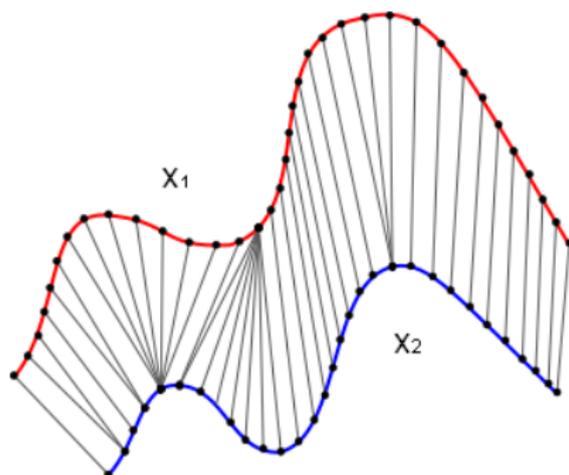


MD-DTW - Multi Dimensional DTW

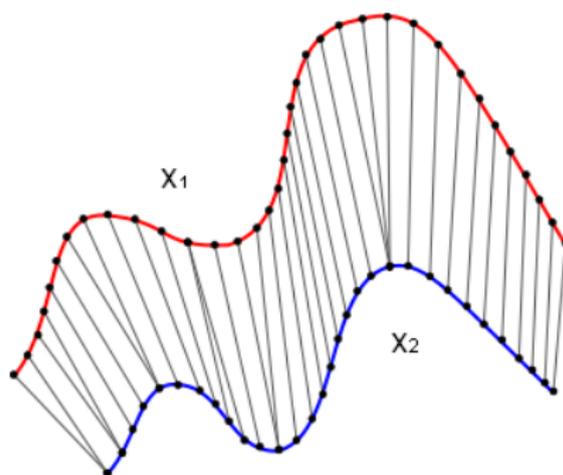


DDTW - Derivative DTW

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 κ

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

Exemple sur un geste obstétrique - video

Partie visualisation

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

Partie électro pneumatique

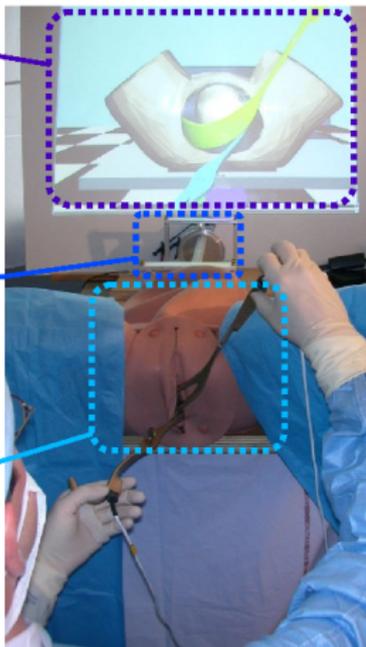
Actionneur pneumatique (simulation des efforts)

Système rotatif (orientation de la tête)

