

Conception d'un guide d'aiguille pour la radiologie interventionnelle sous IRM

Application : Cryothérapie de prostate

Salih Abdelaziz, Laure Esteveny, Pierre Renaud, Bernard Bayle,
Laurent Barbé, Michel De Mathelin

Laboratoire des Sciences de l'Image, de l'Informatique et de la
Téledétection
Équipe Automatique, Vision et Robotique

27 Juin 2011

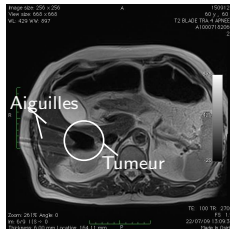


1 MRGuide

- Contexte & Objectifs
- Aide au positionnement du patient
- Assistance robotique
- Expérimentations

Contexte : Cryoablation de la prostate sous IRM

- Radiologie interventionnelle
- Cancer de la prostate
- Cryothérapie



Procédure actuelle



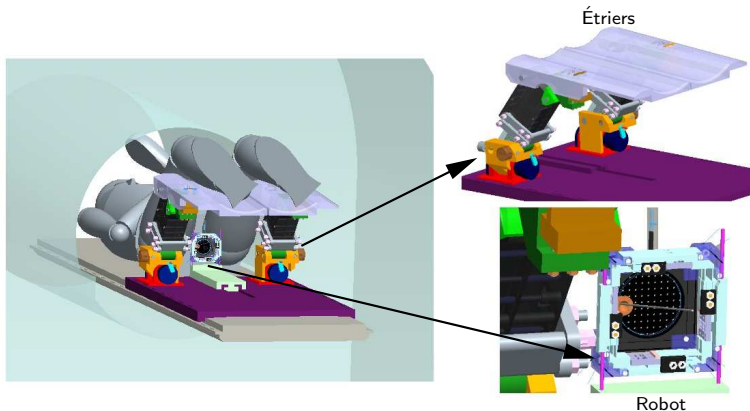
- Accès difficile
- Positionnement statique du patient

Aide au positionnement

- Geste délicat
- Espace limité

Assistance robotique à l'insertion

Procédure envisagée



Aide au positionnement du patient

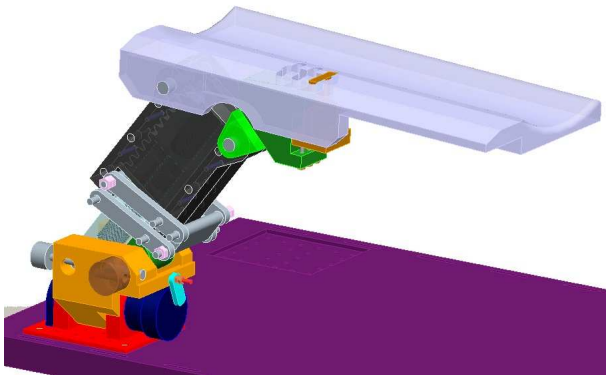


Contraintes de conception

Cahier des Charges :

- Adaptable au plus grand nombre de morphologies
- Deux phases d'utilisation :
 - Avant l'opération
 - Pendant l'opération
- Compatible IRM

Solution proposée : étriers



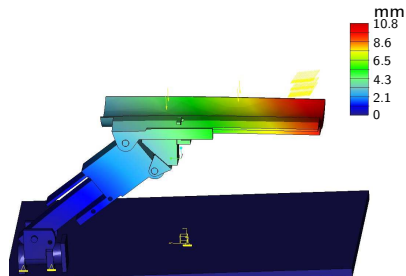
- Adaptables à 90% des morphologies
- Basculables pour faciliter la phase de nettoyage
- Permettant de rentrer dans le tunnel de l'IRM

Mobilité du mécanisme

Animation

Compatibilité IRM

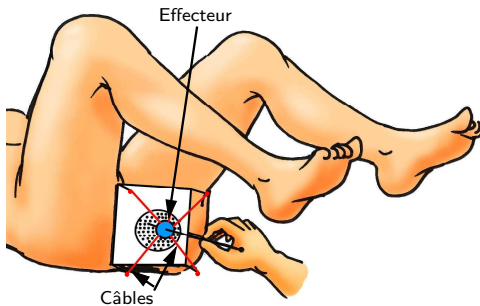
- Matériaux transparents pour l'IRM
- Validation par éléments finis :
 - Déplacement sous charge de l'ordre du cm
 - Contraintes respectées pour une charge de 35 kg



