INSA
INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES CENTRE VAL DE LOIRE

PRISME
Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche Ingénierie des Systèmes, Mécanique, Énergétique

# La microbotique
## et leurs applications biomédicales

**David Folio**
<david.folio@insa-cvl.fr>

Journée de cohésion
du 04/07/2023

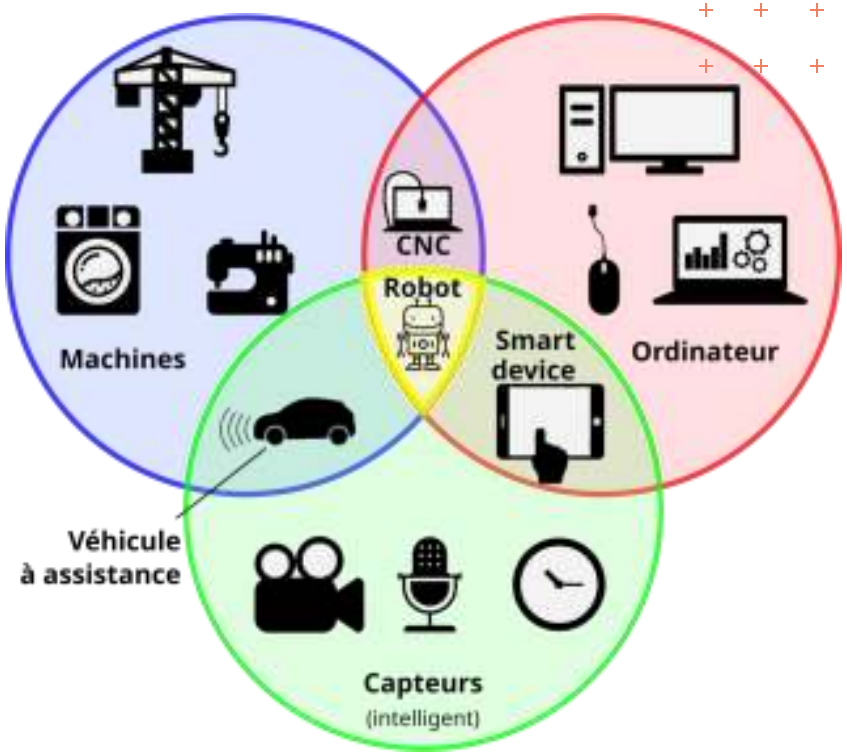
INSA
INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
CENTRE VAL DE LOIRE

# Contexte et enjeux

## De la microrobotique pour le biomédical

# C’est quoi un robot?

- Automatisation vs robotique
  - + Automatisation = «système évoluant avec un minimum d’assistance humaine»




  - + Robotiques
    - Nombreux domaines d’applications (p. ex. médical, industrie, armée, spatial…)

Pas de définition vraiment consensuelle

“I can’t define a robot, but I know one when I see one.”
— Joseph Engelberger (1925-2015),
un père de la robotique…

# La robotique médicale

- Améliorer les techniques et technologies du domaine de l'ingénierie biomédicale
  - **But**: meilleure efficacité, moins invasif, récupération plus rapide, plus précis, etc.

- Depuis les années 80: la robotique est au service de la santé et du biomédicale
  - Robot chirurgical (p. ex. da Vinci)
  - Robot d'assistance (p. ex. aides à la personne)
  - Téléopération (traitement distant patient/expert)
  - etc.

Nécessité de *descendre plus bas*, *d'aller plus loin* et *plus près*…
vers les **domaines micro et nano** (robotique)

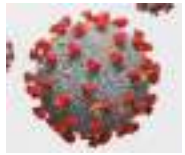
# Domaines Nano < **Micro** < Meso (macro)

- Micro
  - + Du grecque mikrós  signifiant «petit»
  - + Préfixe d'unité ($10^{-6}$)

(bio)MEMS

Lab-on-chip

**Nanorobotique** | **Microrobotique** | **Microchirurgie**

| 0.1nm | 1nm | 10nm | 100nm | 1µm | 10µm | 100µm | 1mm | 10mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | |  | | | | | | |
| Atome | ADN | CNT | Virus (SARS-CoV-2) | Bactérie (e coli) | Globule rouge | Cheveu | Céllule (ovocyte) | Implant (auditif) | Capsule endoscopique |

+ Modalité de perception:

**Imagerie médicale** (CT, IRM, US…)

**AFM, STM** | **Microscopie optique**

**Microscopie électronique** (MEB/MET)

+ Dynamique (physique)

