

EVOLAP : robot porte-laparoscope

Contexte

À l'inverse de la chirurgie classique, qui nécessite une ouverture dans la paroi abdominale pour accéder directement aux organes, le chirurgien qui opère par voie laparoscopique ne pratique que de petites incisions, dont la taille dépasse rarement 10 mm.

Le chirurgien insère à travers ces incisions de longs instruments, tels des pinces, des dissecteurs ou des ciseaux, guidés par des trocarts qui évitent de blesser la paroi abdominale par frottement. Du CO_2 réchauffé et humidifié est insufflé sous pression dans la cavité abdominale par un des trocarts pour distendre la paroi et créer un espace de travail intra-abdominal suffisant.

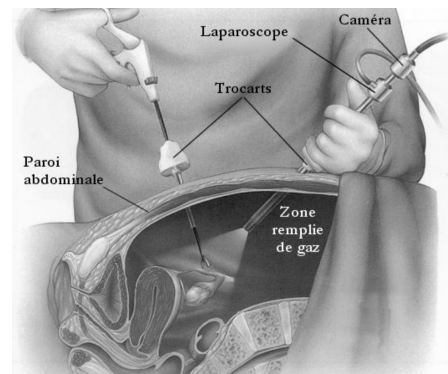


FIGURE 1 – Principes de la laparoscopie

Le chirurgien n'ayant aucun contact visuel direct avec l'intérieur de l'abdomen, un moniteur retransmet les images provenant d'une caméra miniature, placée à l'extrémité d'un instrument optique appelé **laparoscope**. Ce laparoscope est généralement inséré au niveau du nombril.

Le système EVOLAP est un robot porte-laparoscope dédié à la chirurgie laparoscopique permettant un suivi automatique d'un objet par captation vidéo pour une utilisation en salle d'opération d'un patient. Le robot est fixé sur la table d'opération et est ajusté à la morphologie du patient. Après réglage d'un bras articulé dit passif (car non motorisé), le robot permet le déplacement automatique du laparoscope.

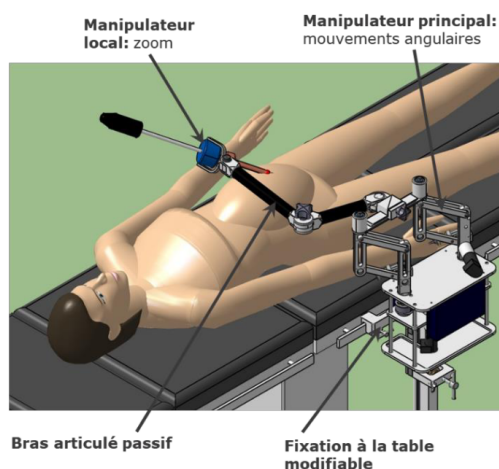


FIGURE 2 – Fixation du robot industriel EVOLAP

Le robot porte-laparoscope EVOLAP didactisé reprend les éléments essentiels et les principes du robot industriel (Figure 3).

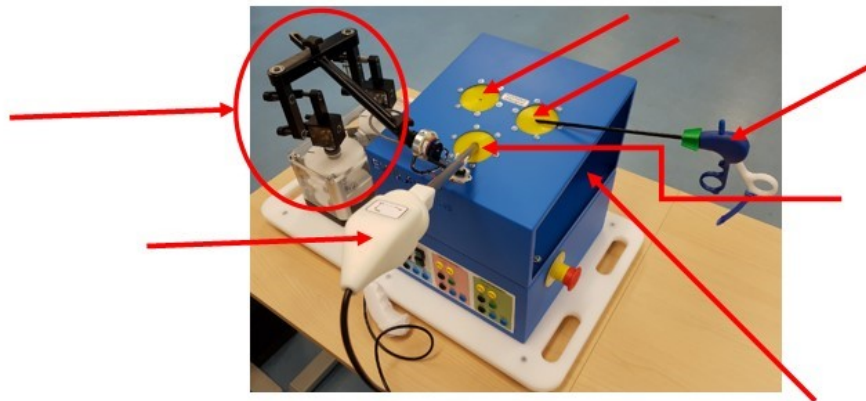


FIGURE 3 – Système didactisé EVOLAP

Activité 1

Identifier les composants du système didactisé sur la Figure 3.

Activité 2

Mettre en œuvre le protocole expérimental n°1. Conclure quant à la possibilité pour le chirurgien de mouvoir le laparoscope et les outils simultanément à l'aide des images fournies par la caméra.