Dans la salle d'opération

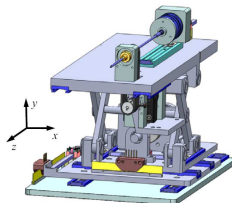


Assistance robotique

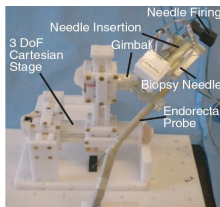


Bref état de l'art

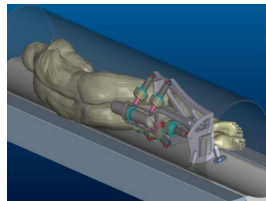
- Compatible IRM
- Sûr
- Stérilisable
- Simple d'utilisation
- **Compact**



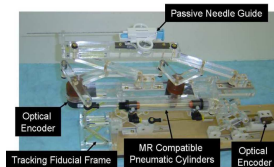
Robot for prostate brachytherapy with force sensor



Robot for Transrectal biopsy with force sensor



Robot for transperineal brachytherapy



Robot for Transrectal biopsy and brachytherapy

Éléments de Cahier des Charges

On souhaite développer une assistance robotique au placement d'aiguille :

- Compacte
- Légère
- Qui permette de revenir facilement à une insertion manuelle si nécessaire
- Qui contraigne le mouvement de la prostate
- Compatible IRM

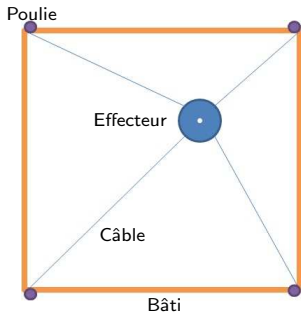
Éléments de Cahier des Charges

On souhaite développer une assistance robotique au placement d'aiguille :

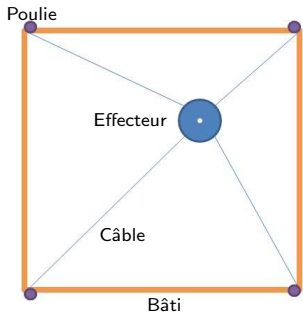
- Compacte
- Légère
- Qui permette de revenir facilement à une insertion manuelle si nécessaire
- Qui contraigne le mouvement de la prostate
- Compatible IRM

Solution proposée : **le robot à câbles**

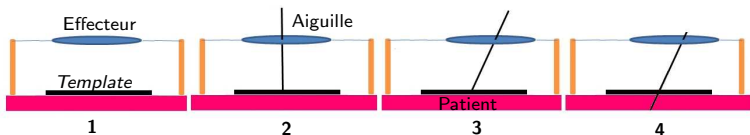
Scénario d'assistance



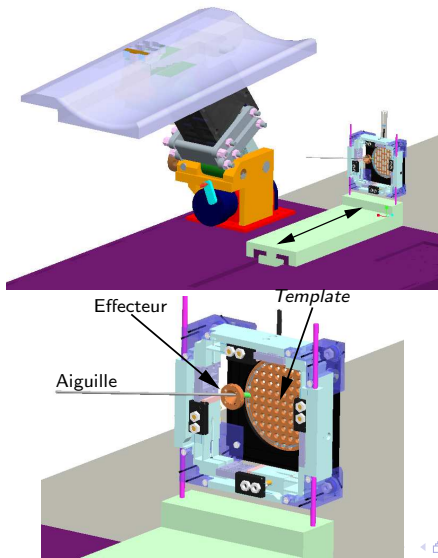
Scénario d'assistance



- Positionnement de l'effecteur
- Insertion partielle de l'aiguille
- Décalage de l'effecteur
- Insertion manuelle de l'aiguille



Disposition générale



Compatibilité IRM

Câbles

- Tressés en polyéthylène
- Diamètre de 0.75 mm, soit une charge de rupture de 800 N
- Allongement sous charge de 0.3 mm