Effet quantique | Effet surfacique | Effet volumique

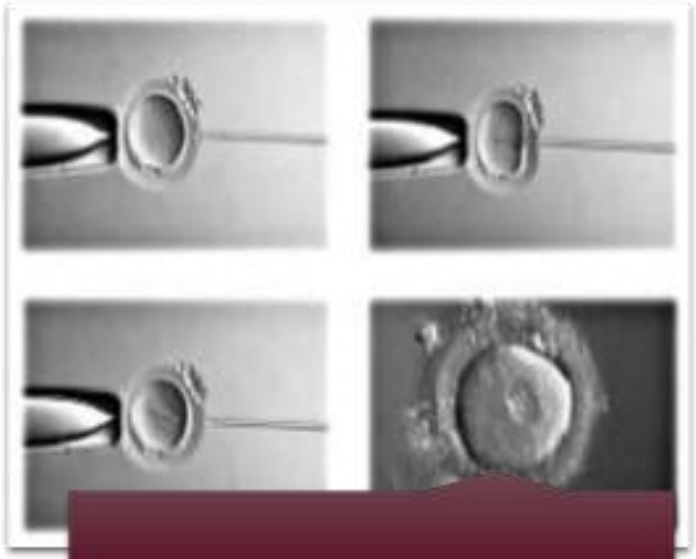
# Vers la microrobotique biomédicale

- Historique:
  - Origine: 1959, conférence de Richard P. Feynman: «There is plenty of room at the bottom»
  - Années 80: premières explorations
  - Années 90: progrès des techniques de microfabrication
  - XXI$^{ème}$ siècle: les 1$^{ères}$ applications

- Microrobotique problématique **fortement**
  - **Multiphysique**: mécanique (du solide, des fluides…), électromagnétisme, chimie…
  - **Pluridisciplinaire**: robotique, automatique, informatique, traitement d'images/signals, IA…

# Vers la microrobotique biomédicale

- Domaines d'applications majeures



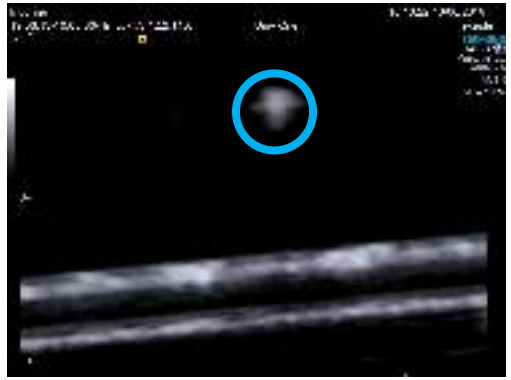
**Micromanipulation**

**Caractérisation biologique**

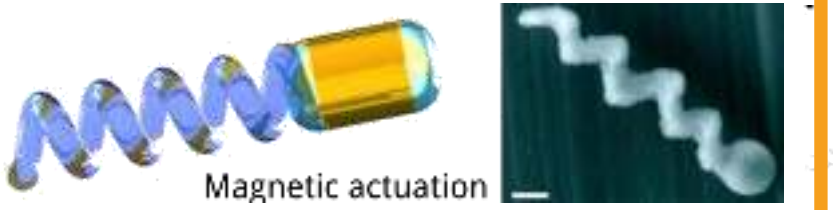
**Thérapie ciblée**

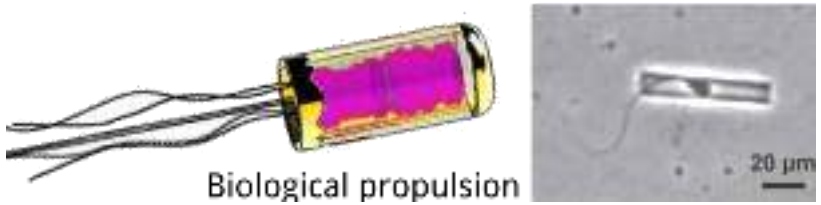
# Microrobots pour le ciblage thérapeutique

- Conception des microrobots
  - + Techniques de microfabrication (e.g. process microélectroniques, MEMS…)
  - + Externalisation
    - Contrôle → à distance
    - Perception → modalité d'imagerie (médicale)



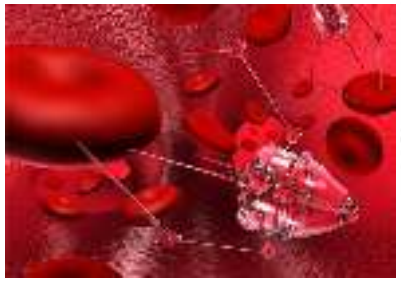
    - Actionnement/énergie:






Structure classique des robots

| |
|---|
| Perception / Localisation |
| Contrôle / Décision |
| Actionnement |
| Énergie |



??

