



Journée Thématique du 13 mars 2013
GdR STIC-Santé et GdR Robotique



« Apprentissage et assistance aux gestes médico-chirurgicaux »
« *Tout savoir sur le geste pour la conception de simulateurs médicaux* »

Caractérisation des gestes chirurgicaux à partir d'un suivi d'instruments basé sur l'analyse d'images laparoscopiques

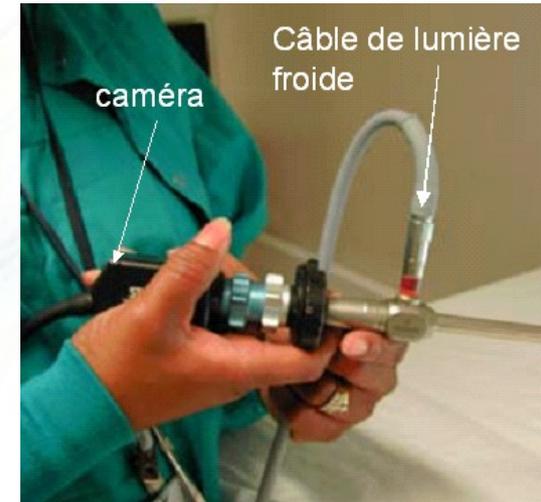
Rémi Wolf, Sandrine Voros, Philippe Cinquin
Laboratoire TIMC-IMAG, Grenoble
Équipe GMCAO

PLAN

- Contexte et motivations
- Dispositif de suivi d'instruments laparoscopiques
- Première analyse du geste sur simulateur

Contexte : la chirurgie laparoscopique

- Abord mini-invasif du site opératoire, à travers de petites incisions dans la paroi abdominale
- Visualisation du site opératoire sur un écran déporté
- Utilisation d'outils longs et fins pour manipuler à distance



Intérêts/limites de la laparoscopie

✓ Avantages

- ✓ réduction des saignements per-opératoires
- ✓ réduction des douleurs post-opératoires
- ✓ réduction de la durée d'hospitalisation
- ✓ bénéfice esthétique

→ nombreux avantages pour le patient

x Inconvénients

- x altération de la coordination oeil-main
- x diminution de la perception de la profondeur
- x absence de retour haptique fin
- x augmentation du temps d'occupation du bloc

→ défis supplémentaires pour le chirurgien

Nécessité de développer :

- de nouvelles méthodes d'apprentissage
- des méthodes d'évaluation de l'apprentissage
- des systèmes multi-modaux pour acquérir des informations complémentaires sur l'environnement chirurgical pour optimiser le geste chirurgical

TYPE D'ÉVALUATION :

- notation structurée
- statistiques à partir de métriques
- modèles statistiques

CONTEXTE :

- bloc opératoire
- modèle animal
- banc d'essai
- simulateur de réalité virtuelle

ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DU GESTE

MÉTHODE D'ACQUISITION DES DONNÉES :

- observateur externe
- suivi de marqueurs (magnétiques, visuels, mécaniques,...)
- traitement d'image
- données du simulateur de VR ou du robot si API disponible

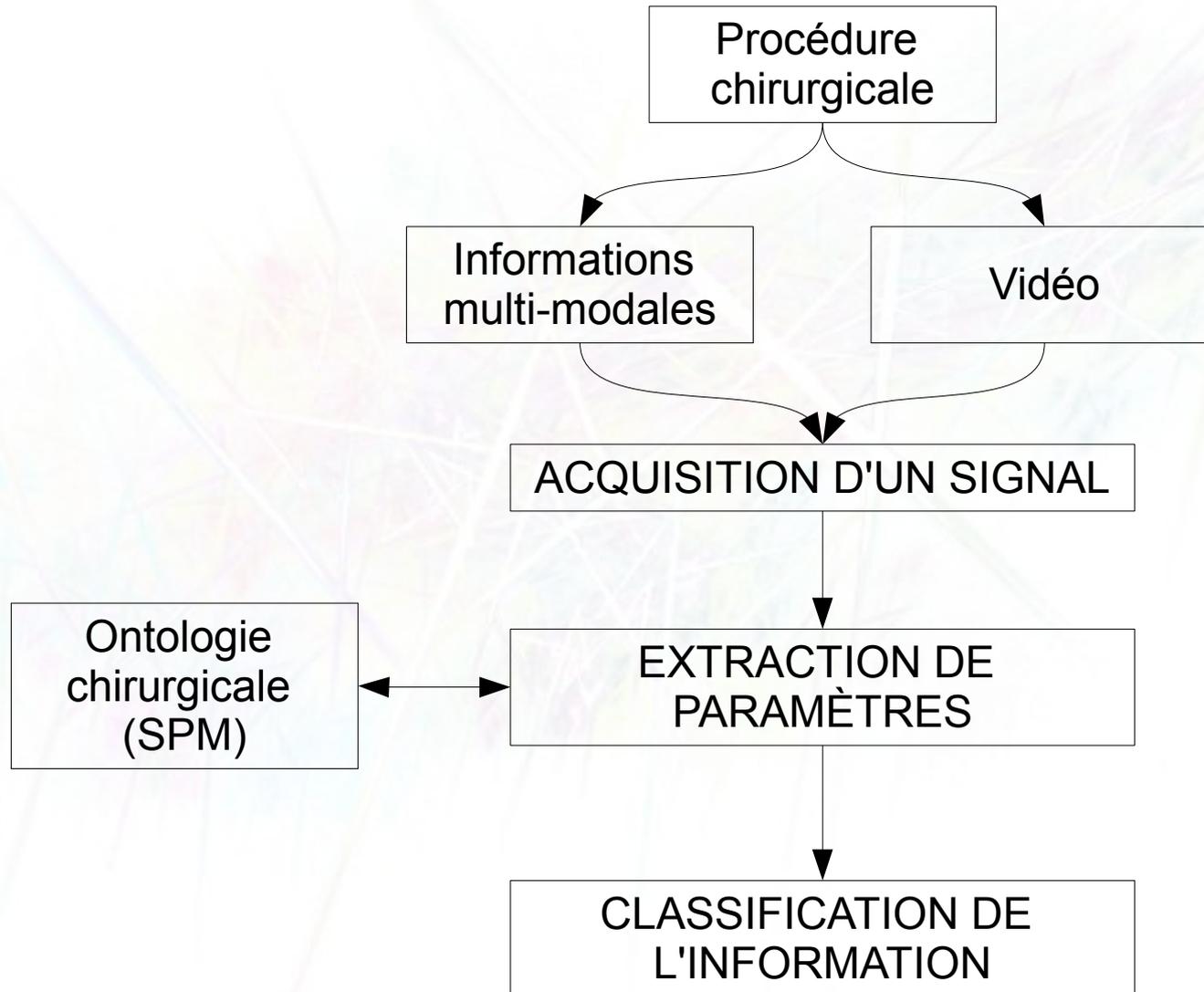
NIVEAU DE DÉTAIL EXPLORÉ :