Partie mécanique

Bassin mou et osseux
Tête fœtale

Sensation haptique



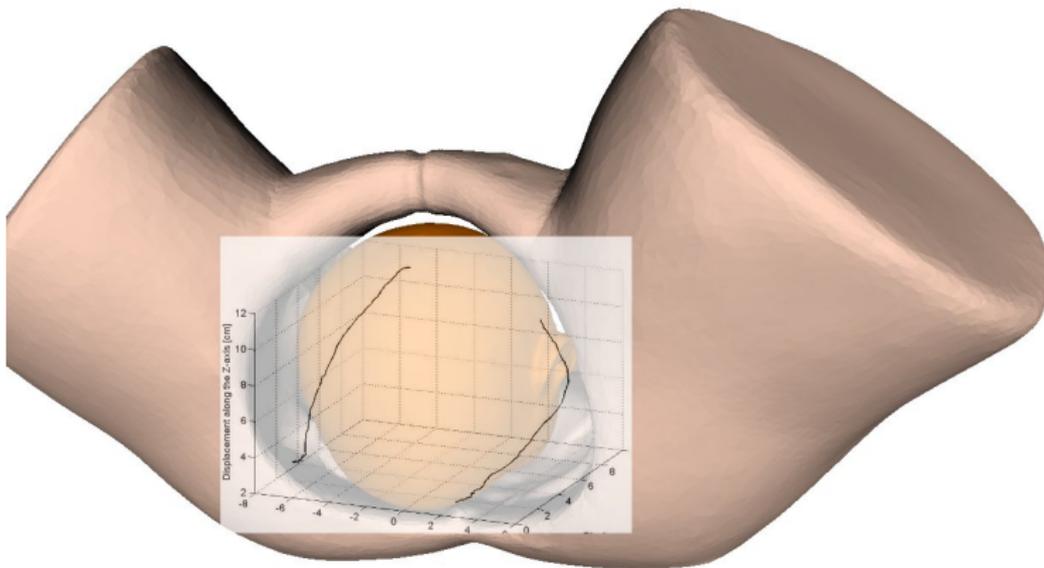
Instrumentation

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

Acquisition et contrôle

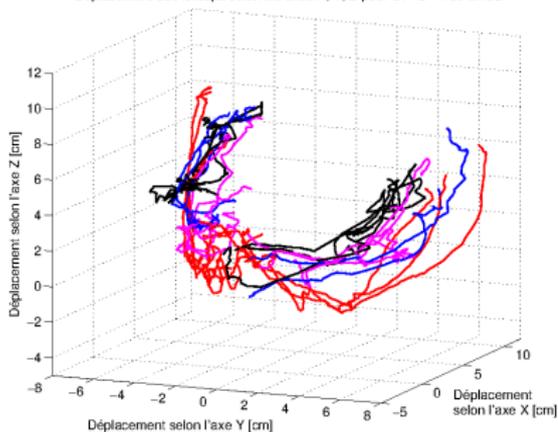
Solution de prototypage rapide dSPACE couplée avec Matlab Simulink