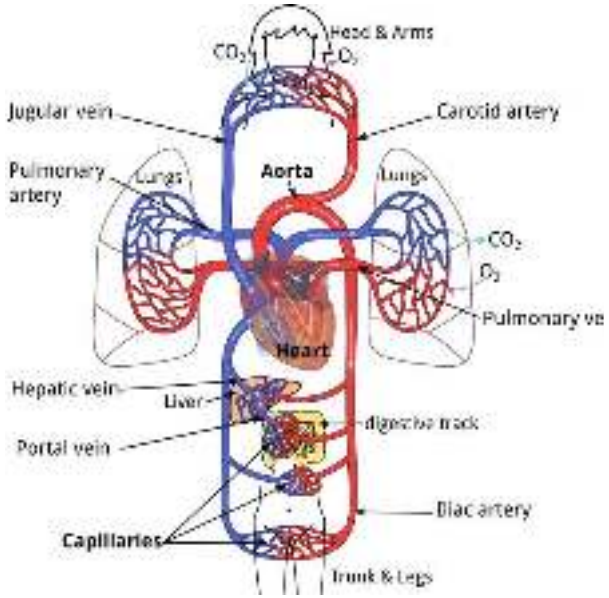
Difficile à reproduire aux échelles micrométriques...

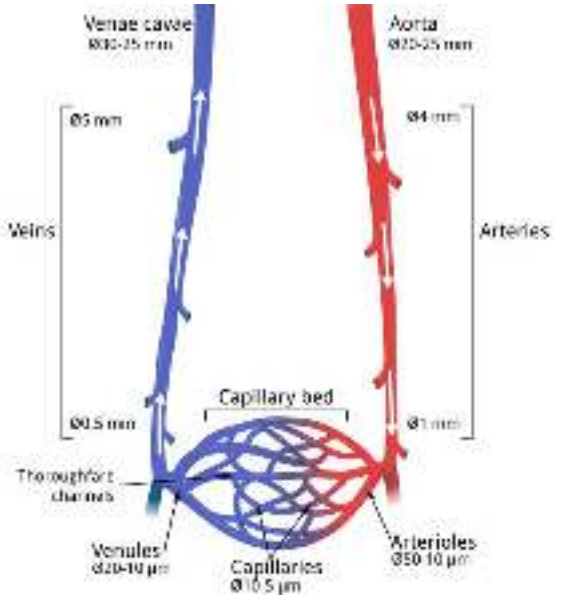
# Microrobots pour le ciblage thérapeutique

- De (très) nombreux enjeux

## + Challenges

- Conception, fabrications, materiaux…
- Stratégie d'actionnement et de commande
  (pb. environnement fortement dynamique et variable)
- Modalité d'imagerie (médicale)
- Navigation *in vivo* et franchissement des barrières biologiques




## + Opportunités

- Télémétrie (p. ex. capteurs, marqueurs, électrodes… *in situ*)
- Prélévement de tissu (p. ex. biopsie, ablation…)
- Thérapie ciblée (p. ex. administration de médicament, curiethérapie, hyperthermie…)
- Structure controllable (p. ex. stent, occlusion…)

INSA
INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
CENTRE VAL DE LOIRE

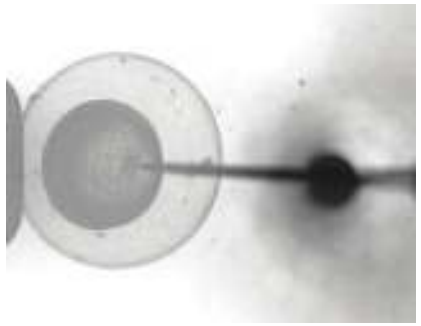
# La microbotique à l'INSA Centre Val de Loire

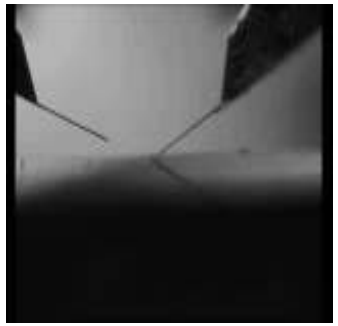
## Les microrobots magnétiques pour le ciblage thérapeutique

# Microrobotique biomédicale

- Équipe: 3 enseignants-chercheurs
  - + Direction Prof. A. Ferreira
  - + ~10 thèses

- 2 Domaines d'activité:
  - + Micromanipulation
    - p. ex. injection intracytoplasmique de spermatozoïde (ICSI)