- procédure
- tâche
- activité

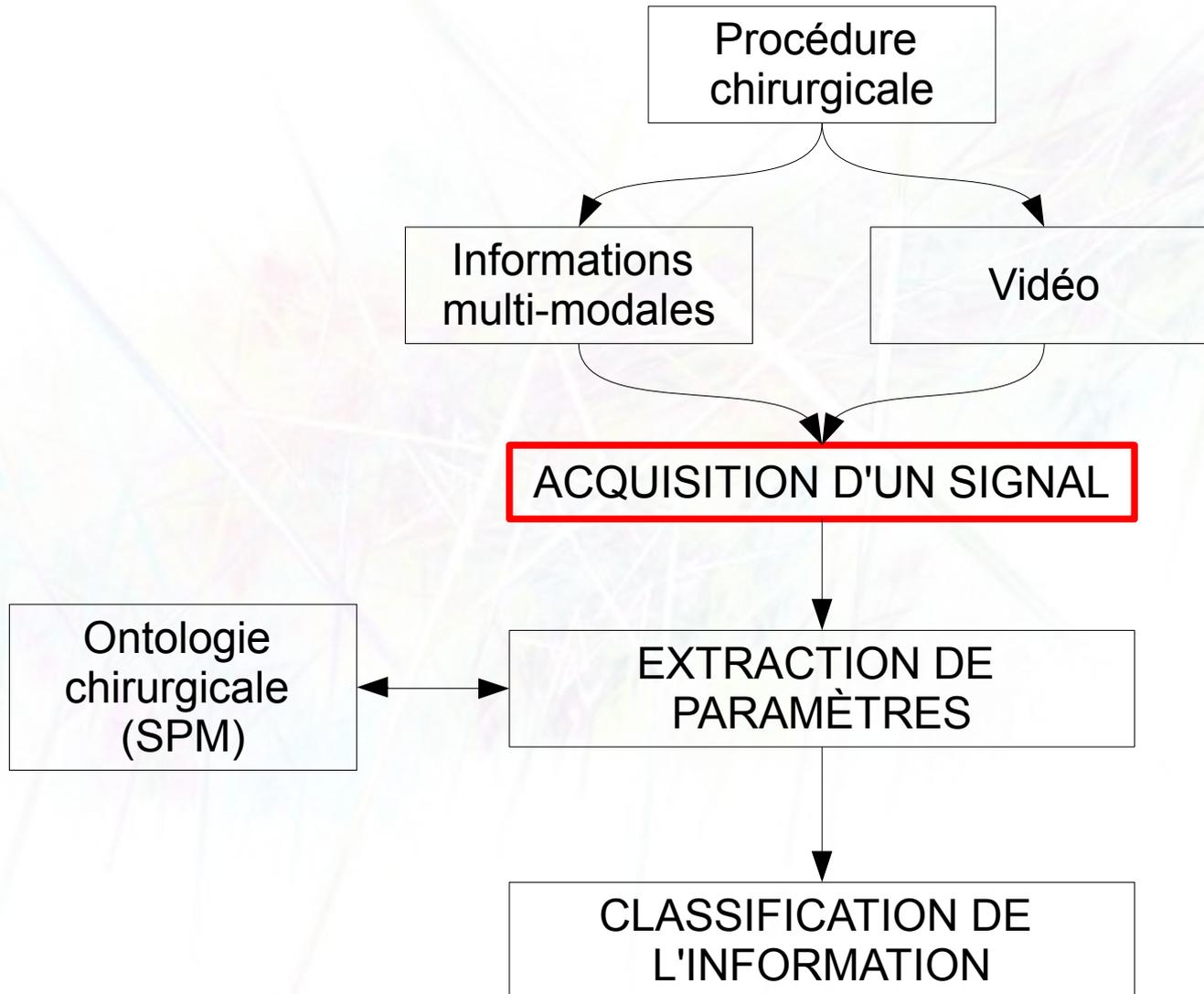
Nos objectifs

- Développer un dispositif de mesure de métriques :
 - ✓ générique (bloc opératoire/banc d'essai)
 - ✓ autonome (pas d'évaluation par un observateur externe)
 - ✓ intégré à un dispositif d'assistance opératoire plus global
 - ✓ avec un retour explicatif

Cadre de travail

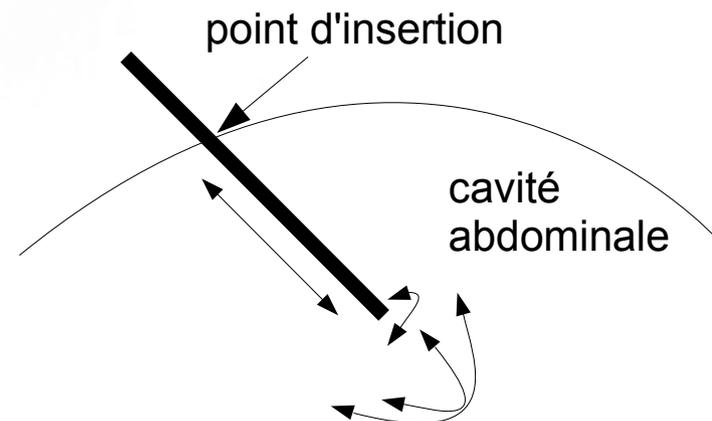
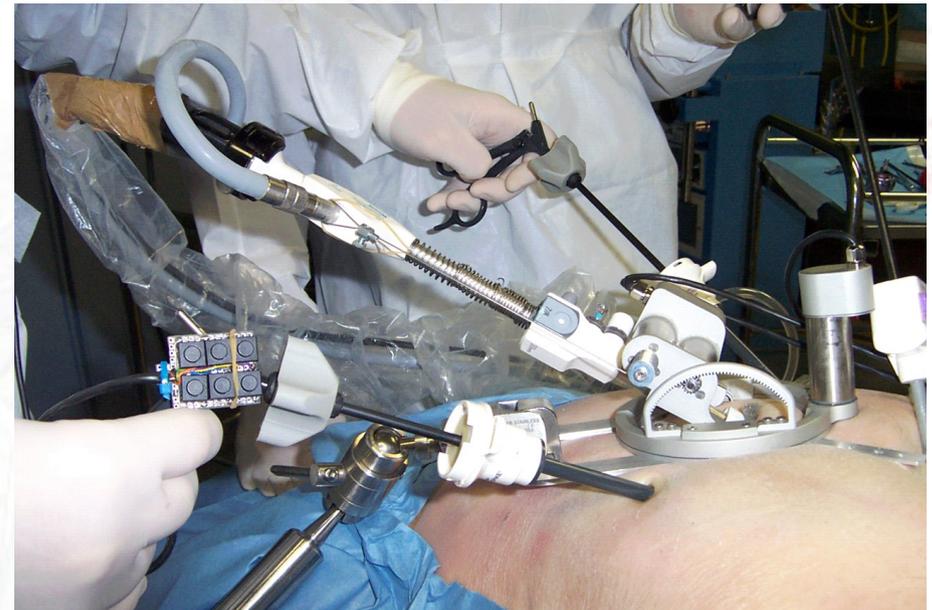