Exemple sur un geste obstétrique



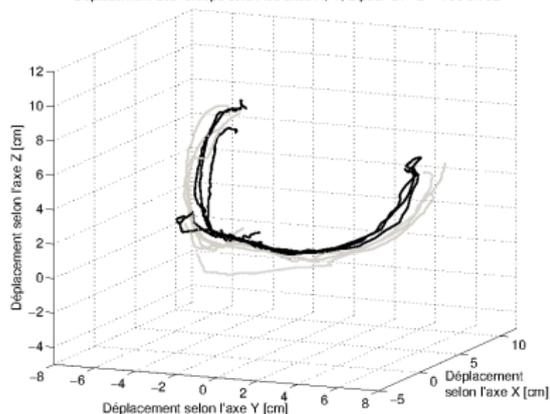
Novices vs Experts

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



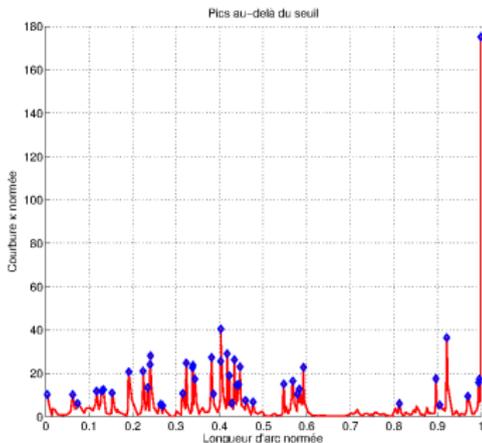
Trajectoire de 4 Novices

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

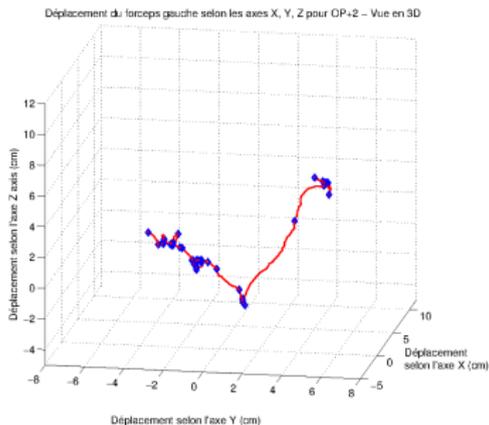


Trajectoire de 2 experts

Cas d'un novice



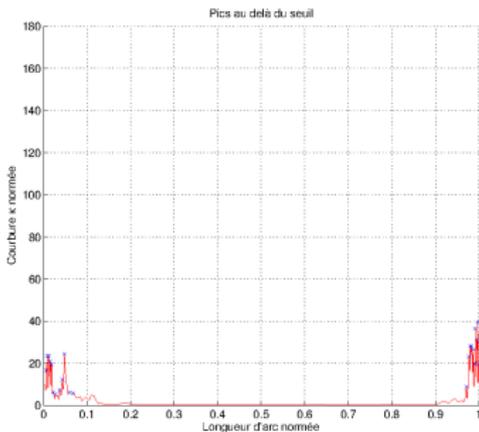
Pics sur la courbure



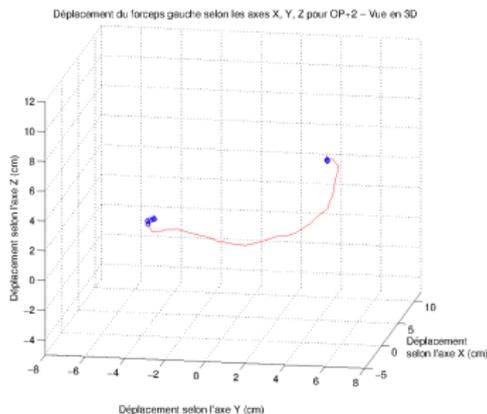
Pics sur le geste en 3D



Cas d'un expert



Pics sur la courbure



Pics sur le geste en 3D

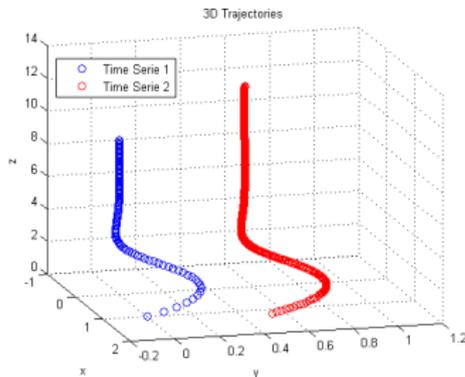


Évolution d'un novice

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	28.53	28.78	42.34
	CDF	19.83	37.80	55.20

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

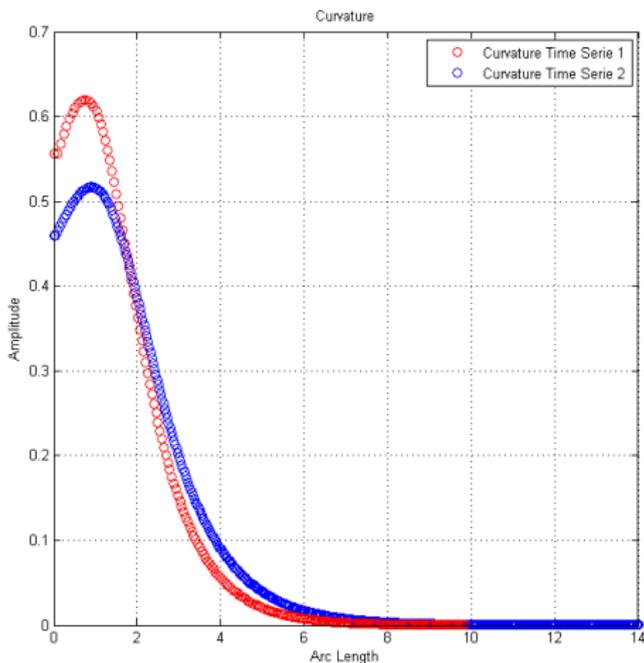
- 2 trajectoires simples
- l'une d'elle est une homothétie
- position spatiale différente
- nombre d'échantillons différent



