



Congrès de la Société Française d'informatique – 31 Janvier 2018

LE GESTE MEDICO-CHIRURGICAL ASSISTÉ PAR ORDINATEUR

JOCELYNE TROCCAZ, DR CNRS, TIMC-IMAG
PIERRE MOZER, PU-PH, AHP LA PITIÉ, ISIR



CONTEXTE CLINIQUE











Des gestes diagnostiques ou thérapeutiques mini-invasifs

- Moins de : perception, dextérité
- Des outils plus complexes
- Des cibles plus petites

Besoins

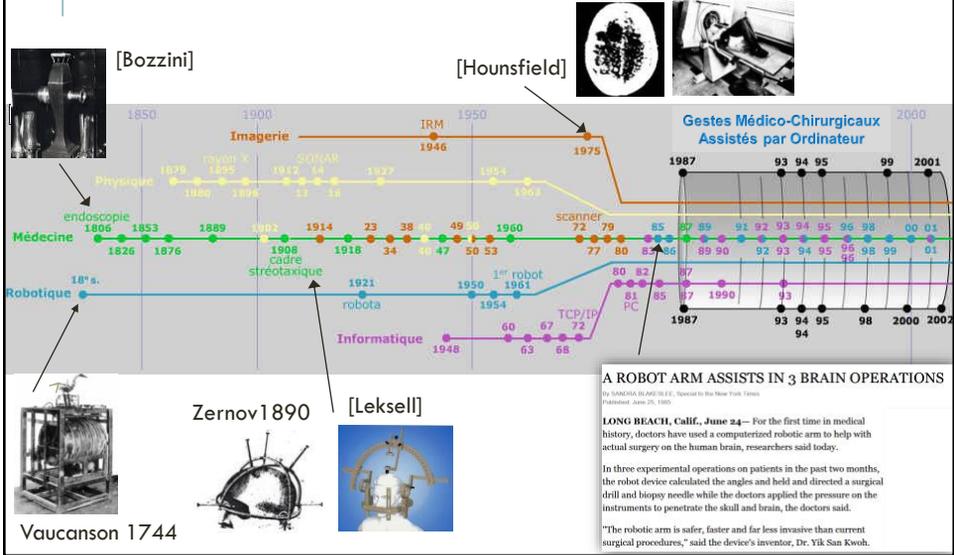
- Plus de : efficacité, sécurité, etc.
- Moins de : complications, douleurs, temps, argent, etc.
- Formation, évaluation et certification

De plus en plus d'information multimodale

Assurance qualité, questions réglementaires et légales

Des équipes soignantes multidisciplinaires

MISE EN PERSPECTIVE HISTORIQUE



A ROBOT ARM ASSISTS IN 3 BRAIN OPERATIONS
By SAMUELA BLANDI IN F.I., Special to The New York Times
 Published: June 25, 1989

LONG BEACH, Calif., June 24— For the first time in medical history, doctors have used a computerized robotic arm to help with actual surgery on the human brain, researchers said today.

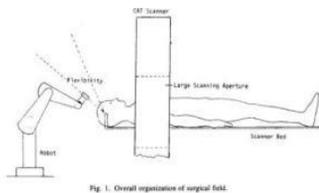
In three experimental operations on patients in the past two months, the robot device calculated the angles and held and directed a surgical drill and biopsy needle while the doctors applied the pressure on the instruments to penetrate the skull and brain, the doctors said.

"The robotic arm is safer, faster and far less invasive than current surgical procedures," said the device's inventor, Dr. Yik San Kwoh.

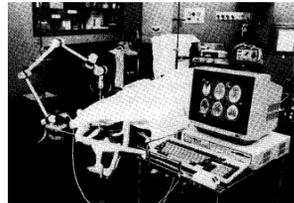
LES PREMIERS PAS EN NEUROCHIRURGIE STEREOTAXIQUE

Contexte: approche « métrologique » de localisation des cibles à partir d'une imagerie 3D

[Kwoh et al. 1988] - Dans le scanner



[Watanabe et al. 87]