Compatibilité IRM

Câbles

Moteurs

- Déportés hors de la salle IRM : conventionnels à CC
- Bon fonctionnement à faible vitesse
- Montage en prise directe

Compatibilité IRM

Câbles

Moteurs

Capteurs

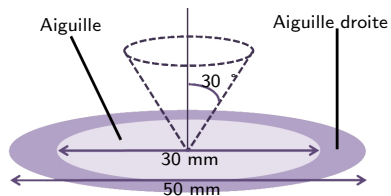
- À fibre optique avec la partie amplification déportée de la salle IRM



Dimensionnement du système

Cahier des charges :

- Espace de travail : disque de diamètre 50 mm
- Orientation de l'aiguille sur ± 30 degrés
- Effort sur l'effecteur variant de -10 N à 10 N



CdC + MG + PFS permettent de déterminer :

- Forme du robot
- Taille minimale du mécanisme : 75 mm \times 75 mm
- Tensions des câbles : comprises entre 10 N et 60 N

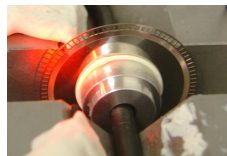
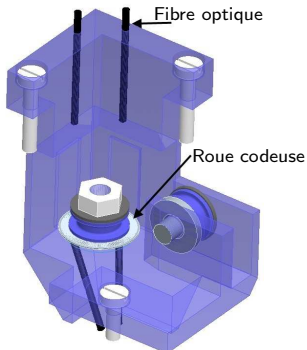
Instrumentation

Pour commander le robot, il faudra maîtriser :

- Les longueurs des câbles
- Les tensions des câbles

Estimation de la position de l'effecteur

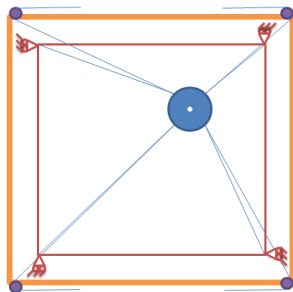
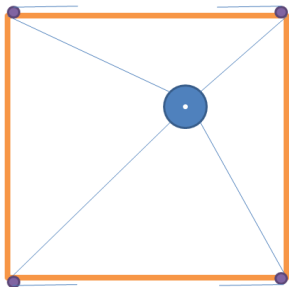
- Position connue par MG + longueur des câbles
- Mesure du déplacement des câbles



- En tungstène
- 163 pts/tr
- Diamètre 13.4 mm
- Signaux en quadrature
- Résolution : 35 μm

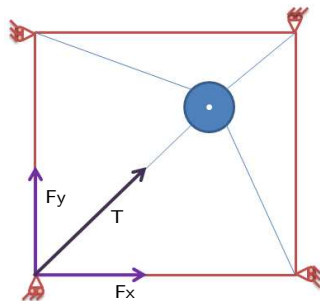
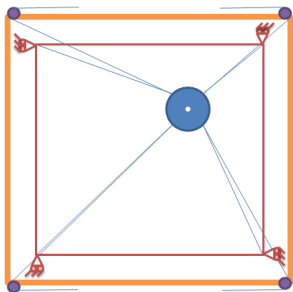
Estimation de la tension dans les câbles

- Utilisation d'une structure en treillis



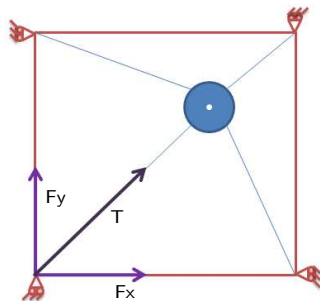
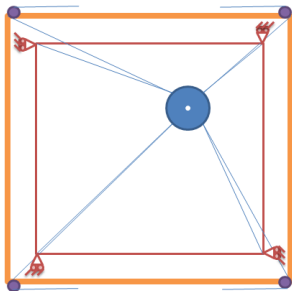
Estimation de la tension dans les câbles