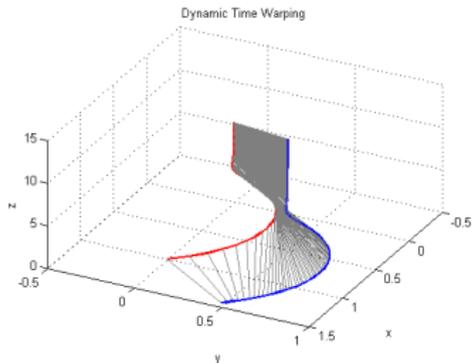
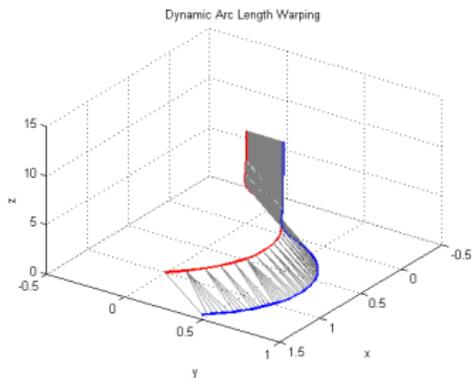


Exemple en simulation

Visualisation de la courbure

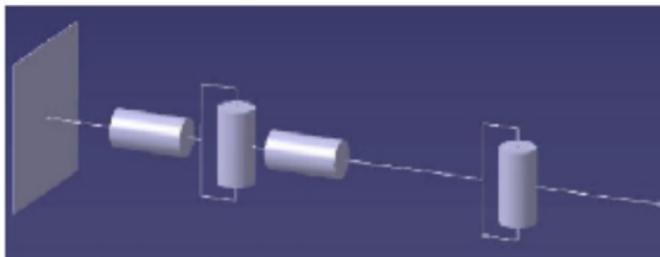
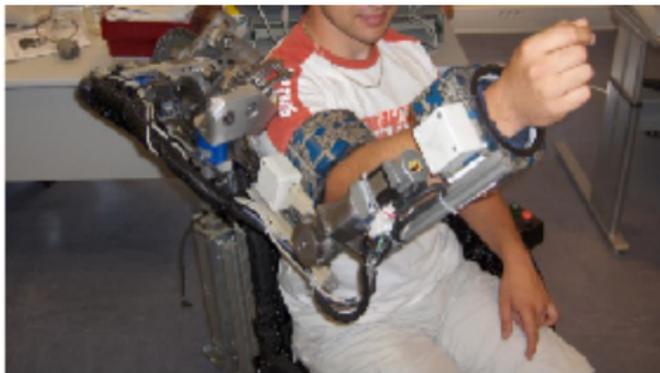