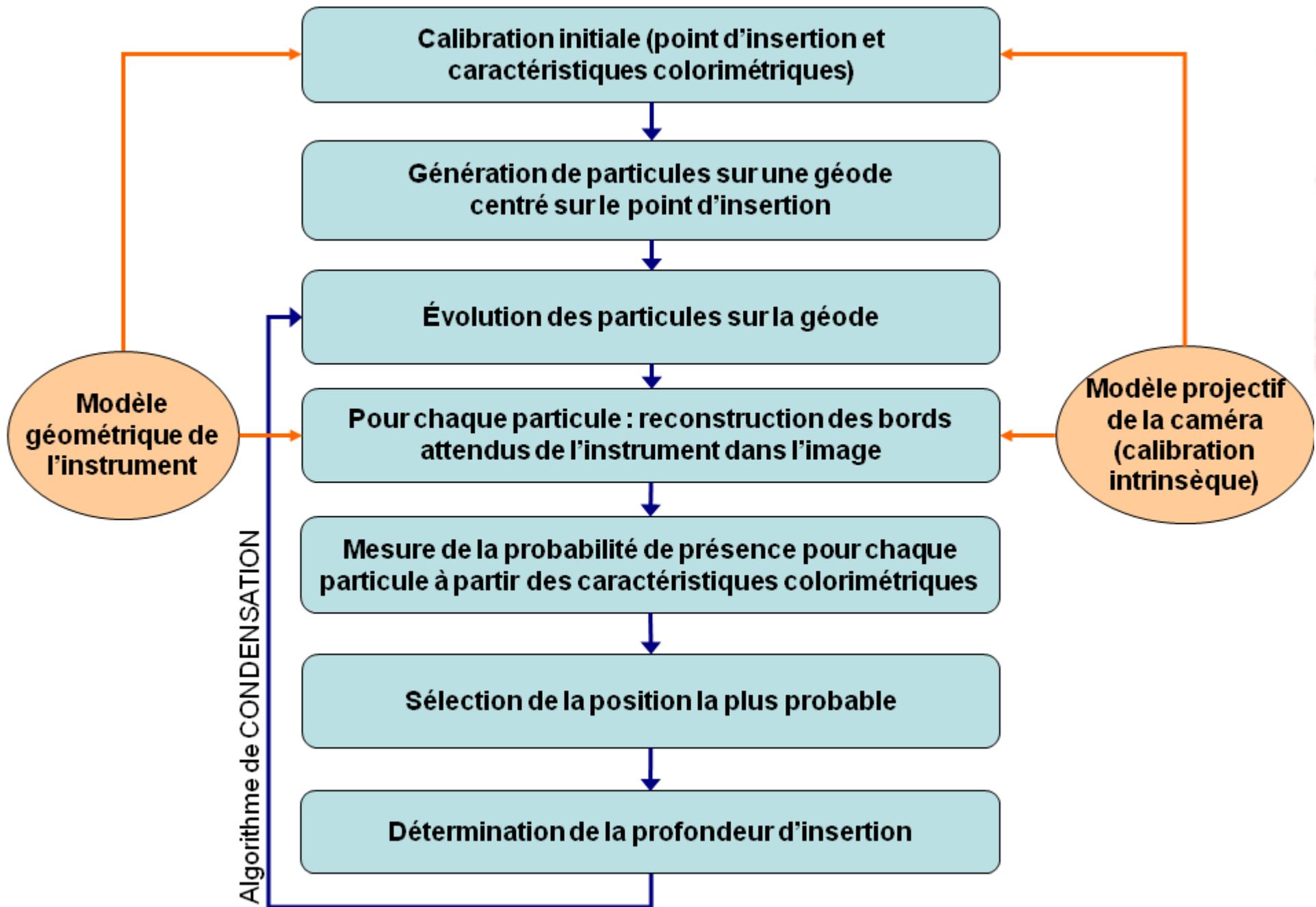
Acquisition du signal



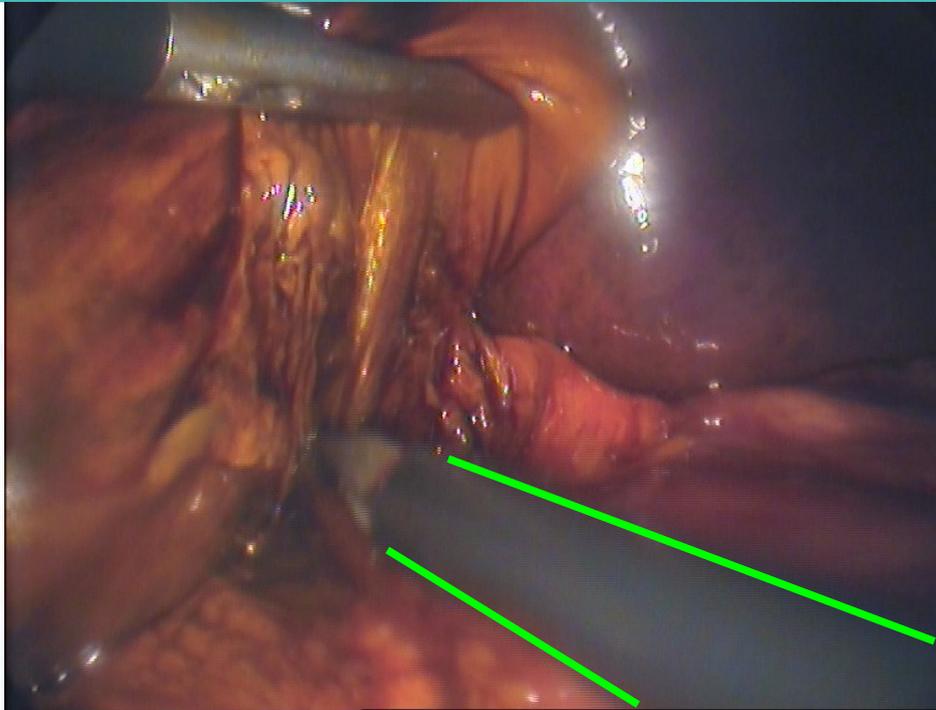
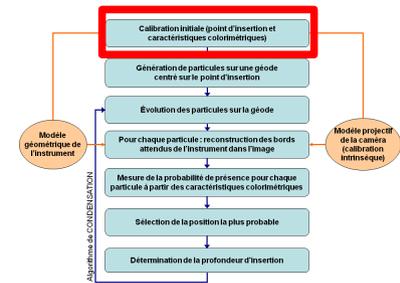
Acquisition du signal : détection de la position d'un instrument chirurgical

- Système portable, générique
- Pas d'ajout de marqueurs spécifiques sur les instruments
- Localisation en 3D
- Utilisation d'un robot porte-endoscope (ViKy®)

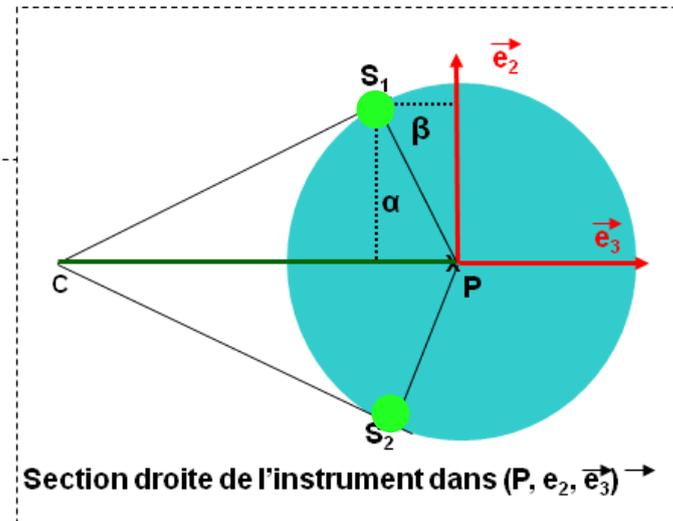
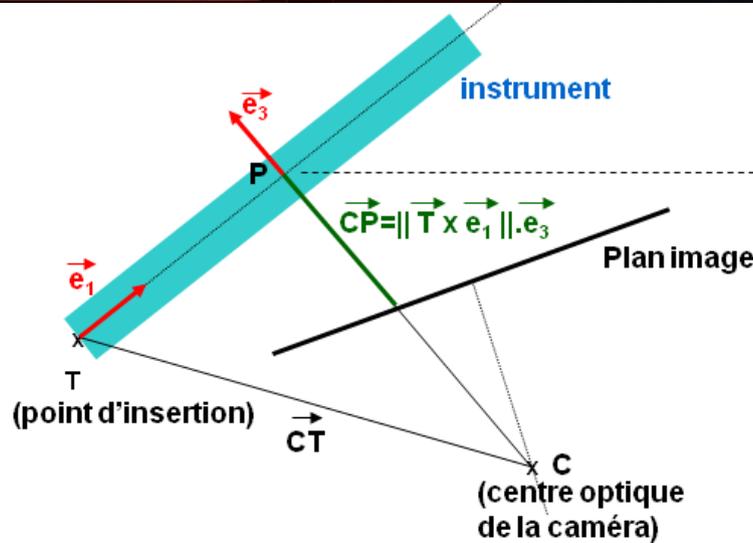