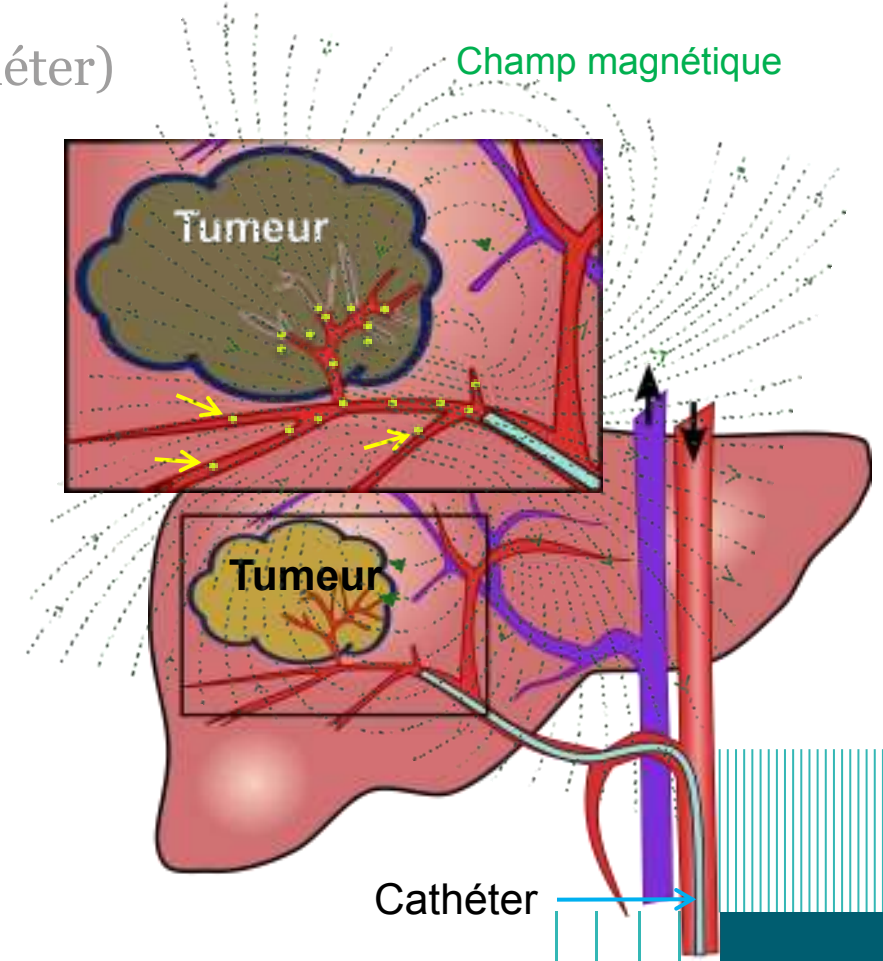


  - + Ciblage thérapeutique
    - Début: ~2008
    - projet européen NANOMA (FP7 ICT 2007.3.6, Micro/nanosystems)

    - Autres projets: Nano-IRM, PHC PROCORE,PHC PROCOPE, MicroRob, US Prob, MTG, BUBBLEBOT…
    - Coopérations/Partenariats
      - MSRL - ETH Zurich (Suisse), AMiR- Oldenburg Univ. (Allemagne), MAE - CUHK (Hong-Kong)…

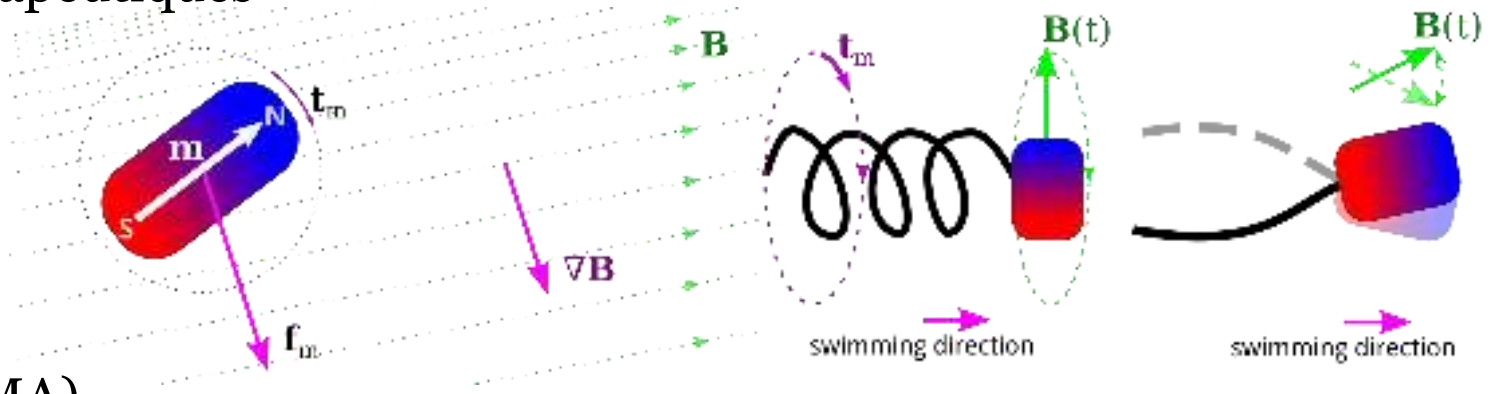
# Ciblage thérapeutique

- **Exemple d'application**: traitement du cancer
  - + Objectif: délivrance d'agent thérapeutique via le systèle cardio-vasculaire (e.g. par un cathéter) sur le site tumoral (ici le foie)
  - + Approches conventionnelles
    - TACE: chimio-embolisation intra-artérielle
    - TARE: radio-embolisation intra-artérielle
    - Pb.: une partie du principe actif attaque les tissus sains (effets secondaires indésirables)
  - + Enjeux pour la microbotique:
    - Amélioration du dépistage (p. ex. imagerie, diagnostique…)
    - Amélioration du ciblage
      - Notre contribution: guidage magnétique → **microrobot magnétique thérapeutique**