Exemple en simulation



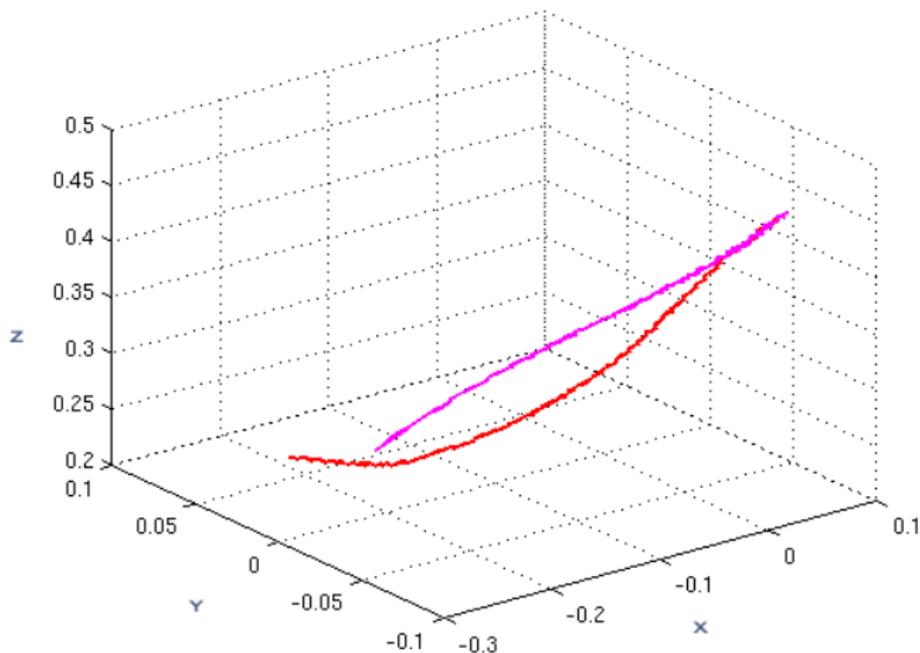
DALW	MD-DTW
60.25	61.86

Analyse d'un geste humain

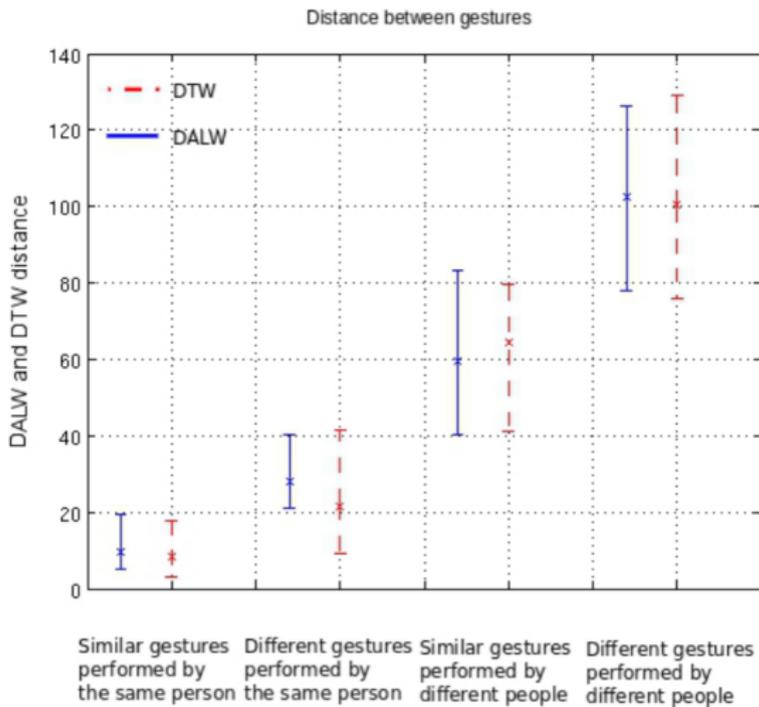


- Deux sortes de gestes cinématiquement similaires
- 10 sujets différents
- Transparence de l'exosquelette (effets de la gravité compensés)