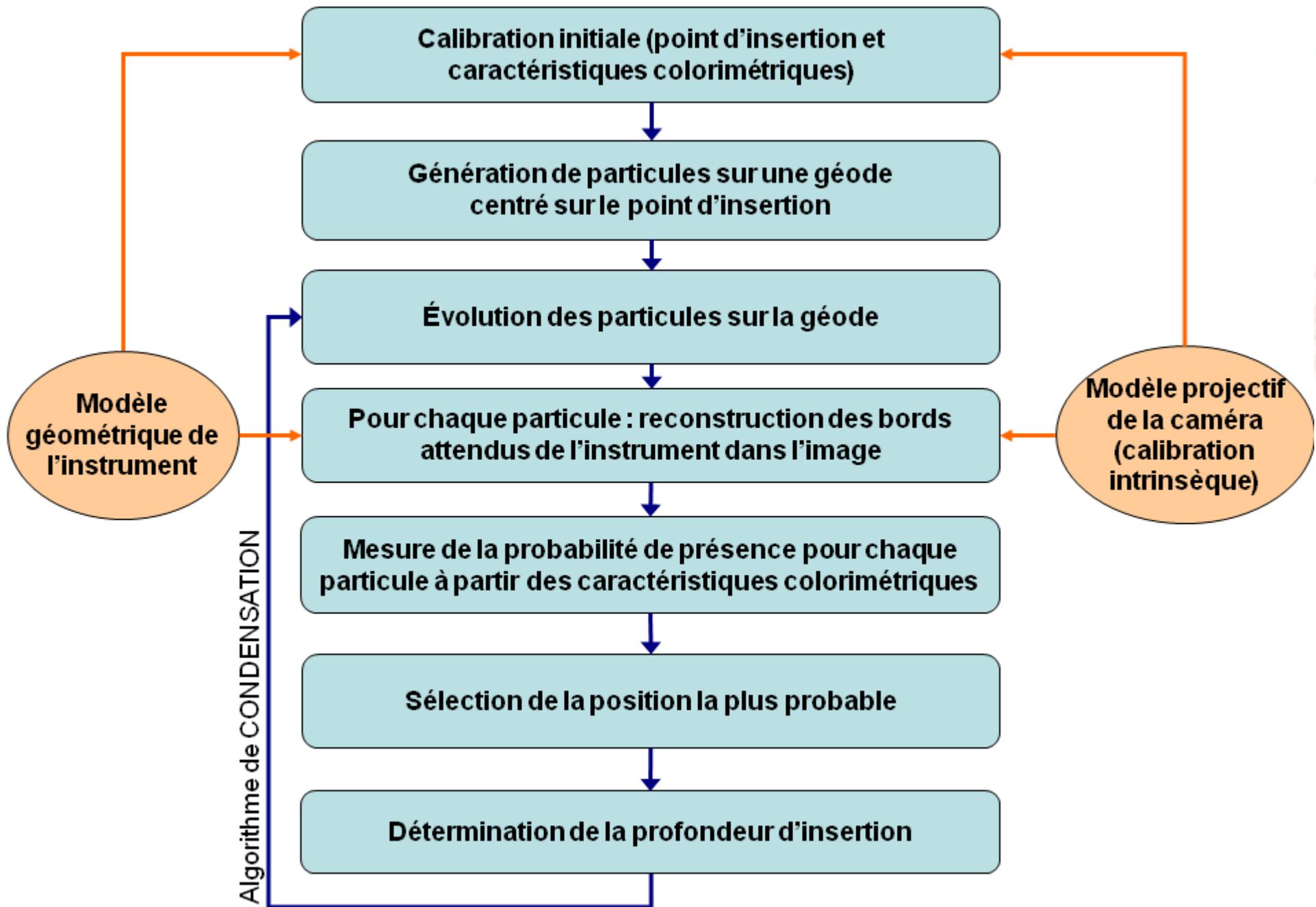


Modèle géométrique de l'instrument



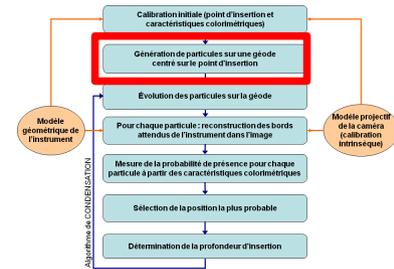
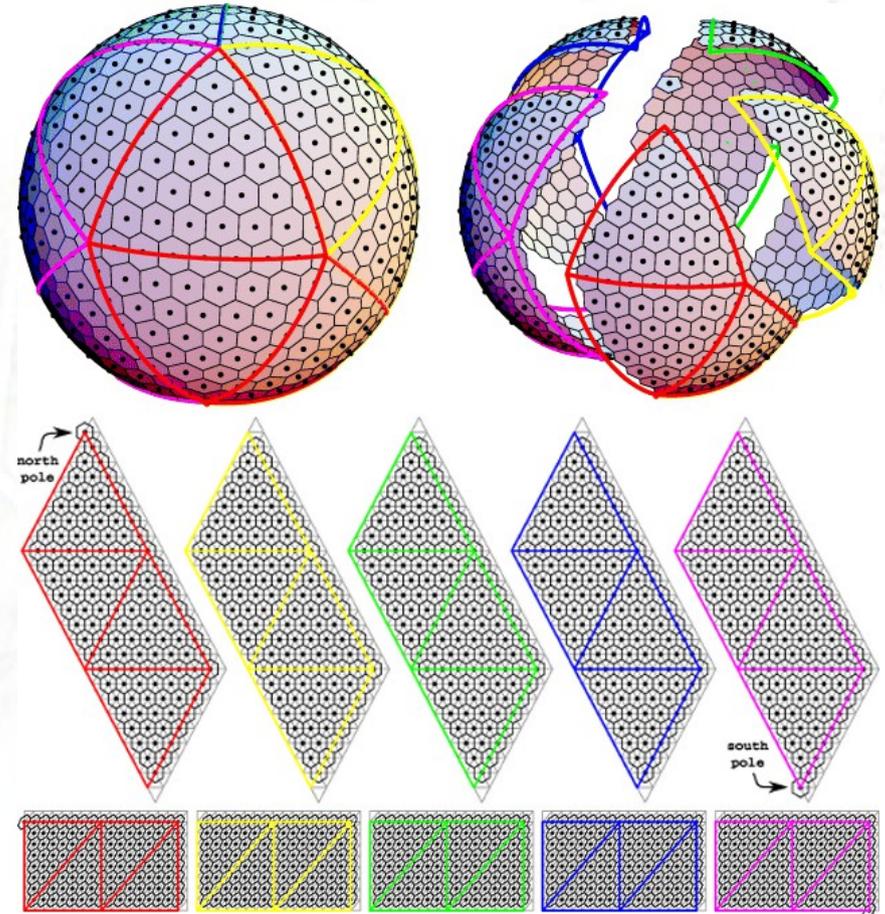
Matrice de calibrage

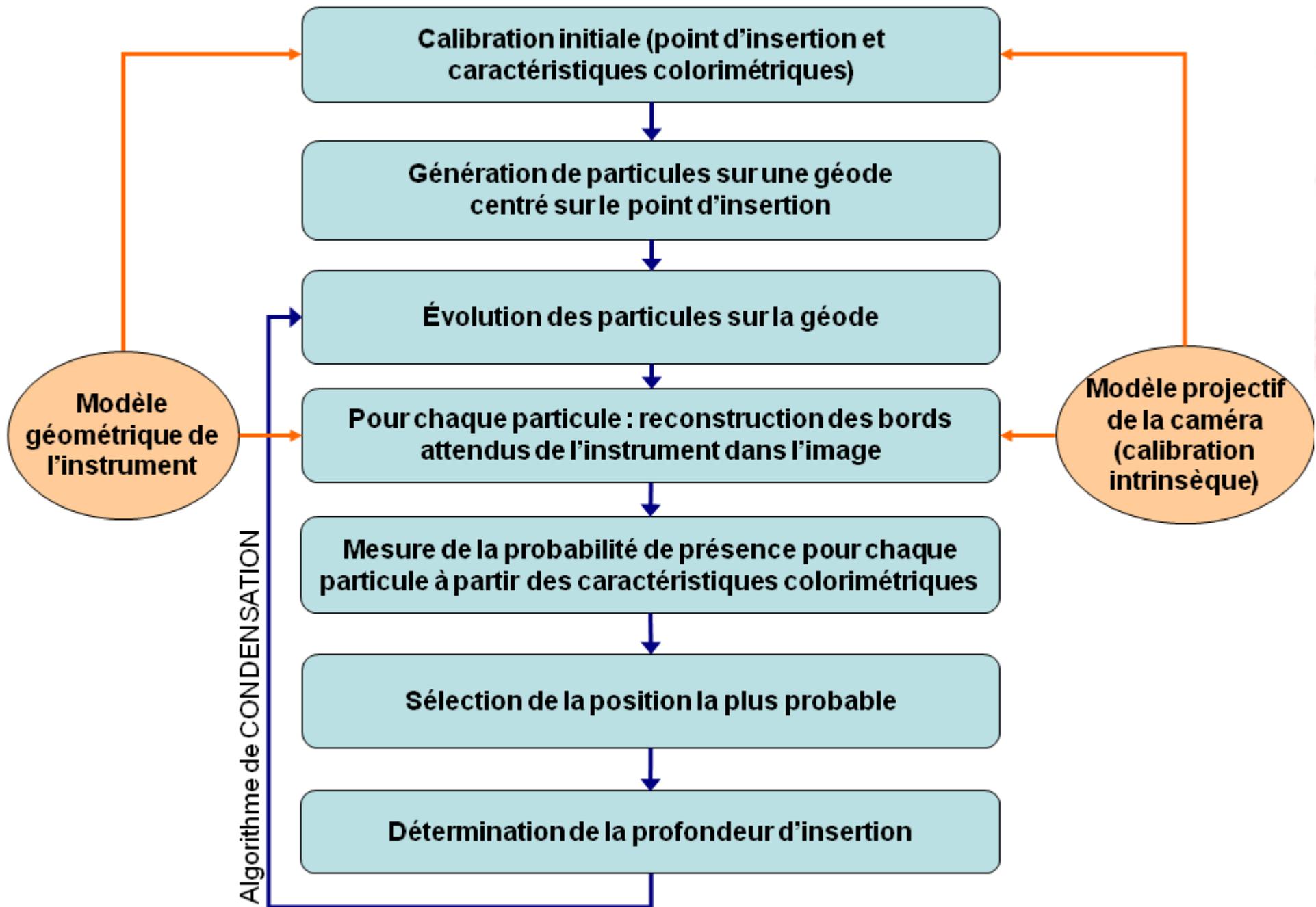




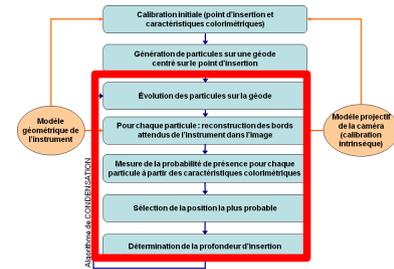
Grille géodésique

- Représente les orientations possibles de l'instrument
- Construite à partir d'un icosaèdre
- Objectifs =
 - isotropie/homogénéité
 - multi-résolution
 - implémentation aisée

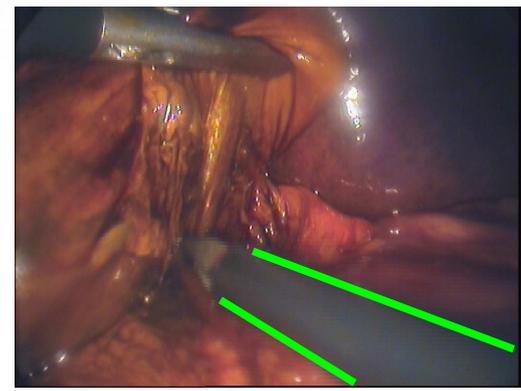
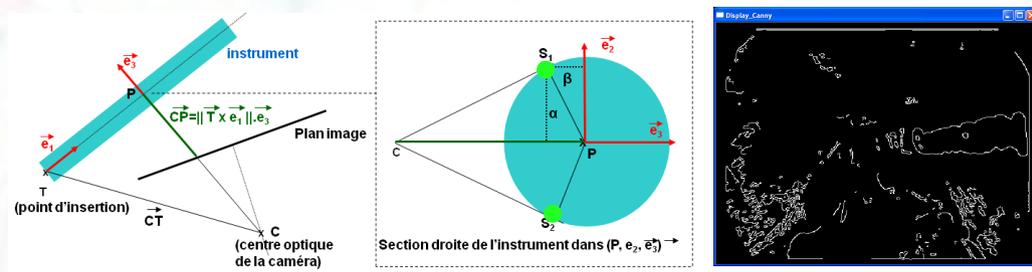
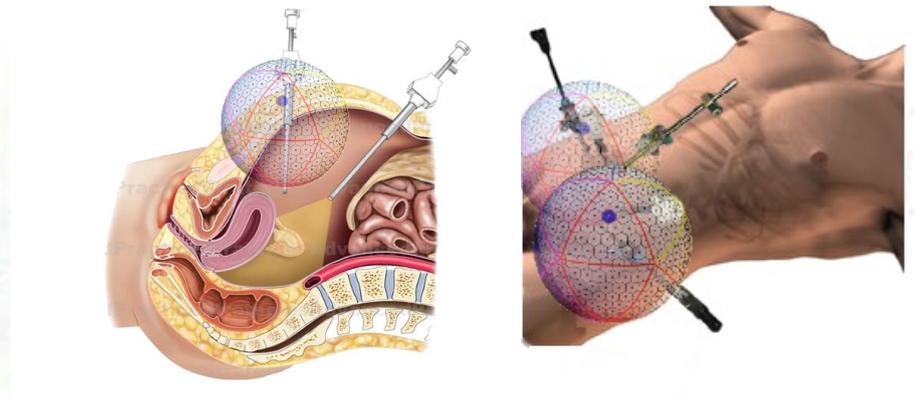