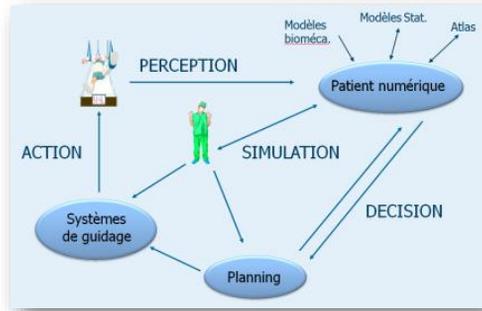


Au bloc



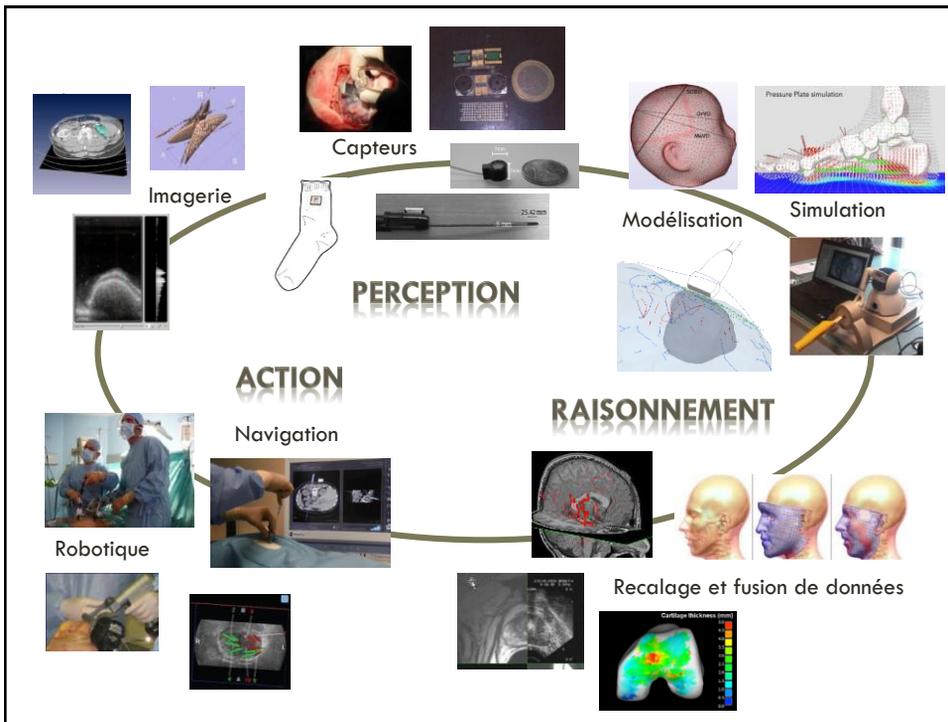
[Lavallée et al. 1989]

OBJECTIFS CLINIQUES DES GMCAO*



- Assister le clinicien à utiliser quantitativement des informations multimodales et des modèles pour la planification et la réalisation de gestes diagnostiques ou thérapeutiques efficaces et sûrs
- Aider à l'apprentissage et à l'évaluation des techniques médico-chirurgicales

*GMCAO = Gestes Médico-Chirurgicaux Assistés par Ordinateur



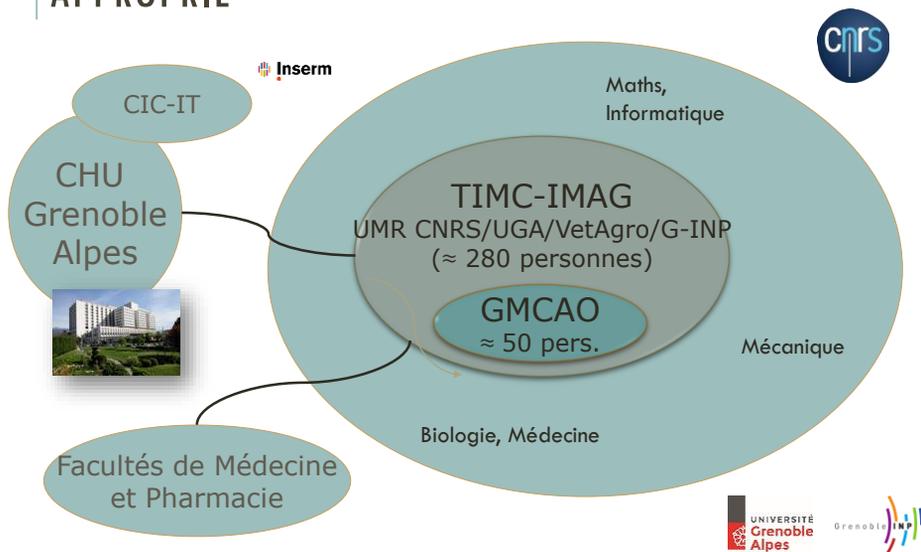
UNE RECHERCHE INTER/TRANSDISCIPLINAIRE

Champs thématiques d'activités à GMCAO/TIMC-IMAG:

- traitement du signal et de l'image
- reconstruction 3D, segmentation, fusion de données
- modélisation (pathologie, organe, fonction, patient, population de patients, gestes interventionnels) et simulation
- biomécanique
- robotique
- instrumentation
- expérimentations y compris cliniques
- plateforme de développement et d'intégration open source CamiTK
<http://comitk.imag.fr/>