En situation d'usage dans une salle d'opération, le mode de pilotage du porte-laparoscope est le mode suivi automatique. Ce mode consiste à positionner le laparoscope automatiquement par rapport à l'instrument chirurgical grâce au robot porte-laparoscope.

Activité 3

Mettre en œuvre le protocole expérimental n°2 et décrire le comportement observé.

PROBLEMATIQUE

Comment sont réalisés les mouvements du porte-laparoscope pour assister le chirurgien lors d'une opération chirurgicale ?

Chaîne fonctionnelle du robot

Les chaînes fonctionnelles du porte-laparoscope permettent de mouvoir les 2 degrés de liberté du laparoscope par-rapport à la paroi abdominale à partir de 2 actionneurs du type moteur (Motoréducteurs M1 et M2). Les deux motoréducteurs sont placés verticalement et ces 2 mouvements de rotation sont transmis à des trains d'engrenages. Les mouvements de rotation en sortie sont transmis à un mécanisme du type parallélogramme déformable, mettant en mouvement la nacelle 7 par rapport au bâti 0 (voir Figure 4).

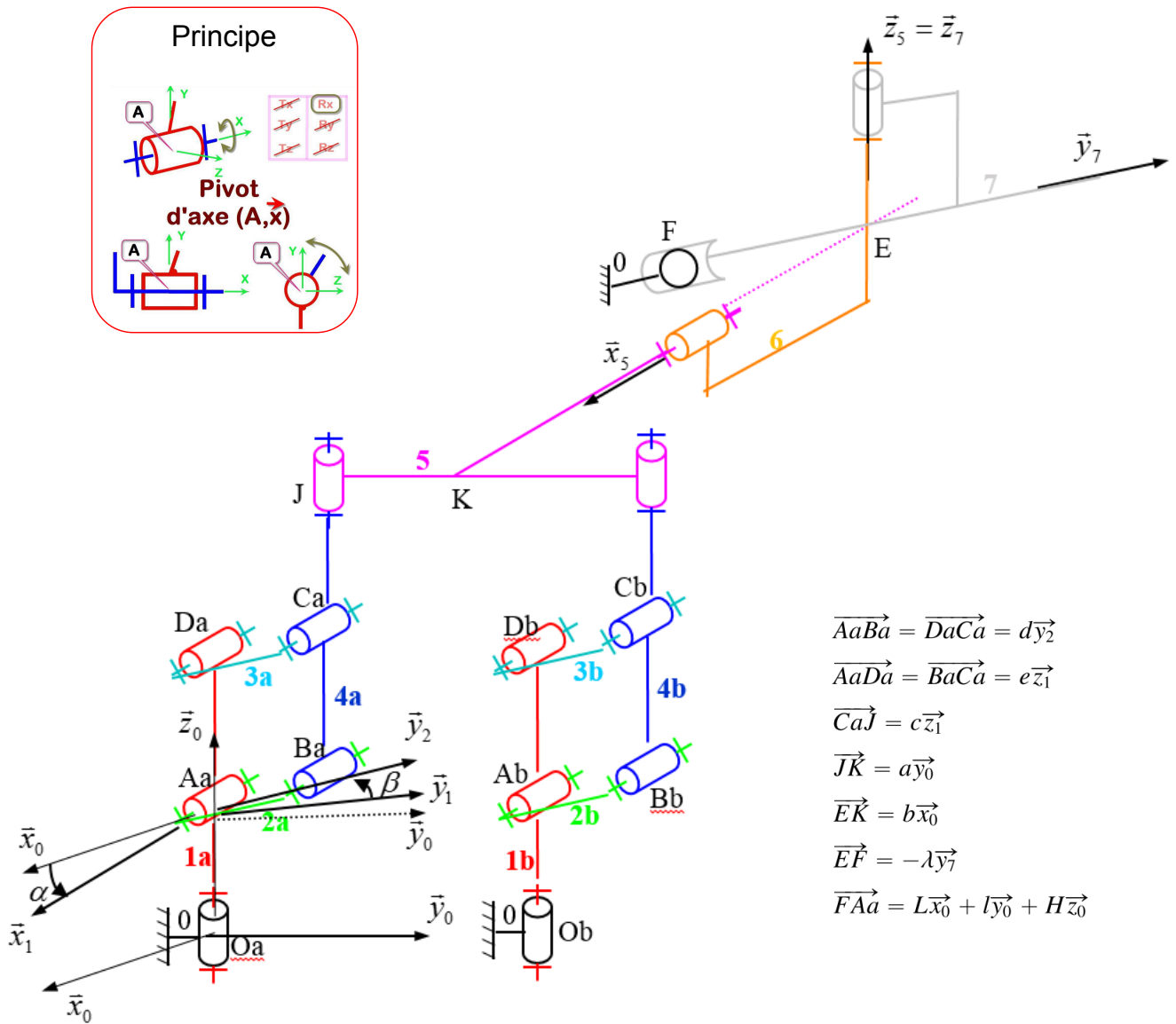


FIGURE 4 – Modélisation des parallélogrammes déformables, nacelle et laparoscope

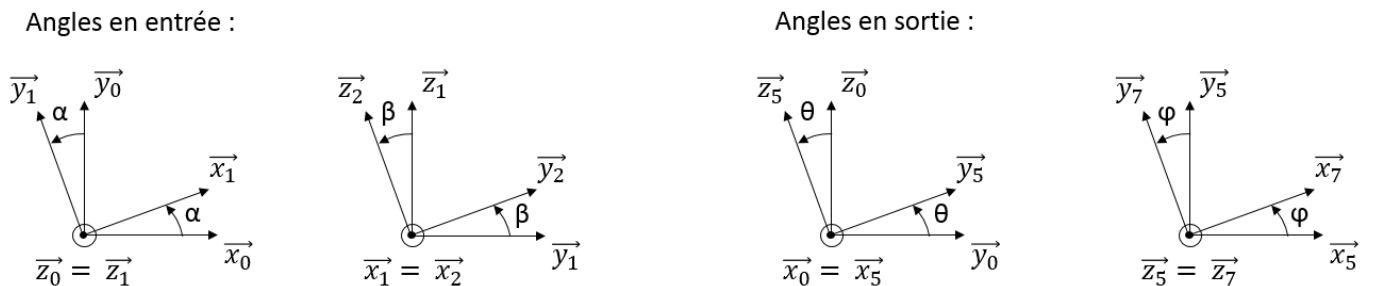


FIGURE 5 – Figures planes de changement de base

Les 2 mobilités en entrée du système sont la rotation 1 par rapport à 0 autour de l'axe \vec{z}_0 et la rotation 2 par rapport à 1 autour de l'axe \vec{x}_1 . Les 2 mobilités du laparoscope 7 sont la rotation de 7 par rapport à 0 autour de l'axe \vec{x}_5 et autour de l'axe \vec{z}_5 .

Activité 4

Repérer sur le système réel les angles α , β , θ et φ . Dessiner ces angles sur la Figure 6.

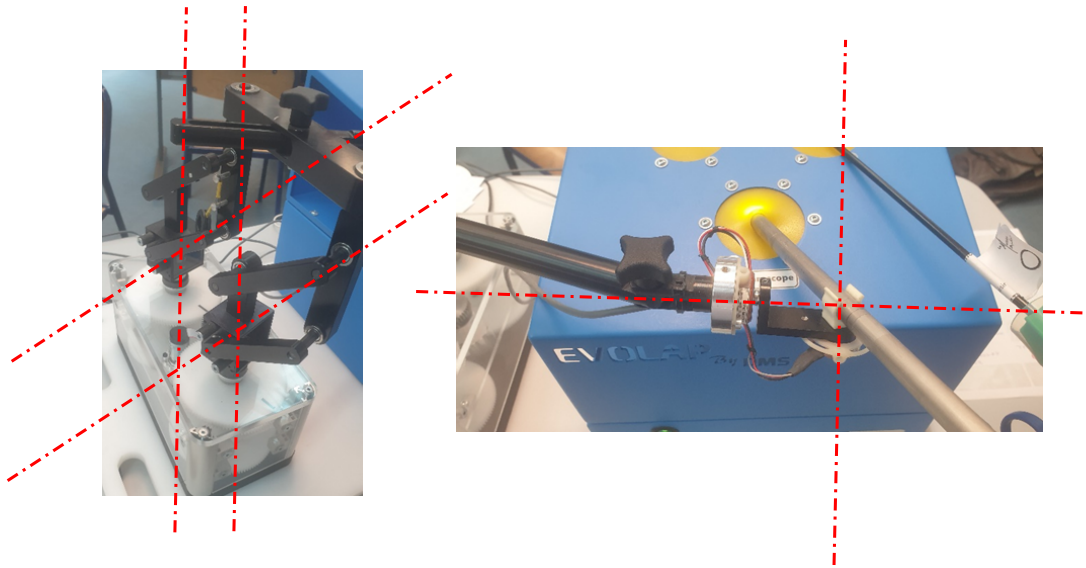


FIGURE 6 – Identification des angles de rotation

Activité 5

Grâce à la relation de Chasles, décomposer le vecteur $\overrightarrow{A_a A_a} = \vec{0}$ en passant par les points B_a , C_a , J , K , E , et F .