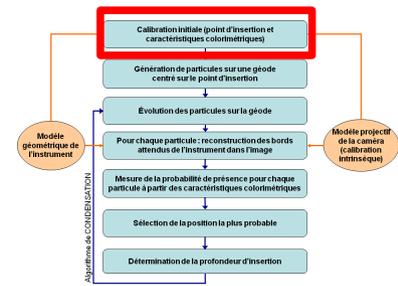
Algorithme de CONDENSATION



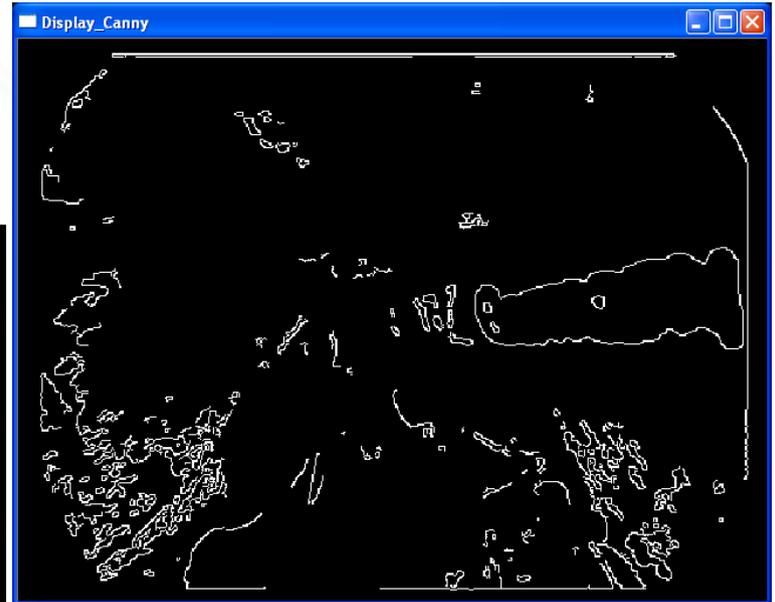
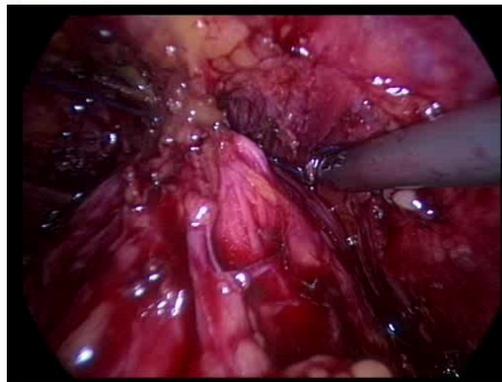
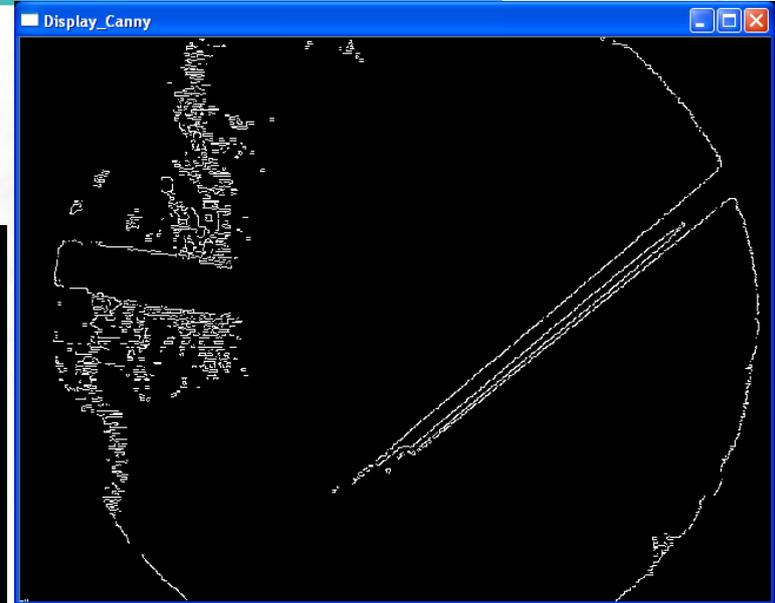
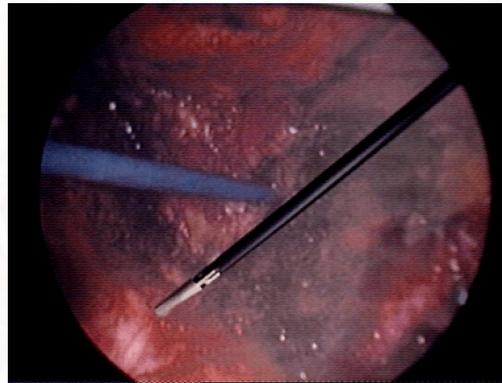
- Évolution des particules sur la géode selon un modèle déterministe + stochastique
- Mesure de la probabilité pour chaque particule d'être l'instrument dans l'image
- Tirage des particules les plus probables pour la mesure suivante



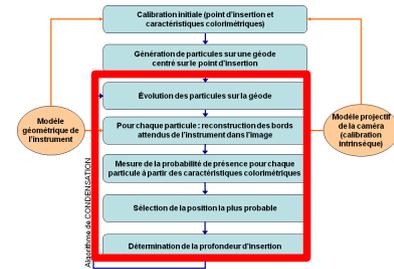
Caractéristiques colorimétriques



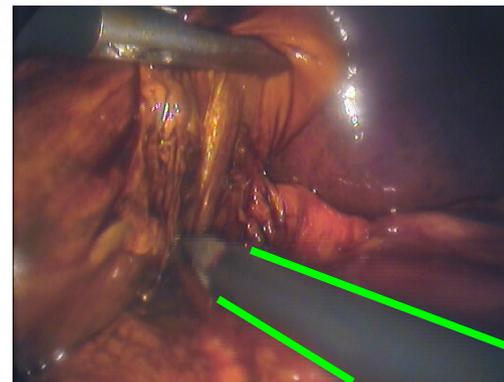
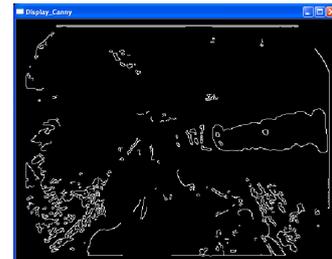
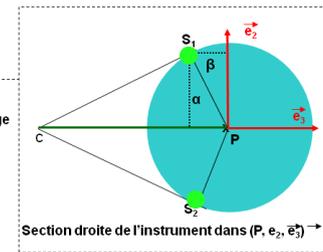
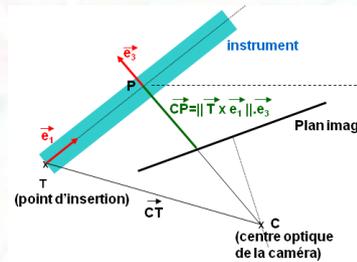
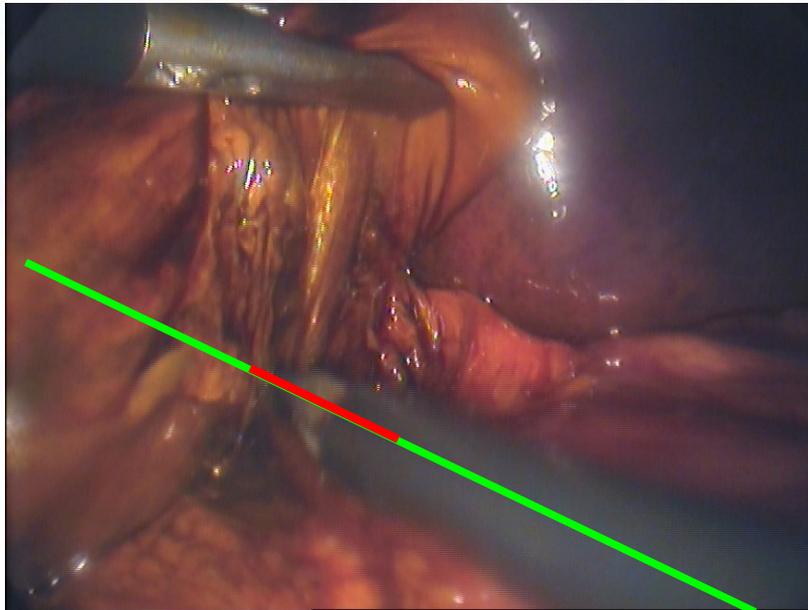
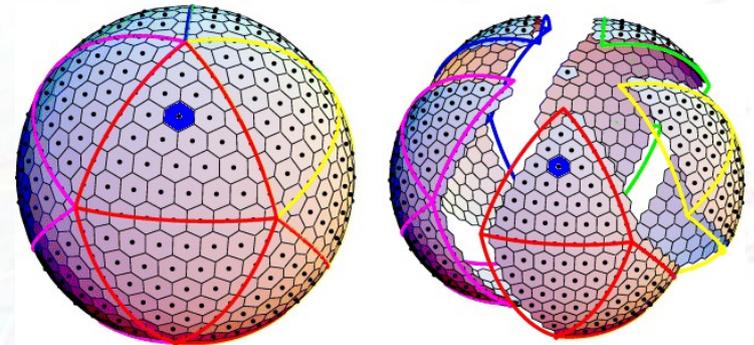
- Détection des angles dans l'image par Canny
- Importance des valeurs des seuils
- Détermination automatique des valeurs les + sensibles et les + spécifiques à partir d'une image source