Requérant de multiples compétences

UN ENVIRONNEMENT DE PROXIMITÉ APPROPRIÉ



UN ÉCOSYSTÈME Tourné vers la VALORISATION

Plateformes expérimentales et logiciels libres

Brevets internationaux (plus de 70 pour TIMC-IMAG/GMCAO depuis 1992)

Création de start-ups (plus de 10 pour TIMC-IMAG/GMCAO depuis 1995) et partenariats industriels (depuis les origines)

DES TRAVAUX EN ÉVOLUTION CONSTANTE

Avec les besoins cliniques et les mutations des prises en charge médicales

Avec les évolutions technologiques

Deux exemples:

- Modélisation et monitoring du geste médico-chirurgical
- Robotique médicale

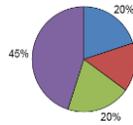
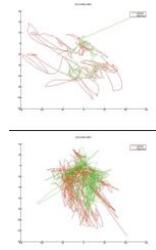


MODÉLISATION ET MONITORING DU GESTE

Un domaine très actif depuis une décennie en particulier grâce à l'imagerie interventionnelle (endoscopie notamment)

Motivations:

- formation (initiale /nouvelles techniques/nouveaux dispositifs) et évaluation (métriques)
- détection/prévention d'évènements indésirables
- interfaces utilisateurs sensibles au contexte
- gestion de ressources au bloc opératoire
- génération automatique de rapports
- indexation vidéo



[ANSM 2014] – évts indésirables en chirurgie robotisée

- Pathologie du patient
- Limitations du robot
- Défaillance de matériel
- Formation/expérience du clinicien

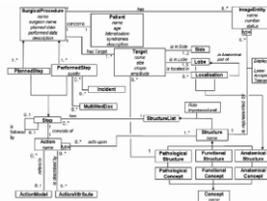
REPRÉSENTER UN PROCESSUS CHIRURGICAL

Ontologies

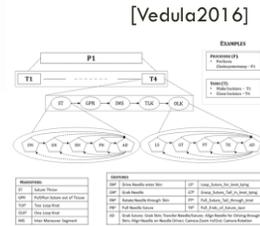
Représentations hiérarchiques

Signaux (présence des outils et/ou trajectoires)

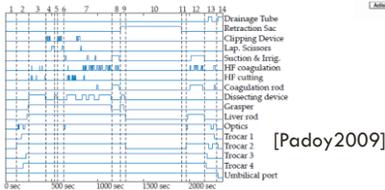
Images/vidéos



[Jannin2007]

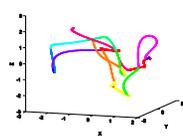


[Vedula2016]

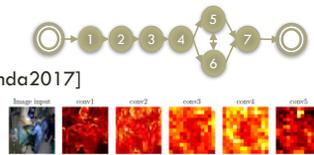


[Padoy2009]

[Despinoy2015]



[Twinanda2017]



LE RECONNAITRE

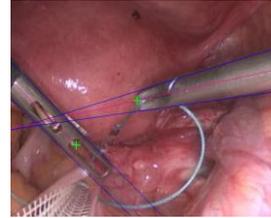
Par exemple à partir des vidéos laparoscopiques
"à la volée"/hors ligne

Basée sur la détection des outils chirurgicaux
dans les images

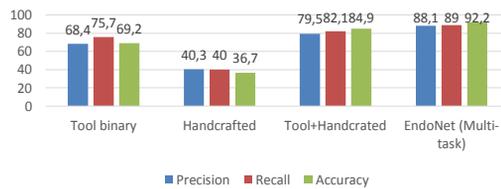
Basée sur des indices visuels

- déterminés à la main

- appris automatiquement



[Padoy et al., ICube, Unistra]