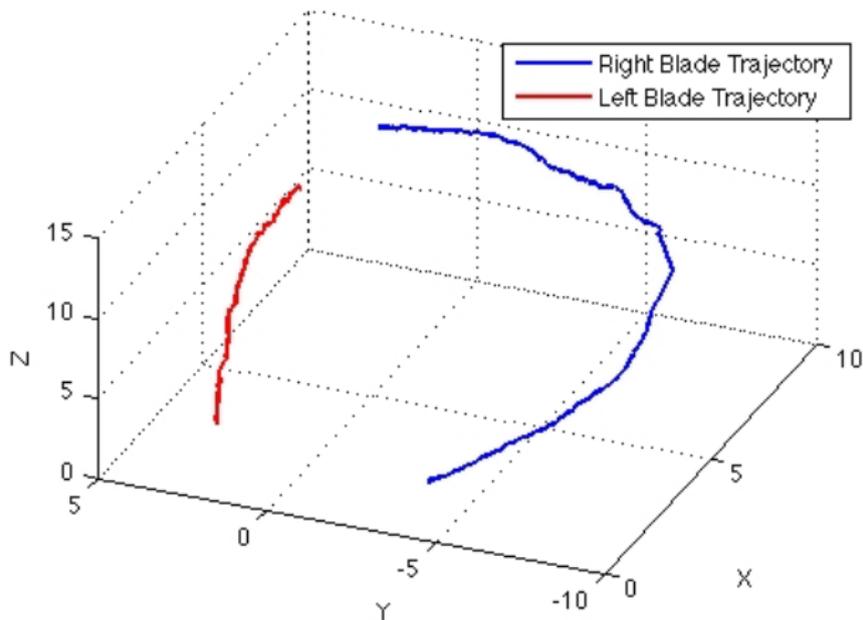
Analyse d'un geste humain



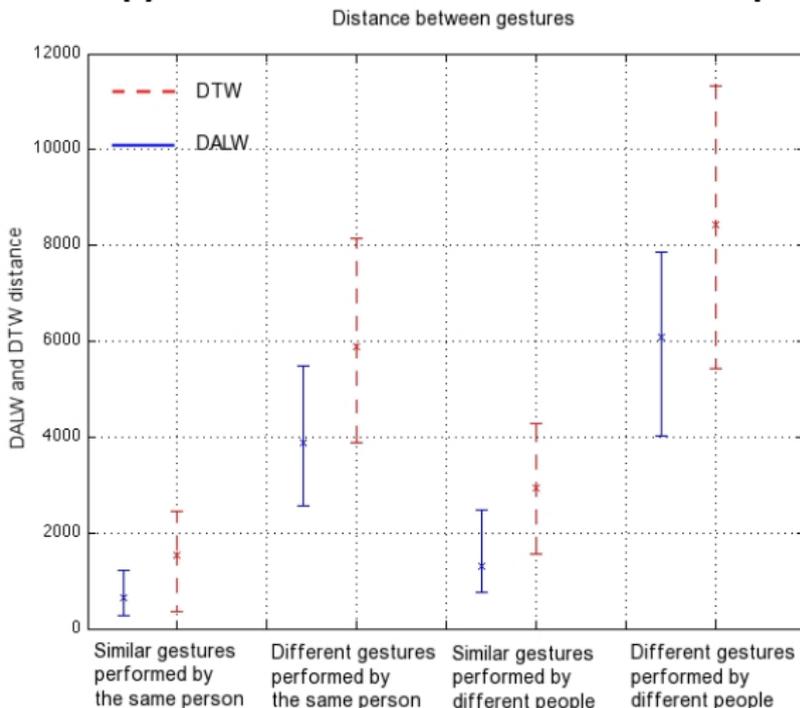
Analyse d'un geste humain



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 κ 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 : $v = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}$ α : 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 :

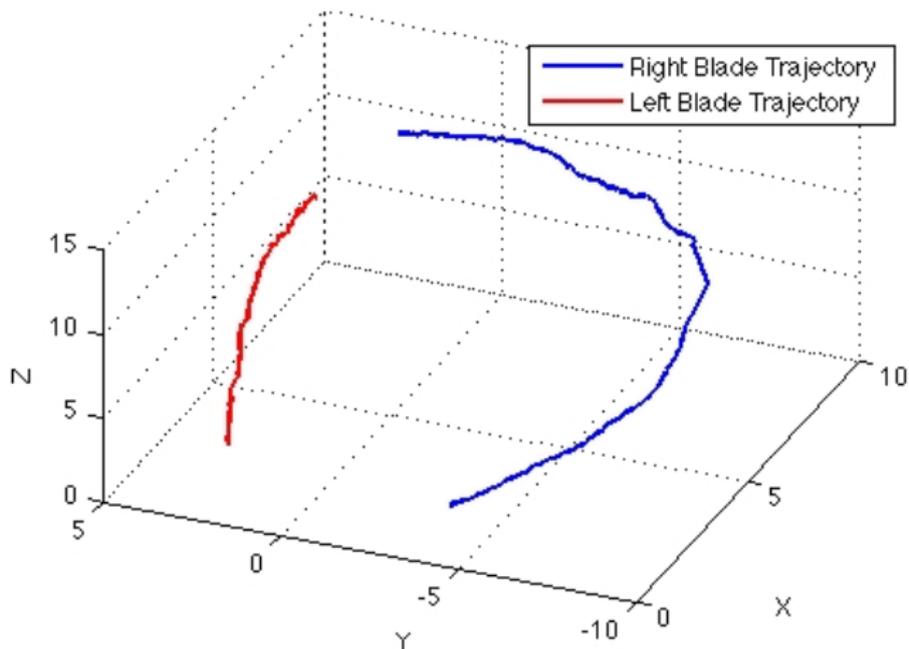
$$v_a = \left| \frac{dr}{dt}, \frac{d^2r}{dt^2}, \frac{d^3r}{dt^3} \right|^{1/6}$$