Détection de la profondeur d'insertion

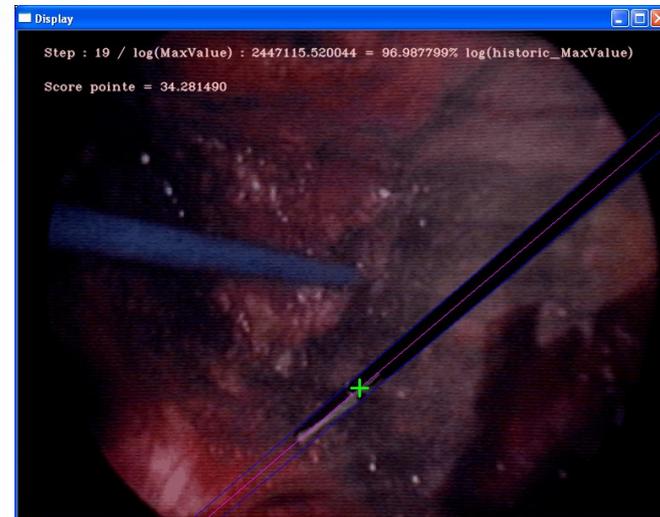
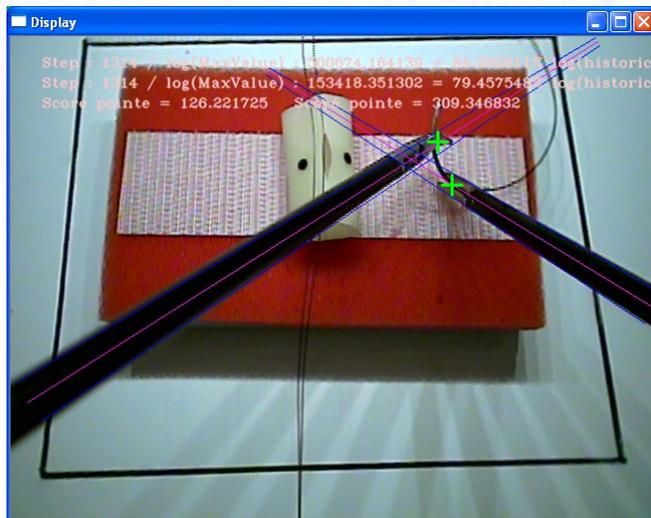


- Maximisation de la variance inter-classe sur une fenêtre glissante le long de l'axe de l'instrument



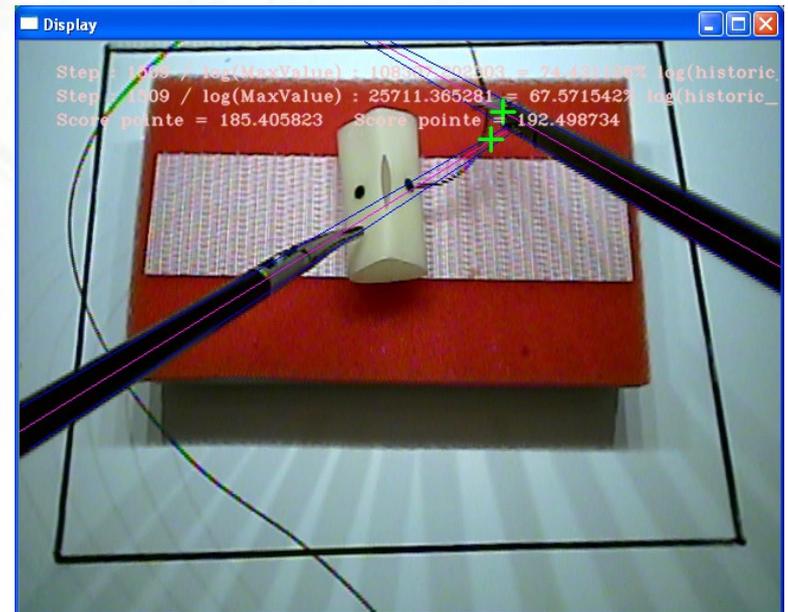
Résultats actuels

- Suivi de l'orientation robuste en banc d'essai, quelque soit le type de fond
 - artificiel type simulateur
 - « faux-fond » chirurgical
- Compatible 3D en post-acquisition (caméra fixe)
- Compatible 2D en temps réel (asservissement visuel d'un robot)

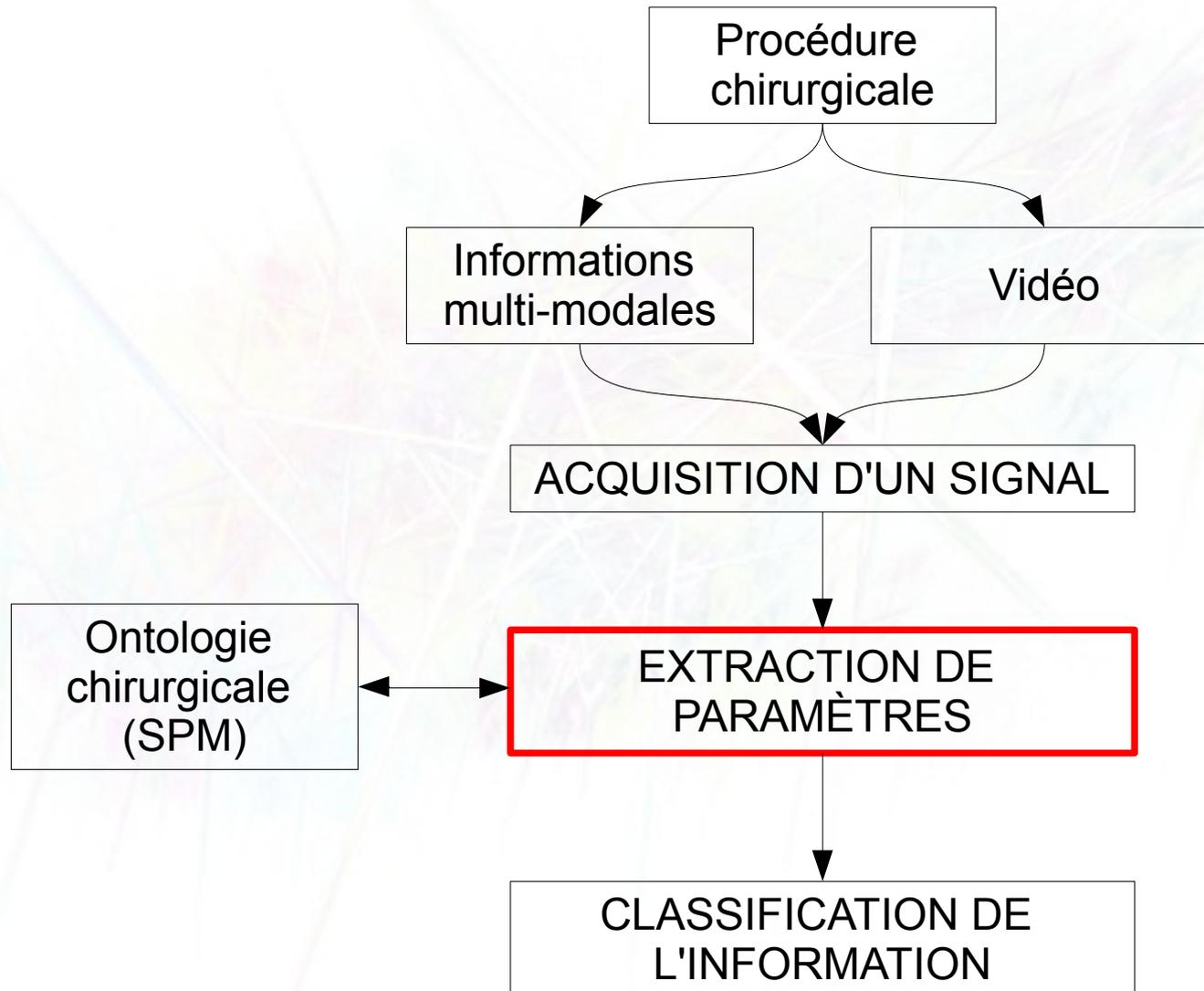


Résultats actuels

- Problèmes de robustesse lors des manipulations sur cadavre
- Problèmes de robustesse pour le calcul de la profondeur d'insertion :
 - template matching ?
 - algorithme prédictif ?