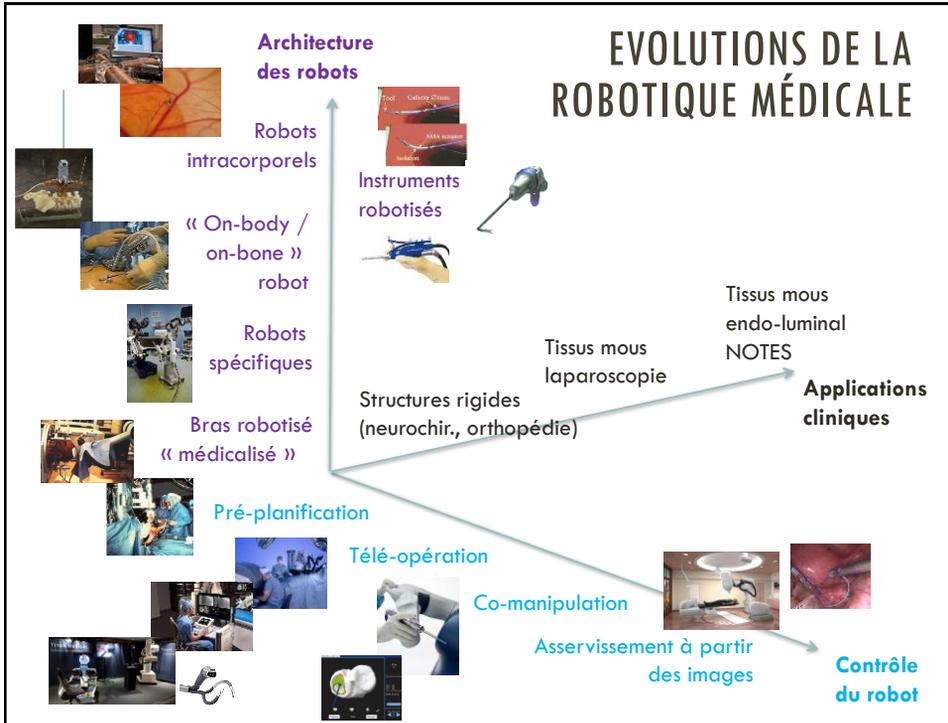


DIFFICULTÉS

Complexité/qualité intrinsèque des images

Nécessité de temps réel

Variabilité naturelle du geste liée à la variabilité des patients



LES DÉFIS DE LA ROBOTIQUE

- Une meilleure intégration clinique
- Une interaction facilitée avec les utilisateurs
- Sécurité versus autonomie

- La preuve d'une valeur ajoutée clinique

CONCLUSION DE CHERCHEUR.E

Inventer et développer des concepts, méthodes, systèmes génériques

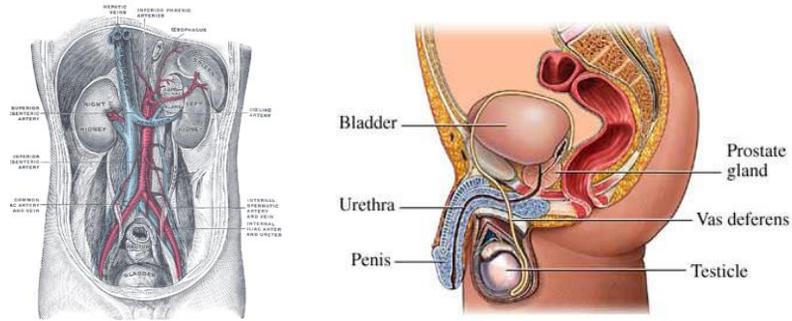
Les confronter à la réalité clinique voire aux réalités cliniques

Oser le partenariat industriel



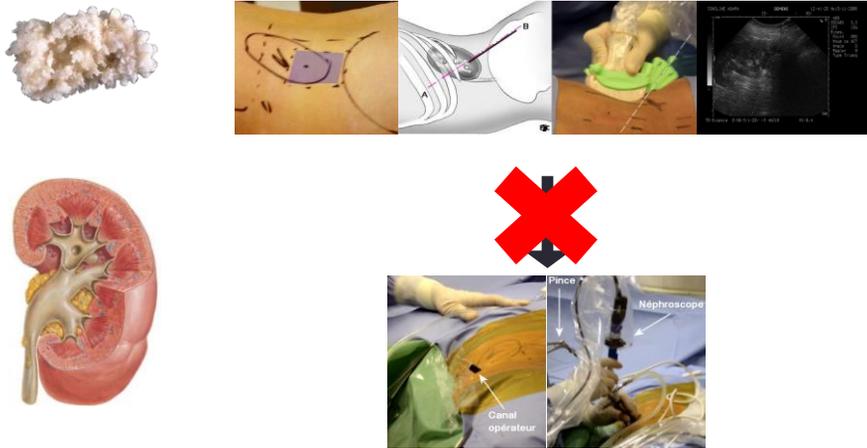
LA VISION DU CLINICIEN

Urologie



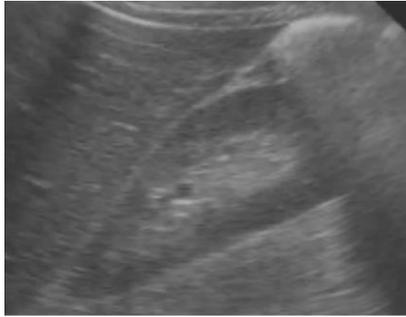
Congrès de la Société Française d'informatique
- 31 Janvier 2018

Chirurgie Percutanée du Rein

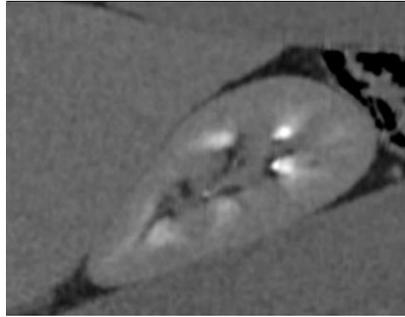


Congrès de la Société Française d'informatique
- 31 Janvier 2018

La demande clinique...