Activité 6

Projeter l'équation vectorielle trouvée à l'activité 5 dans la base 0. En déduire les 3 équations scalaires obtenues en projection sur \vec{x}_0 , \vec{y}_0 et \vec{z}_0 .

Activité 7

Isoler les termes en λ dans les équations en projection sur \vec{y}_0 et sur \vec{z}_0 . En les divisant, obtenir l'expression de $\tan \theta$. (*Remarque : par construction $\varphi \neq 0[\pi]$*)

Activité 8

A partir de l'équation en projection sur \vec{x}_0 , obtenir l'expression de φ en fonction de α et β .

La géométrie du système donne des simplifications supplémentaires sur les équations de la loi entrée-sortie obtenue précédemment.

Activité 9

Isoler les termes en λ dans les équations en projection sur \vec{y}_0 et en projection sur \vec{z}_0 puis élever au carré chacune des deux équations. Sommer terme à terme les 2 équations obtenues.

Activité 10

Isoler le terme en λ dans l'équation de projection sur \vec{x}_0 . Élever l'équation au carré et la sommer terme à terme avec l'équation obtenue à l'activité 7. Déterminer λ en fonction des paramètres α et β .

Activité 11

La géométrie impose $L = b$, $a + l = 0$ et $e + c + H = 0$. Simplifier l'expression de λ obtenue à l'activité 10. En déduire les expressions simplifiées de la loi entrée-sortie exprimant les angles φ et θ en fonction des angles motorisés α et β .

Il suffit ensuite de dériver les expressions des paramètres géométriques pour obtenir les relations entre les vitesses.

La loi de vitesse donnée pour la commande est une loi de vitesse trapézoïdale comme celle donnée sur la Figure 7. Les déplacements des angles α et β et donc de θ et φ sont la conséquence de ce trapèze de vitesse.

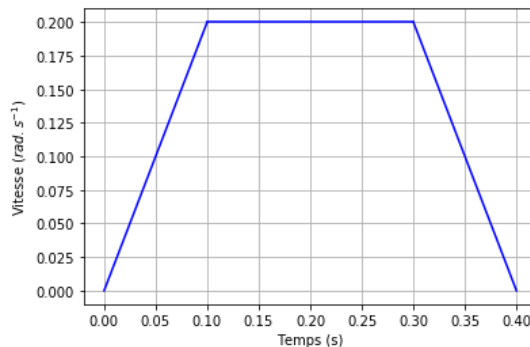


FIGURE 7 – Trapèze de vitesse pour la loi de commande

Activité 12

Déterminer la relation entre la vitesse $\dot{\alpha}$, et l'accélération notée $\ddot{\alpha}$. Tracer le profil d'accélération $\ddot{\alpha}$ en fonction du temps en concordance de temps avec le profil de vitesse.

Activité 13

Déterminer la relation entre la vitesse $\dot{\alpha}$, et la position α . Tracer le profil de position α en fonction du temps en concordance de temps avec le profil de vitesse.

Activité 14

Sur le même principe, tracer le profil de position β et le profil d'accélération $\ddot{\beta}$ en fonction du temps.

Activité 15

Déterminer la course (déplacement angulaire) de l'angle α pendant les 40 secondes de la commande.

Pour aller plus loin : Mesure de la position et de la vitesse sur le système réel

Chaque motoréducteur est équipé d'un codeur incrémental possédant 512 fentes. La fourche optique émet 2 signaux en quadrature. La précision atteignable avec ce codeur incrémental est donc de 2048 informations (ou tops) par tour moteur.