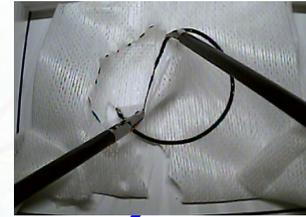


Application : extraction de trajectoires sur banc d'essai



Fundamentals of Laparoscopic Skills

- Méthode de formation + validation reconnue aux USA, sur banc d'essai
- 5 tâches élémentaires de laparoscopie (MISTELS)
 - transfert d'objets
 - découpe/dissection
 - Endoloop
 - Suture extra-corporelle
 - Suture intra-corporelle
- Métrique = chrono + pénalités



Seconde lecture pour l'évaluation : GOALS

- Global Operative Assessment of Laparoscopic Skills
- Développé pour le bloc opératoire
 - 5 items
 - échelles de Likert
 - explore différentes composantes du savoir-faire chirurgical
- Peut s'effectuer en direct ou par vidéo

Acquisition de données pour l'évaluation de la qualité d'un geste chirurgical
Fiche d'évaluation participant

VOL #

Date de l'évaluation :

TASK : 1 2 3 4 5 REP : 1 2

Perception de la profondeur :

Dé passe systématiquement sa cible, grandes oscillations, correction lente	Quelques dépassements ou manquements de la cible, mais correction rapide		Dirige précisément les instruments dans le bon plan vers la cible
1	2	3	4

Dextérité bimanuelle :

N'utilise qu'une main, ignore sa main non-dominante, mauvaise coordination entre les mains	Utilise les deux mains, mais n'optimise pas les interactions entre elles		Utilise les deux mains de façon experte et complémentaire pour obtenir une exposition optimale
1	2	3	4

Efficience :

Efforts incertains, inefficaces ; nombreux mouvements de tentative, change constamment d'objectif ou persiste sans progression	Les mouvements lents mais planifiés sont raisonnablement organisés		Conduite sûre, efficace et assurée ; maintien de l'attention sur la tâche jusqu'à ce qu'elle soit mieux réalisée par une approche alternative
1	2	3	4

Préhension :

Mouvements brusques, tord les tissus, abîme les structures adjacentes, mauvais contrôle de la pince, la pince glisse fréquemment	Maintien des tissus raisonnablement bien, traumatismes mineurs aux tissus adjacents (glissements occasionnels de la pince ou saignements)		Bon maintien des tissus, applique une force appropriée, lésions négligeables aux tissus adjacents.
1	2	3	4

Autonomie :

Incapable de terminer la tâche, même avec une aide verbale	Capable de réaliser la tâche de façon sûre avec peu d'aide verbale		Capable de réaliser la tâche de façon indépendante, sans aide
1	2	3	4

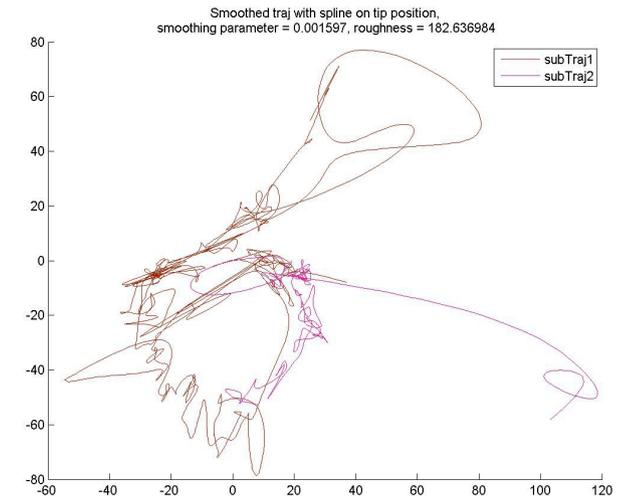
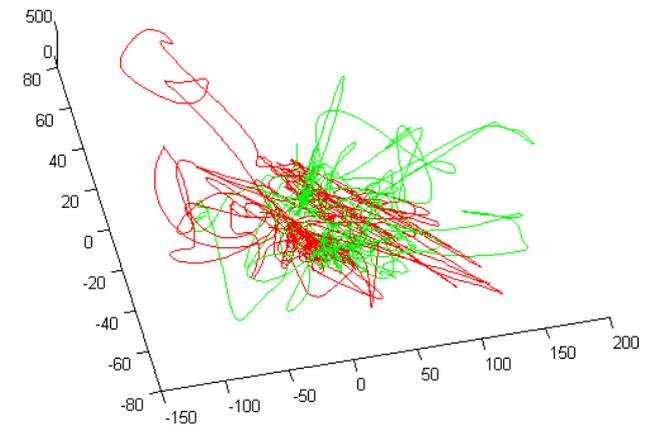
Objectifs



en collaboration avec Maud Médici et Alexandre Moreau-Gaudry
CIC-IT, CHU Grenoble

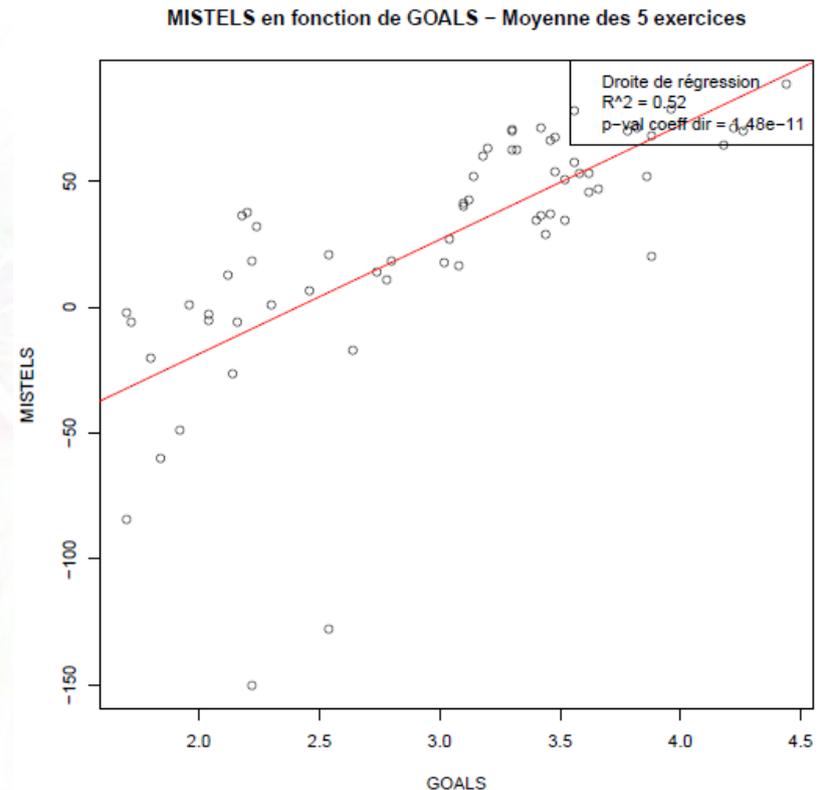
Résultats

- 32 volontaires recrutés :
 - 13 externes
 - 8 internes
 - 11 chirurgiens
- Notation avec métriques FLS en direct
- Notation GOALS par vidéo par 2 observateurs aveugles indépendants
- Suivi d'instrument en différé avec haute résolution et filtrage des trajectoires par splines



Comparaison GOALS/MISTELS

- Mesure de la validité concurrente avec coefficient de corrélation de Spearman = 0,82 en moyenne
- Validité concurrente montrée également pour chaque exercice séparément (Spearman : 0,77-0,87)