Echographie



Scanner X

Congrès de la Société Française d'informatique
– 31 Janvier 2018

Recherche d'une solution...

- auprès de mes collègues
- dans la littérature scientifique
- sur internet
- contacts de laboratoires de recherche
 - Petit tour de France
 - Jocelyne Troccaz

Congrès de la Société Française d'informatique
– 31 Janvier 2018

Master en 2001

- Travail en binôme avec Antoine Leroy, étudiant PhD en 1^{ère} année (ingénieur ENSIMAG) sous la supervision de Jocelyne Troccaz
- Travaux préliminaires :
 - Ouverture du champ de recherche du recalage iconique
 - Poser les bases d'un dispositif de fusion d'images **échographiques** et **scanner** pour la ponction du rein
- Extension du champ du recalage à la problématique clinique de la prostate
 - Développement d'un système de fusion d'images IRM-Echographie pour les biopsies
 - But : **améliorer** et de **diminuer la morbidité** du **diagnostic** du cancer de la prostate

Congrès de la Société Française d'informatique
– 31 Janvier 2018

Cancer de la prostate (CaP)



71 200
nouveaux cas en 2011



1 homme sur 6 touché
par le cancer de la prostate



27500
Cancers poumon

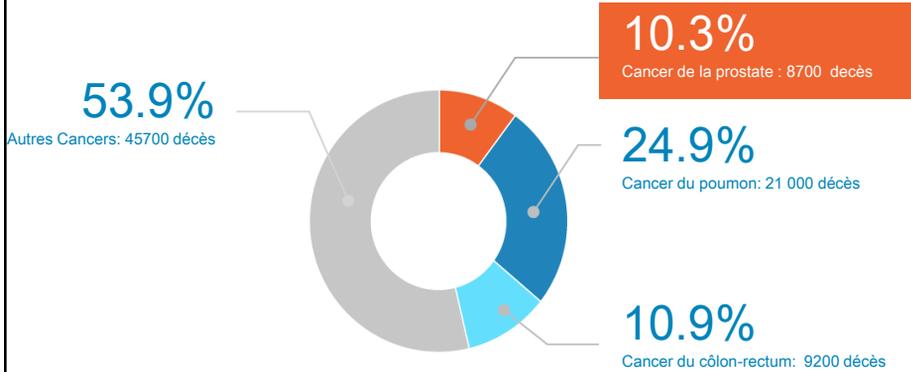


21500
Cancers colorectaux

70 ans
Age médian

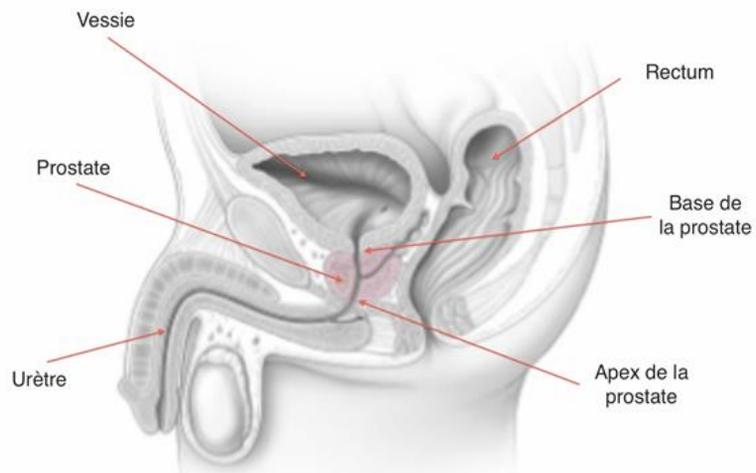
Congrès de la Société Française d'informatique
– 31 Janvier 2018

CaP: 3ème cause de mortalité pour l'homme



Congrès de la Société Française d'informatique
– 31 Janvier 2018

La Prostate



Congrès de la Société Française d'informatique
– 31 Janvier 2018

Le diagnostic du CaP

- La **suspicion** de cancer de la prostate repose sur :
 1. **Toucher Rectal**
 - Peu sensible
 2. Le dosage sanguin du **PSA**, marqueur spécifique:
 - de la prostate
 - Mais pas du cancer
- Le **diagnostic** ne peut être réalisé que par des **biopsies**
- Le traitement:
 1. Surveillance
 2. Traitement de l'ensemble de la prostate par chirurgie ou radiothérapie
 3. De la maladie seulement au sein de la prostate (traitement focalisé)