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

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

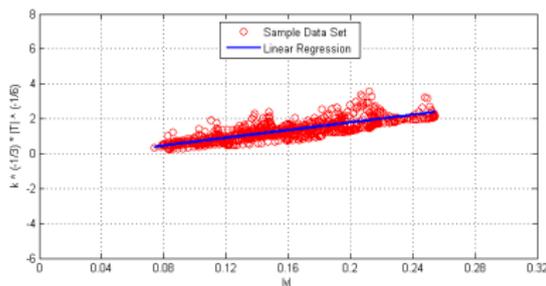


Application aux gestes obstétriques

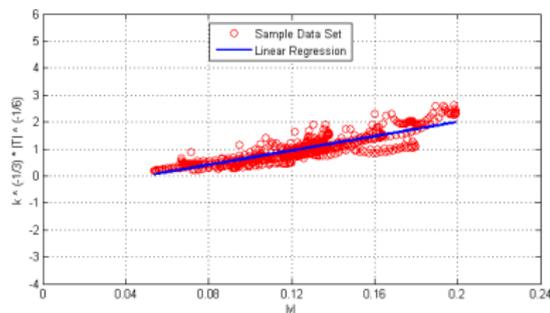


Application aux gestes obstétriques

Ces gestes vérifient la “One-Sixth Power Law”



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

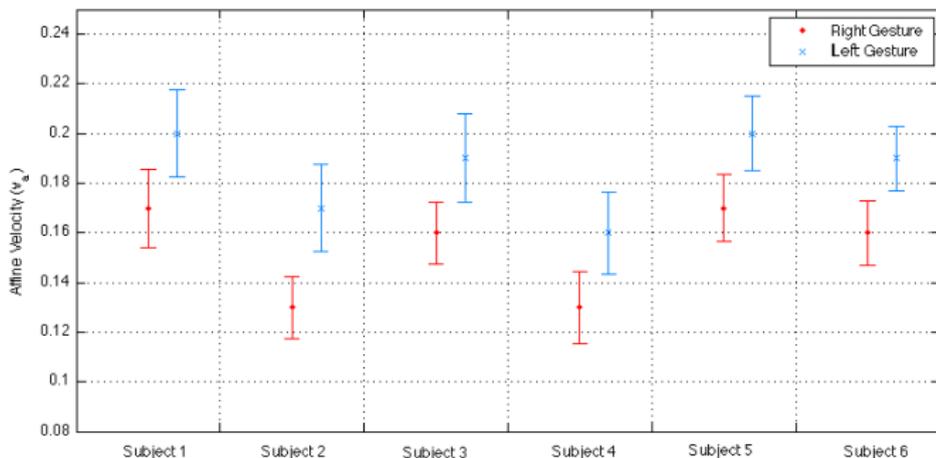


$\kappa^{1/3} |\tau|^{-1/6}$ en fonction de $|v|$
Droit

Application aux gestes obstétriques

Vitesse affine pour chaque geste

6 sujets - 30 trajectoires gauches - 30 trajectoires droites



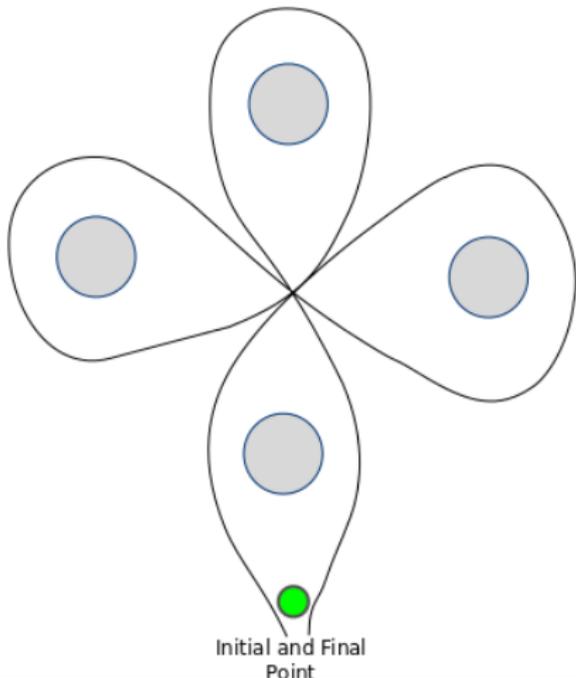
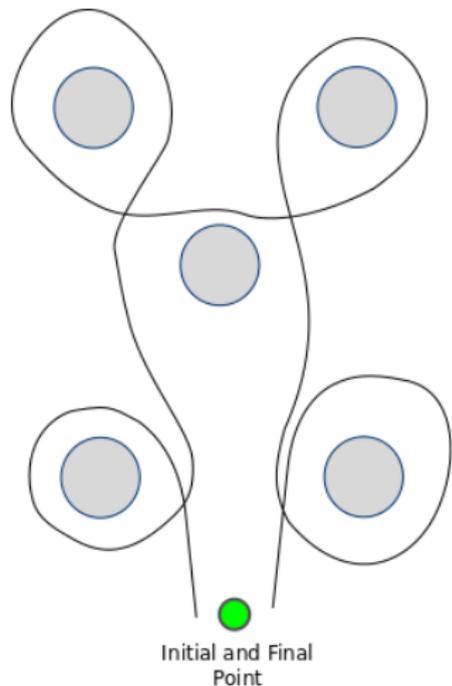
Application aux gestes laparoscopiques