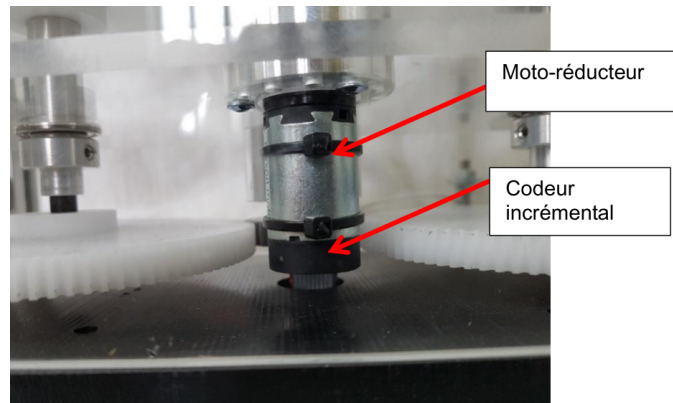


FIGURE 8 – Codeur incrémental

Activité 16

Quel est le plus petit angle qui peut être mesuré par le codeur incrémental ?

Capteurs de positions angulaires du laparoscope

Deux potentiomètres ont été placés au niveau du cardan reliant la nacelle au laparoscope. Ils permettent de mesurer les angles θ et φ .

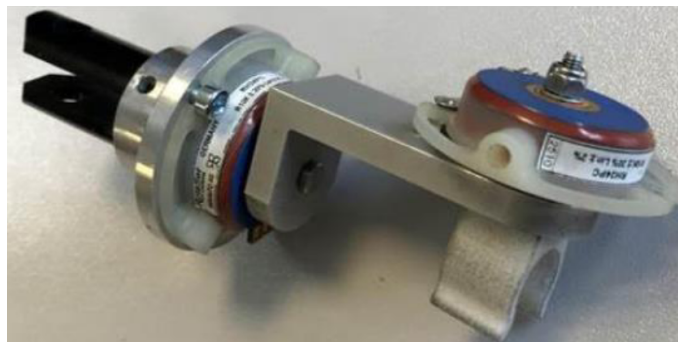


FIGURE 9 – Potentiomètre angulaire

Annexe 1 : Protocole expérimental n°1

Déroulé des manipulations

Prise d'origine :

- Lancer le logiciel ClientEvolap (icône présent sur le Bureau) si celui-ci n'est pas déjà ouvert
- Vérifier que le laparoscope est positionné tel que décrit sur la Figure 10 :

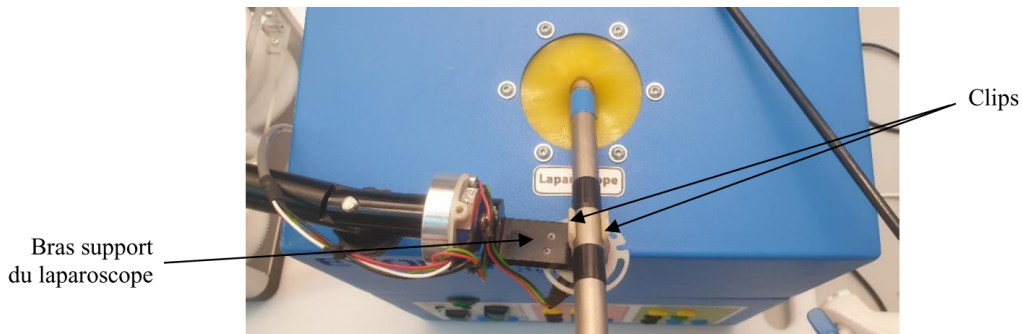




FIGURE 10 – Positionnement du laparoscope

- laparoscope enfoncé dans le pelvitainer jusqu'au repère bleu ; - pièce supportant les clips positionnée entre les deux repères noirs ; - laparoscope perpendiculaire au bras support des clips ; - laparoscope perpendiculaire au pelvitainer ; - laparoscope en position la plus basse.
- Appuyer sur le bouton Prise d'origine présent sur le pelvitainer. Le laparoscope peut remonter en position haute. Dans tous les cas, remettre le laparoscope en position la plus basse.