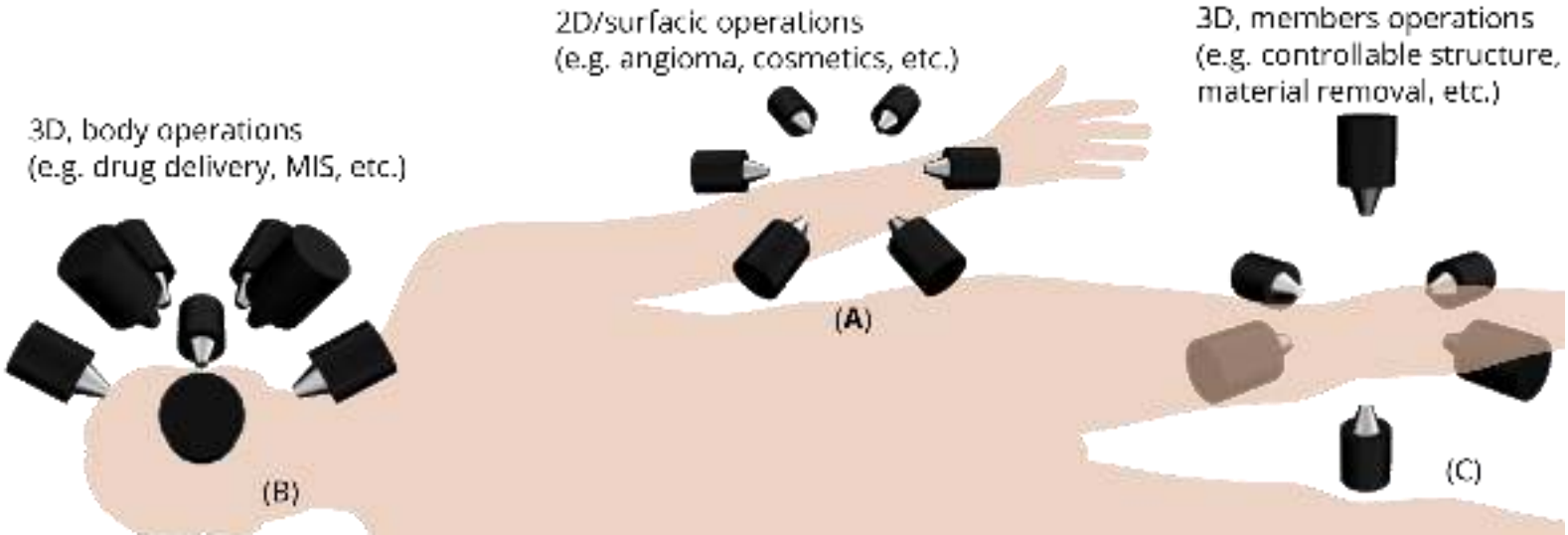


# Ciblage thérapeutique

- Nos outils
  - + Microrobots magnétiques thérapeutiques
    - Différentes forme de mobilité




  - + Actionnement magnétique (EMA)
    - Ensemble de bobines electromagnétiques → différentes configurations possibles



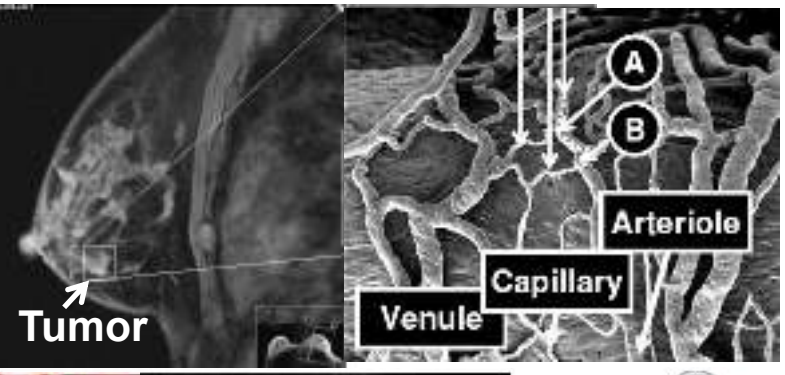
# Ciblage thérapeutique

- Méthode

Diagnostic
(type de pathologie)

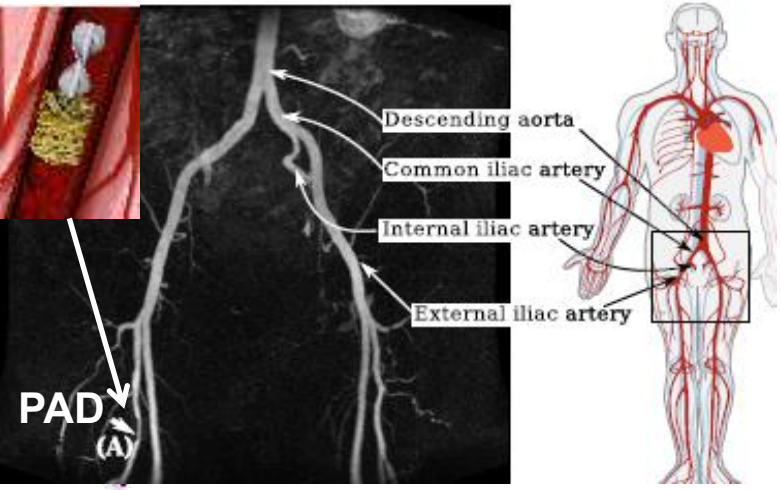
Modélisation
(compréhension du milieu)