Congrès de la Société Française d'informatique
– 31 Janvier 2018

Biopsies : Méthode



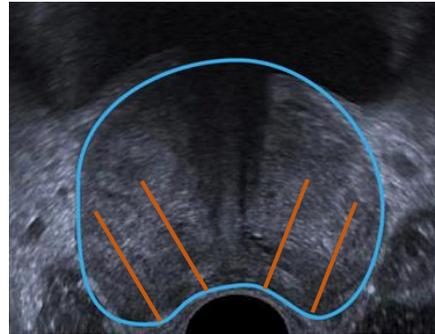
Pronostic du cancer :

1. La taille de la tumeur
2. Le score de Gleason

Congrès de la Société Française d'informatique
– 31 Janvier 2018

Principe des Biopsies de Prostate

- L'échographie ne permet pas de visualiser le cancer mais seulement la forme de la prostate
- Le médecin cherche à répartir en général **une douzaine de prélèvements** dans la prostate

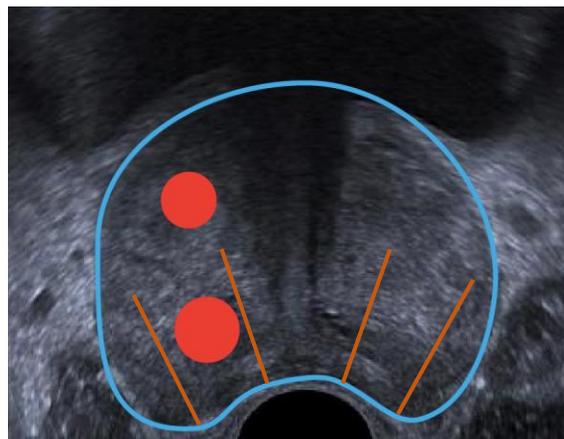


Congrès de la Société Française d'informatique
– 31 Janvier 2018

Biopsies : Inconvenients (1)

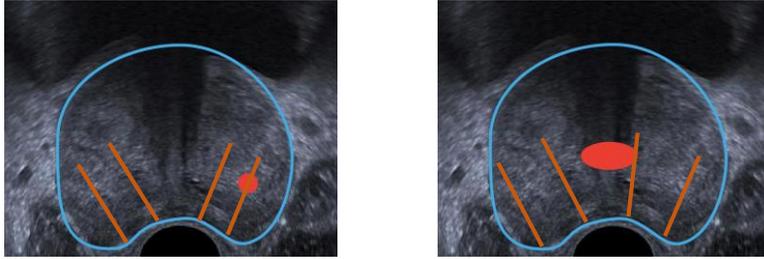
25% des cas

● Tumeurs



Congrès de la Société Française d'informatique
– 31 Janvier 2018

Biopsies : Inconvenients (2)



- Très difficile d'estimer la taille réelle de la tumeur

Congrès de la Société Française d'informatique –
31 Janvier 2018

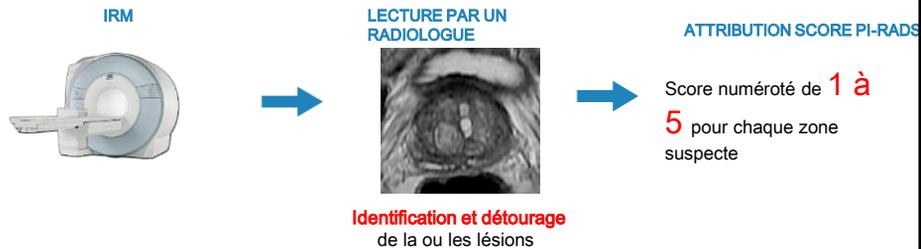
Biopsies : Inconvenients (3)

- Si le résultat est négatif : on ne peut pas éliminer un cancer → Biopsies itératives
- Si le résultat est faiblement positif → le médecin redoute une maladie plus importante → Sur-traitement

Congrès de la Société Française d'informatique
– 31 Janvier 2018

IRM (1)

- L'introduction de l'imagerie IRM a considérablement amélioré la sensibilité et spécificité du diagnostic pour les tumeurs de la prostate à haut risque.