Manipulation du laparoscope à la main et acquisition image :

- Dans l'interface ClientEvolap, cliquer sur le menu Acquisition  puis sur le bouton Caméra . Une fenêtre s'ouvre permettant de voir l'intérieur du pelvitainer grâce à la caméra située à l'extrémité du laparoscope
- Mouvoir le laparoscope telle que l'image fournie par la caméra permette de visualiser l'intérieur du pelvitainer conformément à l'image de la Figure 11

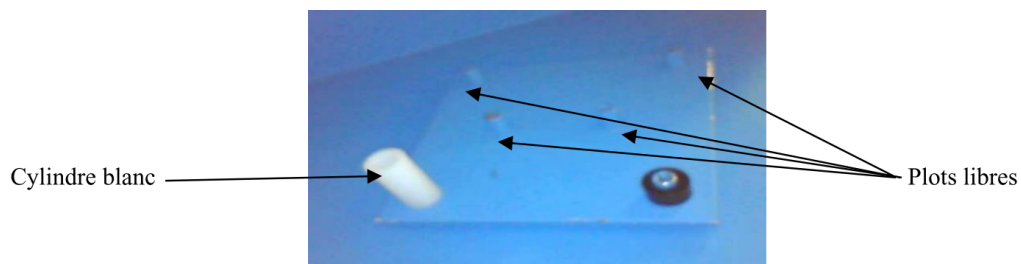




FIGURE 11 – Image fournie par la caméra

- Mouvoir l'instrument chirurgical et agir sur la pince afin de déplacer le cylindre blanc de sa position initiale vers un des plots libres. Cette opération doit être effectuée en ne visualisant que les images issues de la caméra sur l'ordinateur.

Annexe 2 : Protocole expérimental n°2

Déroulé des manipulations

- Refaire la prise d'origine en se mettant en position médiane telle que décrite dans le protocole expérimental 1
- Dans le logiciel ClientEvolap, sélectionner le menu acquisition  et lancer la caméra 
- Appuyer sur le bouton « Suivi d'image » sur le pelvitainer (une croix apparaît au centre de l'image)
- Mouvoir manuellement l'outil chirurgical de façon à positionner la bague rouge au centre de l'image sur la croix (conformément à l'image fournie sur la Figure 12)

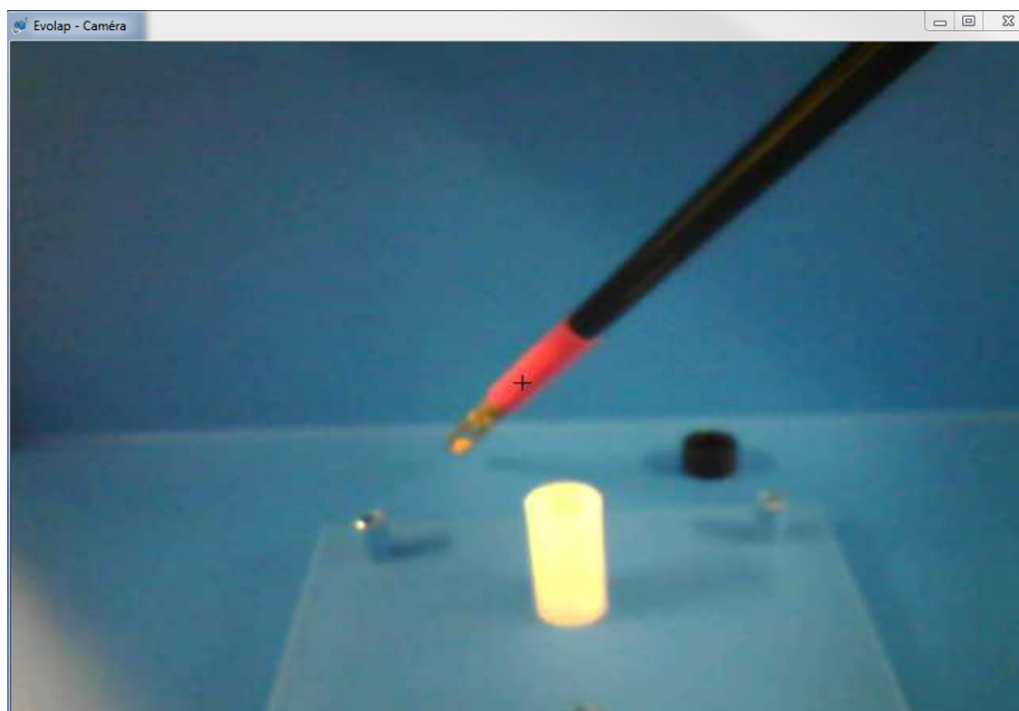


FIGURE 12 – Position de l'outil chirurgical sur la croix

- Réappuyer sur le bouton « Suivi d'image » sur le système pelvitainer
- Mouvoir l'outil chirurgical lentement et observer le comportement du laparoscope.

Pour sortir du mode suivi, réappuyer sur le bouton « Suivi d'image » sur le pelvitainer.