Système d'entraînement aux gestes laparoscopiques



Application aux gestes laparoscopiques

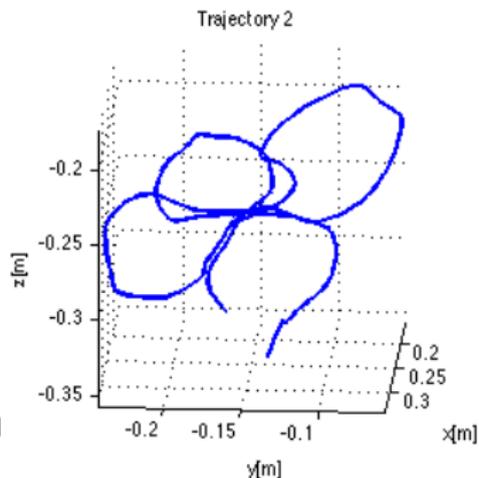
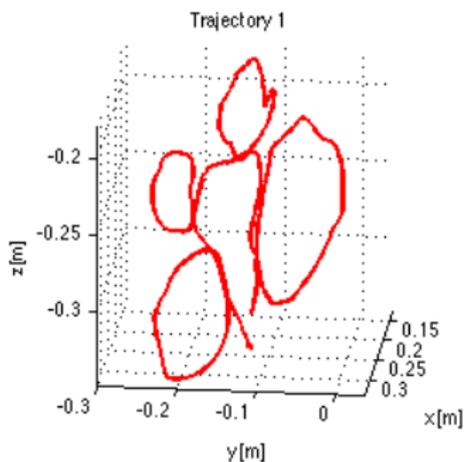
Trajectoires théoriques





Application aux gestes laparoscopiques

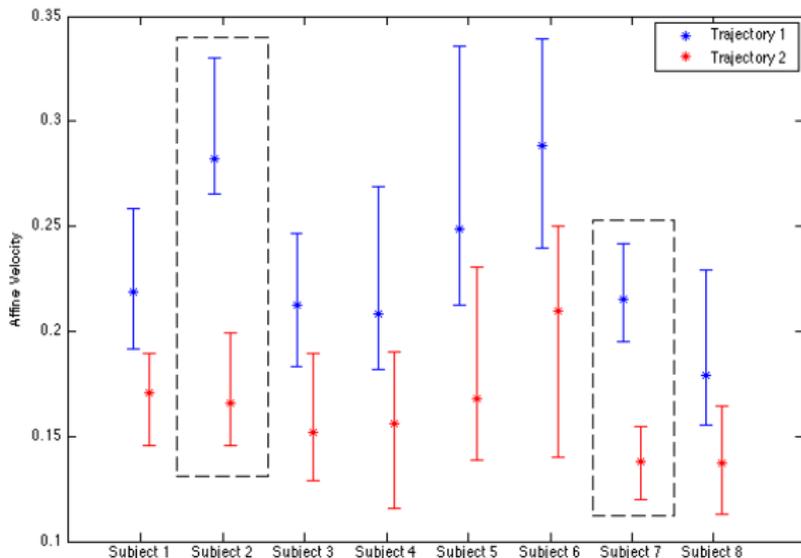
Trajectoires expérimentales



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