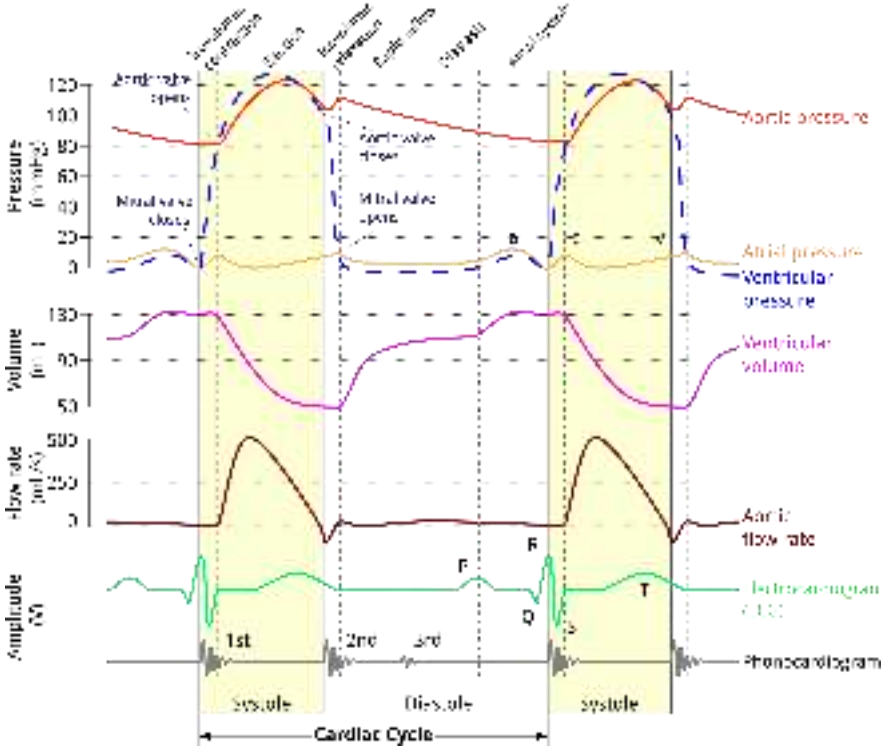
Planification
(meilleurs voies de navigations)