- Utilisation d'une structure en treillis



Estimation de la tension dans les câbles

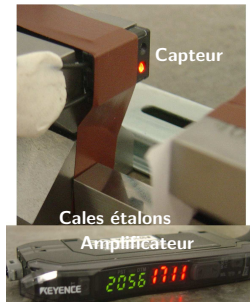
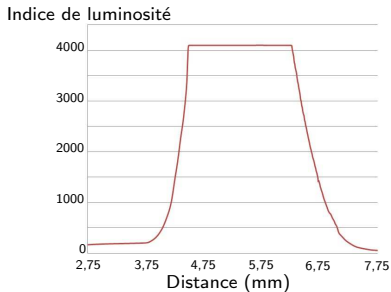
- Utilisation d'une structure en treillis



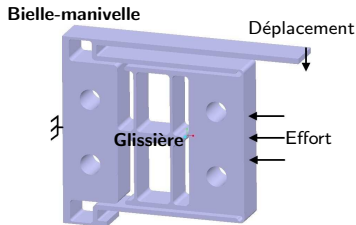
Objectif : Mesurer les efforts dans les barres du treillis

Choix du capteur de déplacement

- Plage de variation exploitable : 0,5 mm



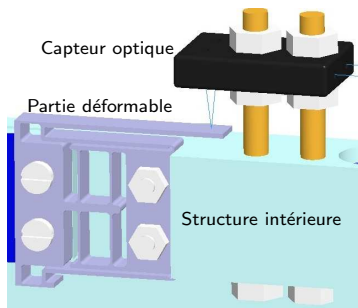
Mécanisme amplificateur proposé



Animation

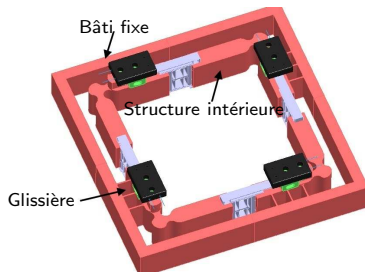
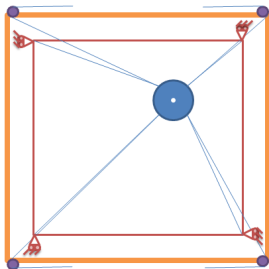
- Amplitude de mouvement de 0.5 mm
- Rapport d'amplification de 10
- Encombrement : 4 mm × 20 mm × 30 mm
- Obtenu par électro-érosion à fil en Cu-Be

Intégration



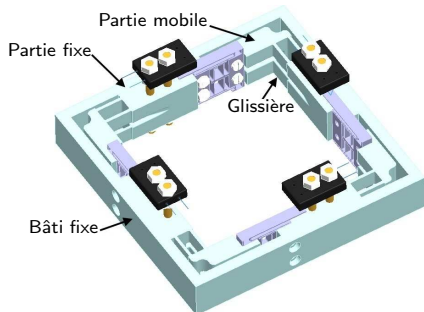
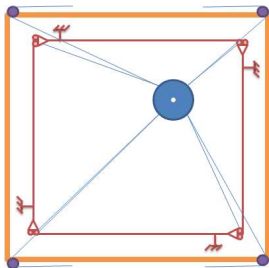
Capteur optique réglable en hauteur pour pouvoir se positionner à la limite de la distance de saturation

Intégration de l'ensemble : Proposition 1



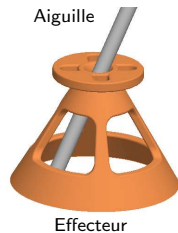
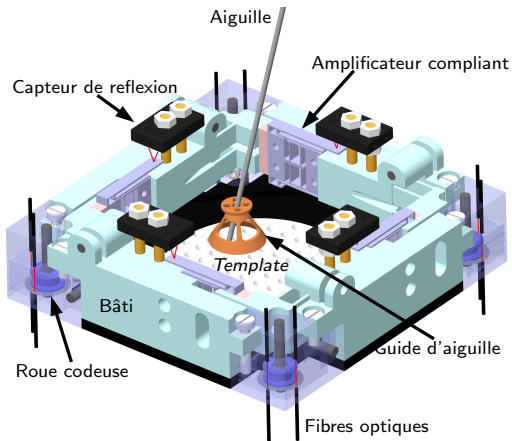
- Encombrement : 110 mm × 110 mm
- Non respect du modèle proposé : impossibilité de réaliser la mesure des efforts