Congrès de la Société Française d'informatique
– 31 Janvier 2018

Méthodes pour biopsier une cible IRM

- « In-Bore »
MRI-TB



MRI-GB

- Fusion IRM-US cognitive
COG-TB



- Fusion IRM-US informatique
FUS-TB



Congrès de la Société Française d'informatique
– 31 Janvier 2018

MRI-TB (“In-Bore”)

- MRI-TB vs TRUS-GB^{*,**}

1. Diminue le taux de détection des CaP bas-risque
2. Diminue le taux de patient nécessitant une biopsie
3. Augmente le taux de détection des CaP de risque intermédiaire et haut –risque



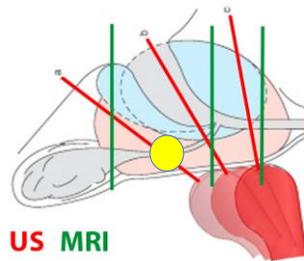
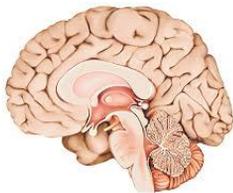
- Temps et coût +++

()** [MRI-Guided In-Bore Biopsy: Differences Between Prostate Cancer Detection and Localization in Primary and Secondary Biopsy Settings.](#)

Schimmöller L, Blondin D, Arsov C, Rabenalt R, Albers P, Antoch G, Quentin M.
AJR Am J Roentgenol. 2016 Jan;206(1)

Congrès de la Société Française d’informatique
– 31 Janvier 2018

Cognitive Fusion



- Expert^{*} / facteur Humain
- Pas de contrôle qualité

(*) [Prostate cancer diagnosis: multiparametric MR-targeted biopsy with cognitive and transrectal US-MR fusion guidance versus systematic biopsy--prospective multicenter study.](#)

Puech P, Rouvière O, Renard-Penna R, Villers A, Devos P, Colombel M, Bitker MO, Leroy X, Comperat E, Ouzzane A, Lemaitre L.
Radiology. 2013 Aug;268(2):461-9

Congrès de la Société Française d’informatique
– 31 Janvier 2018

Dispositifs informatique de Fusion IRM-US

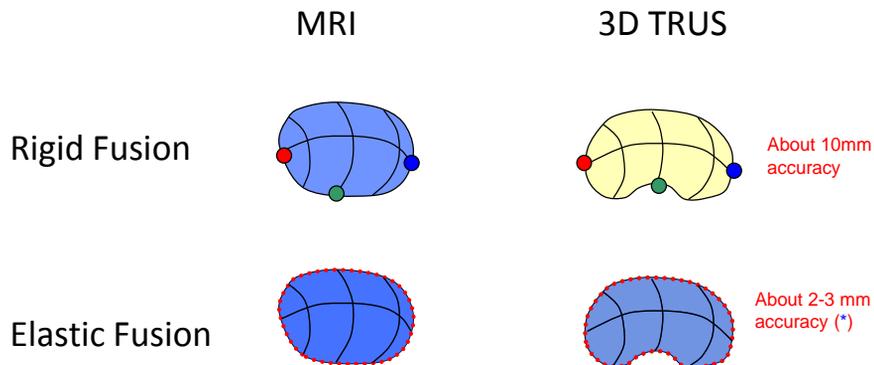
- Deux étapes**:
- 1. Planning
 - Fusion des images IRM dans les images US
- 2. Tracking
 - Suivi de la cible dans les images US

(**) [TRUS-MRI image registration: a paradigm shift in the diagnosis of significant prostate cancer.](#)
Cornud F, Brolis L, Delongchamps NB, Portalez D, Malavaud B, Renard-Penna R, Mozer P.
Abdom Imaging. 2013 Dec;38(6):1447-63

Congrès de la Société Française d'informatique
– 31 Janvier 2018

Phase 1 : MRI-TRUS Fusion

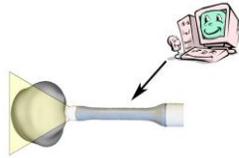
- **Fusion Method :**



Congrès de la Société Française d'informatique
– 31 Janvier 2018

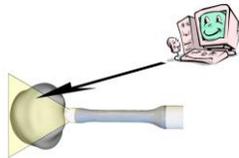
Phase 2 : Tracking

1



- « GPS » PROBE TRACKING
- Based on ultrasound probe position
- **Does Not** take into account :
 - Patient motion
 - Prostate motion and deformation

2



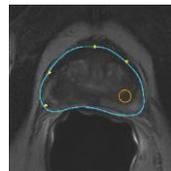
- IMAGE BASED
- Based on organ position in image
- **Does** take into account :
 - Patient motion
 - Prostate motion and deformation

Congrès de la Société Française d'informatique
– 31 Janvier 2018

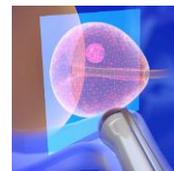
Trinity - Koelis

[\(*\) Prostate biopsy tracking with deformation estimation.](#)

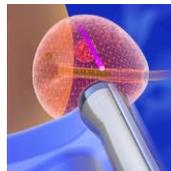
Baumann M, Mozer P, Daanen V, Troccaz J.
Med Image Anal. 2012 Apr;16(3):562-76.