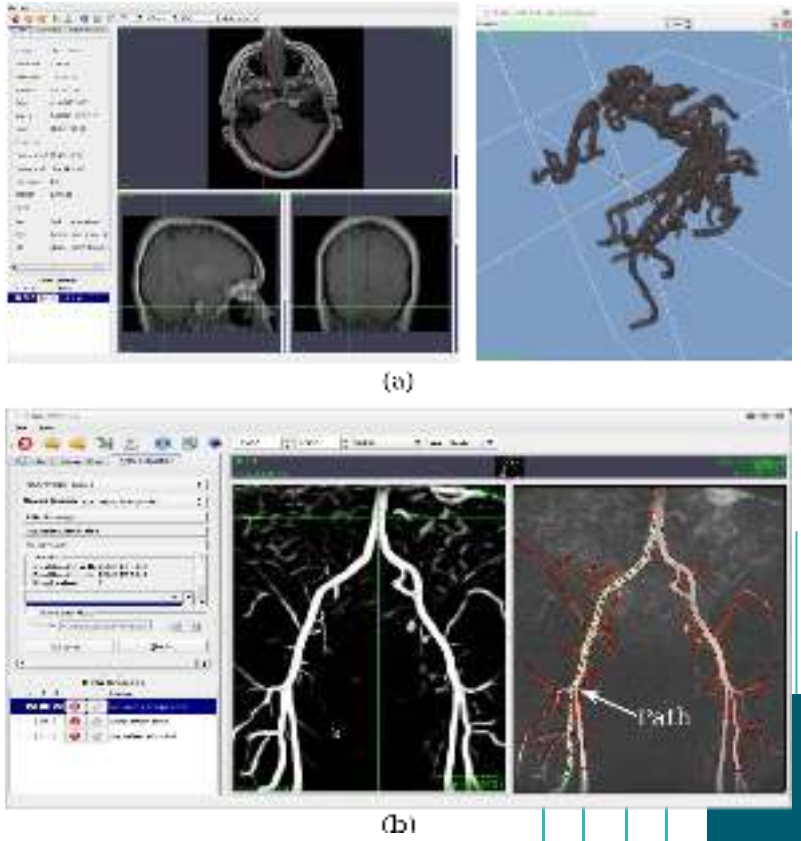








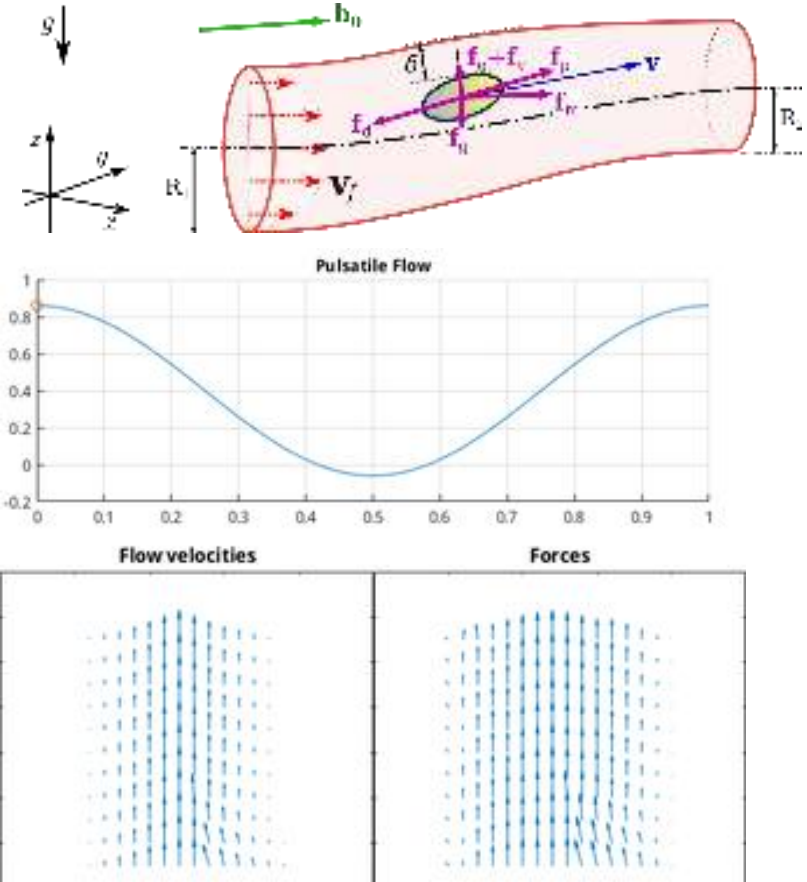
# Ciblage thérapeutique

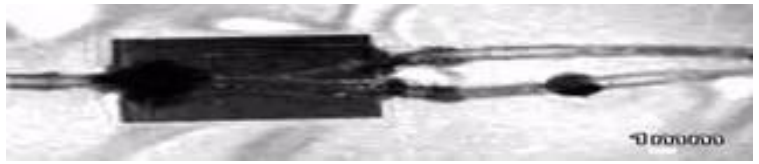
- Méthode

Modélisation (dynamique)

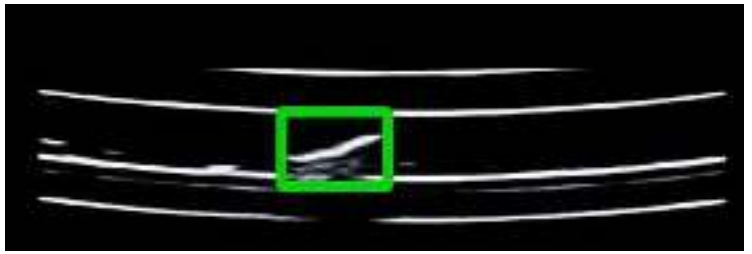
Suivi (perception, observation)