Intégration de l'ensemble : Proposition 2

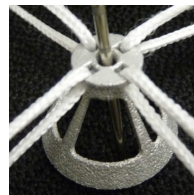
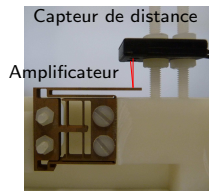
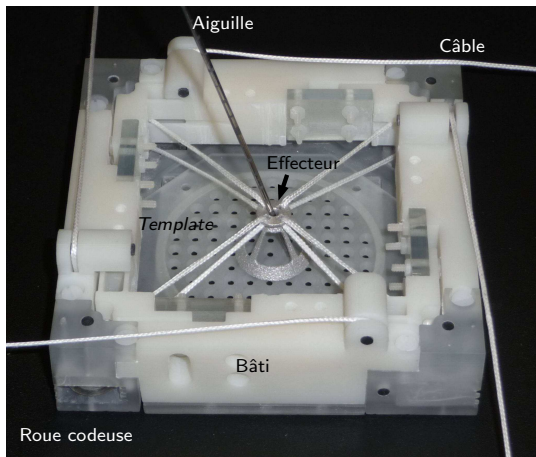


- Encombrement minimisé : 95 mm×95 mm
- Modèle respecté : comportement satisfaisant

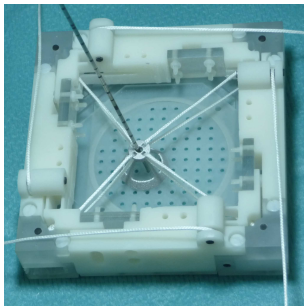
Solution robotique proposée



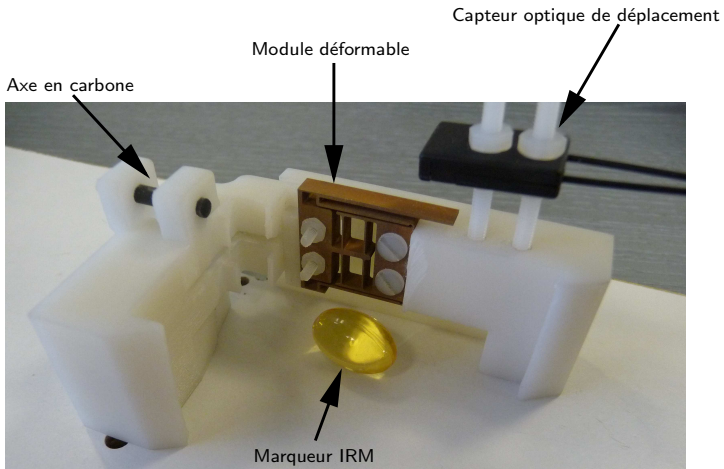
Prototype réalisé



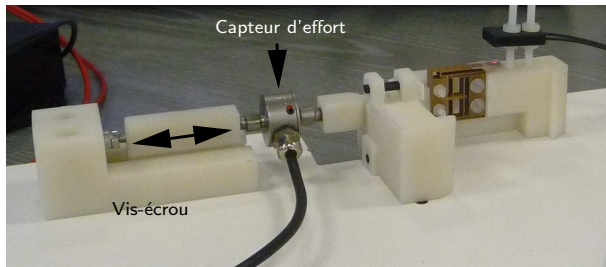
Expérimentations



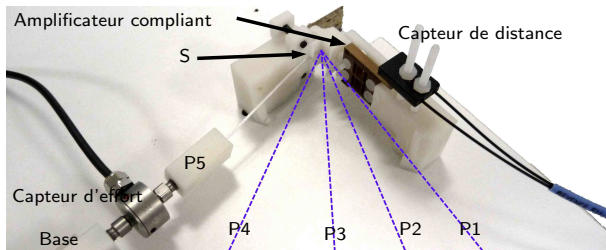
Banc de test



Validation du capteur d'effort

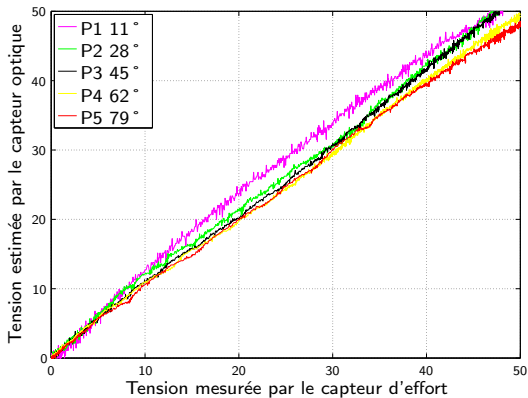


Compression dans l'axe du module déformable via un système de chargement extérieur