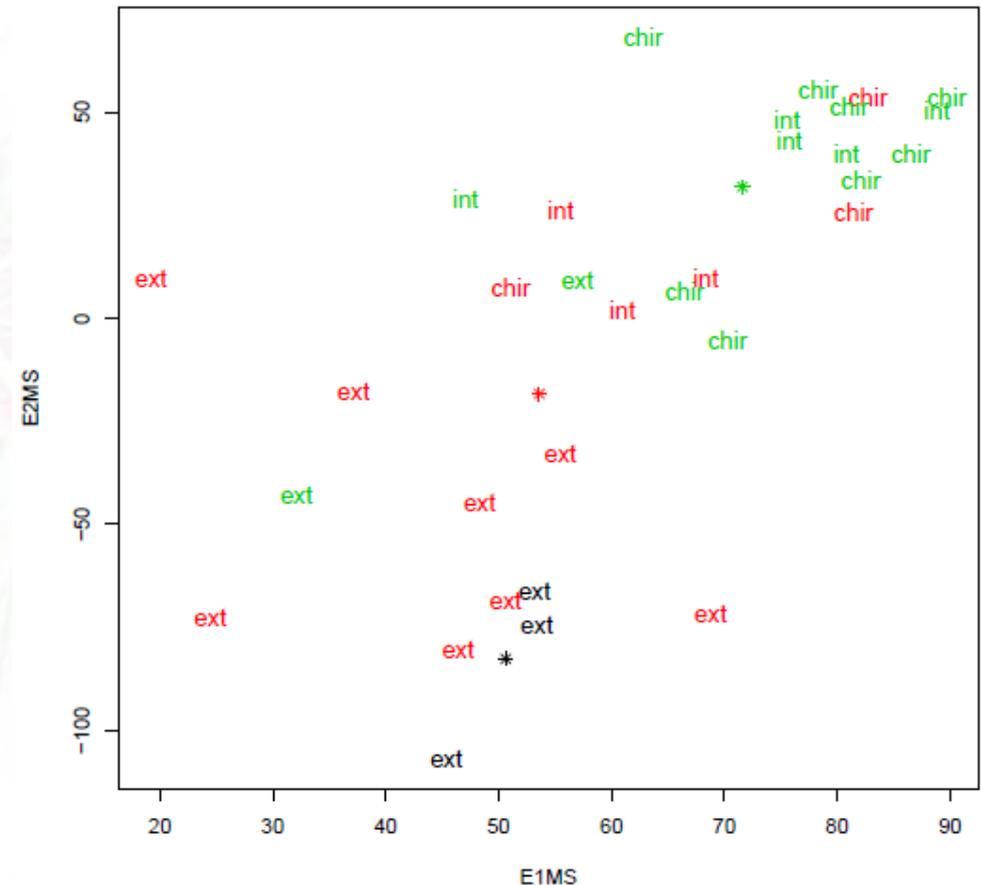
Quelles composantes de GOALS explorent chaque exercice ?

- Pour chaque exercice, détermination des composantes du score GOALS qui expliquent le score MISTELS
 - Modèle multi-linéaire avec sélection de variable.
- Les composantes qui ressortent sont l'efficacité et la compréhension
 - A quoi servent les composantes restantes ?

Contrôle de la validité de construit des scores

- Comment les scores MISTELS et GOALS classent-ils les participants ?
- Classifieur K-means pour retrouver les groupes de niveau sur les 5 exercices
- MISTELS classe avec un taux de reconnaissance de 44%

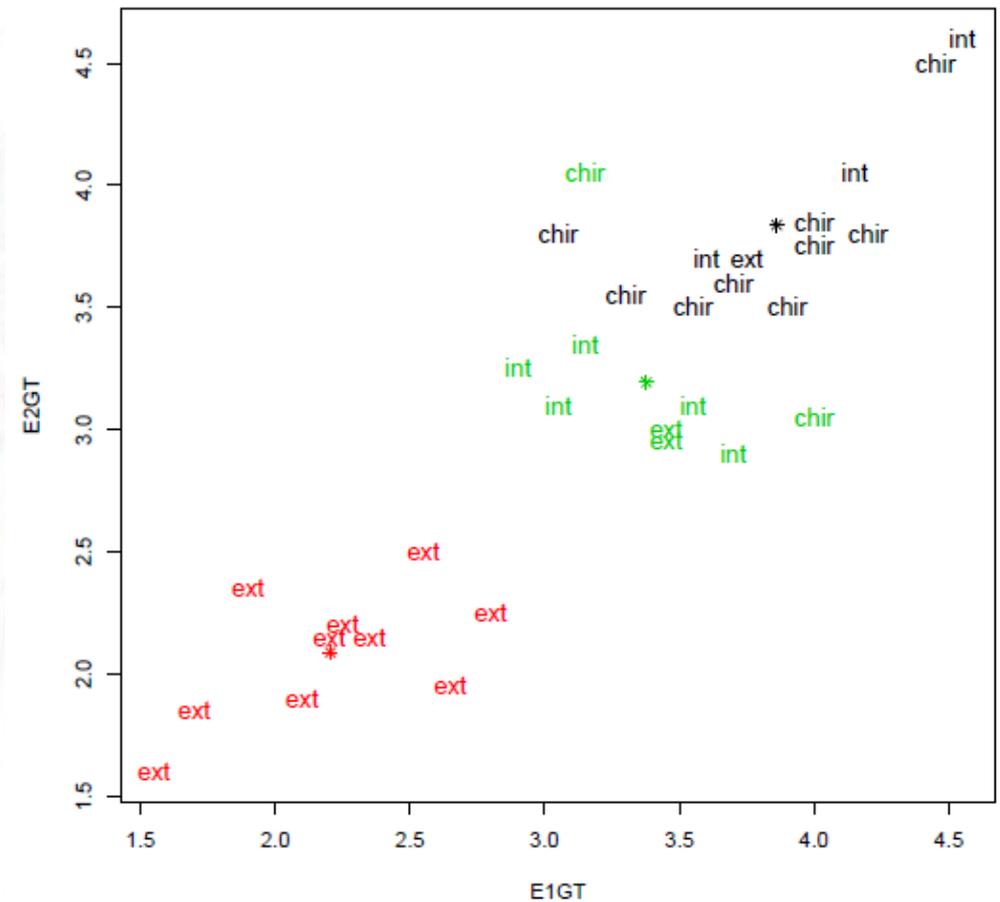
Classification des volontaires selon les scores MISTELS des 5 exercices



Contrôle de la validité de construit des scores

- Comment les scores MISTELS et GOALS classent-ils les participants ?
- Classifieur K-means pour retrouver les groupes de niveau sur les 5 exercices
- GOALS classe avec un taux de reconnaissance de 75%

Classification des volontaires selon les scores GOALS des 5 exercices



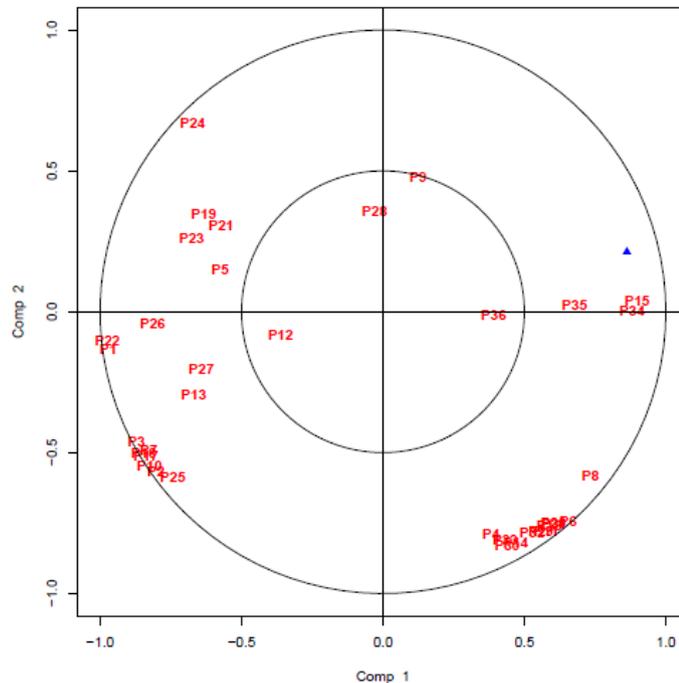
Premier résultat intermédiaire

- GOALS permet de classer les chirurgiens sur un simulateur
 - GOALS apporte davantage d'information **quantitative** sur la qualité du geste que le score MISTELS
 - GOALS apporte davantage d'informations **qualitatives** sur le geste
- Contrôle en parallèle de la reproductibilité **intra-observateur** (ICC1 = 0,85-0,96 ; ICC2 = 0,77-0,91) et de la reproductibilité **inter-observateur** (ICC = 0,72-0,78).

GOALS servira de score de référence pour extraire les paramètres des trajectoires

Pour la suite...

- Corréler des paramètres dérivés des trajectoires avec le score GOALS
- Utilisation de la méthode des « *partial least squares* »



- Exemple de paramètres étudiés :
 - temps
 - longueur de chemin parcouru
 - volume exploré/taux de recouvrement de volume
 - économie de mouvement
 - fluidité du mouvement
 - information mutuelle entre les mains
 - ...

Conclusion et perspectives

- Développement d'un système de suivi d'instruments fonctionnel sur banc d'entraînement
- Identification de métriques pertinentes « physiquement » sur les exercices FLS
- Nécessité d'optimiser le suivi pour les conditions du bloc opératoire
- Valider les métriques identifiées sur simulateur au bloc opératoire
- Intégrer le suivi dans un dispositif plus large (SPM et informations multi-modales)