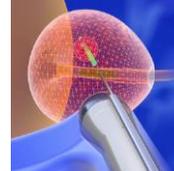
1. Radiologue définit les zones d'intérêt sur IRM



2. Fusion IRM avec l'image échographique 3D



3. Biopsie virtuelle

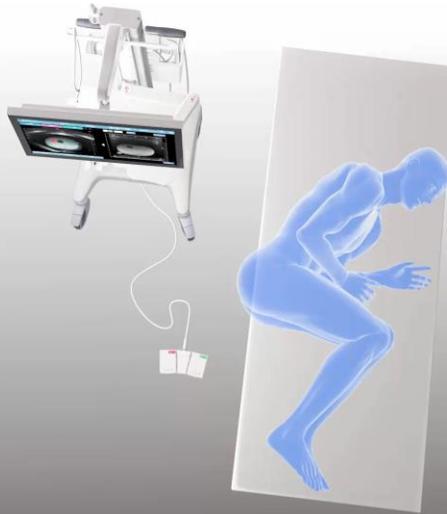


4. Biopsie réelle

- Technologie:
 - Planning : Fusion élastique
 - Tracking : Image Based

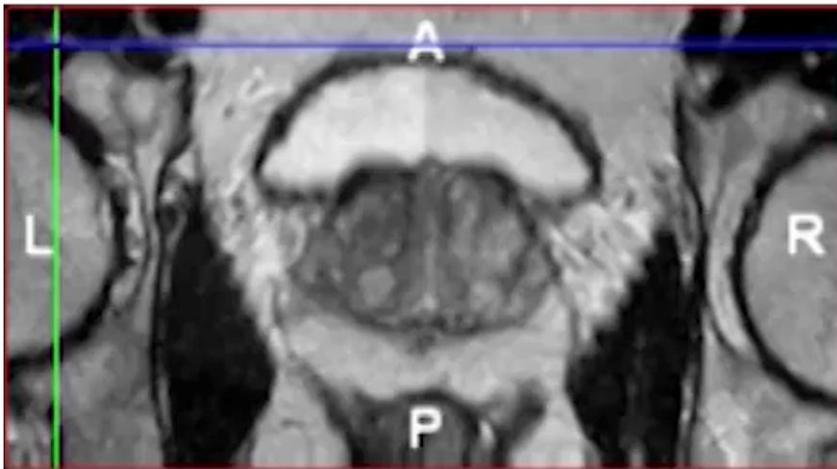
Congrès de la Société Française d'informatique
– 31 Janvier 2018

Trinity - Koelis



Congrès de la Société Française d'Informatique
- 31 Janvier 2018

Trinity - Koelis



Congrès de la Société Française d'Informatique
- 31 Janvier 2018

Utilité clinique

- Ce système a prouvé dans de nombreuses études cliniques:
 - De diminuer le nombre de prélèvements
 - De mieux caractériser l'agressivité tumorale
 - De réaliser un contrôle qualité
 - De guider la thérapie focale

Congrès de la Société Française d'informatique
– 31 Janvier 2018

Le système Koelis dans le monde



Congrès de la Société Française d'informatique
– 31 Janvier 2018

KOELIS APOLLO® PORTE SONDE ROBOTISÉ



Vitrani et al. Prostate biopsies assisted by comanipulated probe-holder: first in man, IJCARS 2016

Conclusion Clinicien

- L'objectif est:
 - de diminuer la morbidité des traitements
 - D'améliorer la qualité de vie
- La chirurgie est un « art » ancien qui peut devenir bien plus moderne par le développement de nouveaux dispositifs informatiques et robotiques
- Il nécessite une collaboration étroite et de longue durée entre les cliniciens et les scientifiques
- Cela reste avant tout une aventure humaine !

Remerciements

- Equipes scientifiques (TIMC-IMAG et ISIR) et labex CAMI
- Equipes cliniques (CHU Grenoble, La Pitié Salpêtrière)
- Patients
- Partenaires industriels
- CNRS, ANR, ANRT, associations et fondations, CancéroPoles, INSERM, INCA, Univ. Grenoble Alpes, Sorbonne Université, Ministères (santé, recherche, industrie), Région Rhône-Alpes, La Métro, Europe et autres financeurs

Congrès de la Société Française d'informatique
– 31 Janvier 2018