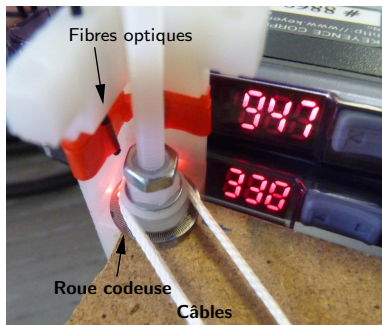


Tension du câble le long de diverses directions

Caractéristique de la mesure de tension

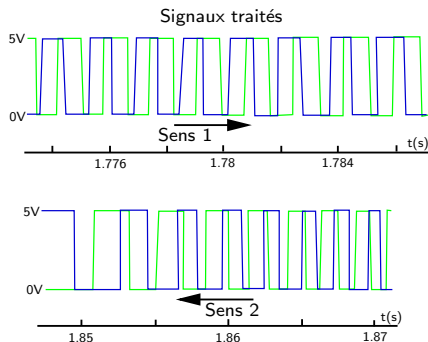
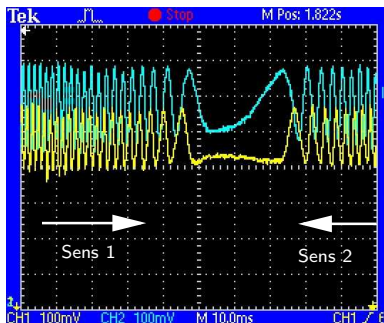


Validation de la partie codeur



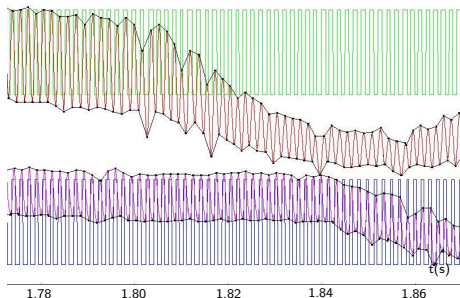
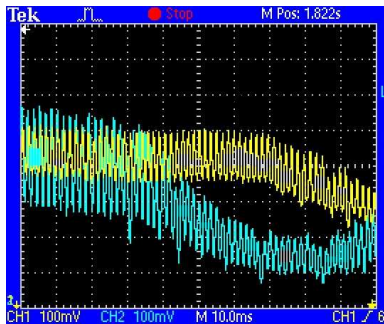
- Fibre optique standard
- Roue codeuse 163 alternances de 0.2 mm

Mise en évidence des signaux en quadrature et du sens de rotation



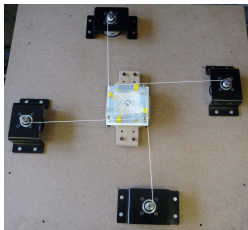
Déphasages des signaux cohérents en fonction du sens de rotation de la roue codeuse

Fluctuation de la moyenne du signal



Robustesse vis-à-vis des fluctuations dues à un mauvais alignement de la roue codeuse et des fibres optiques

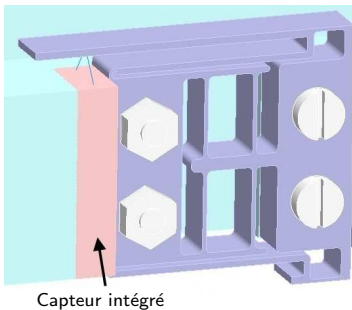
Premiers mouvements



Animation

Perspectives

- Développer la commande
- Améliorer l'intégration
- Généraliser l'approche à des assistants robotiques nécessitant plus de degrés de liberté



**Merci pour votre
attention !**

Des questions ?