Contrôle

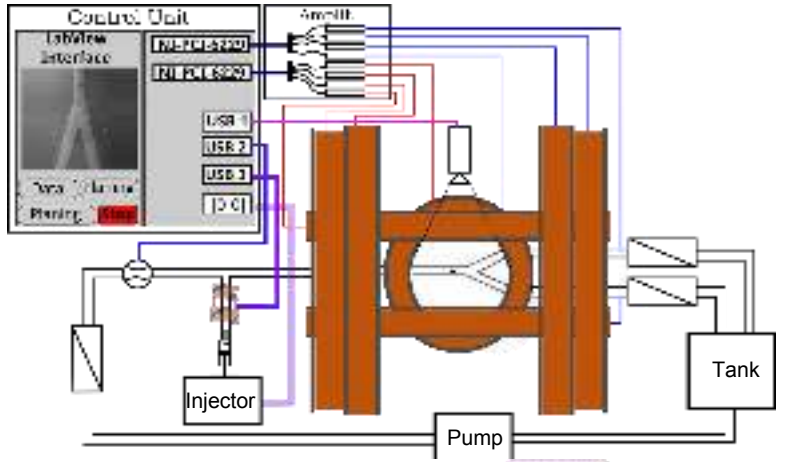


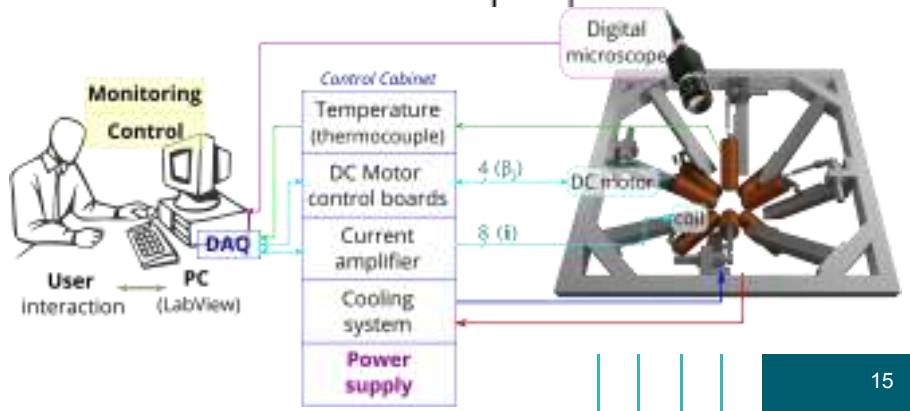



IRM



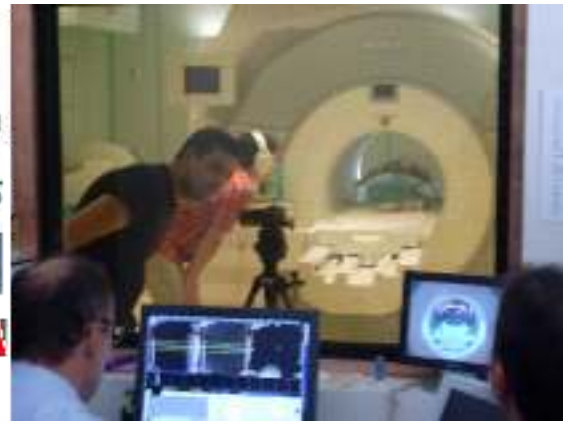
US

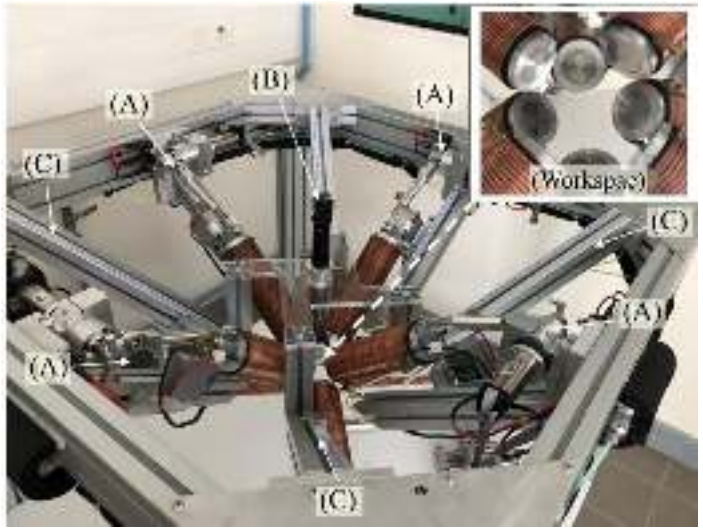


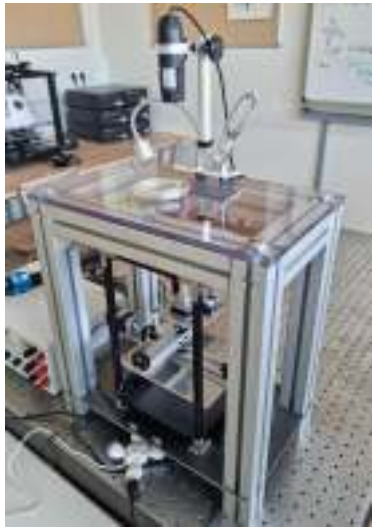



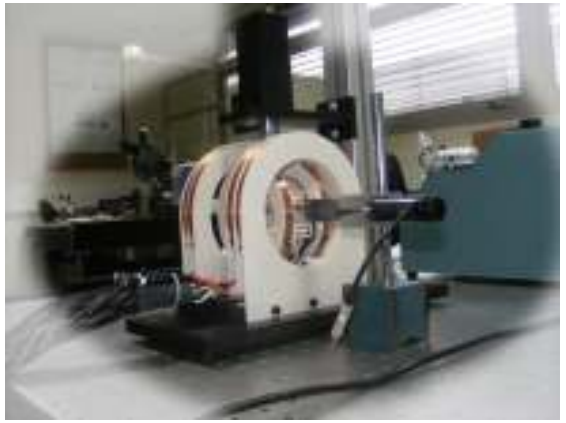
# Nos plateformes expérimentales

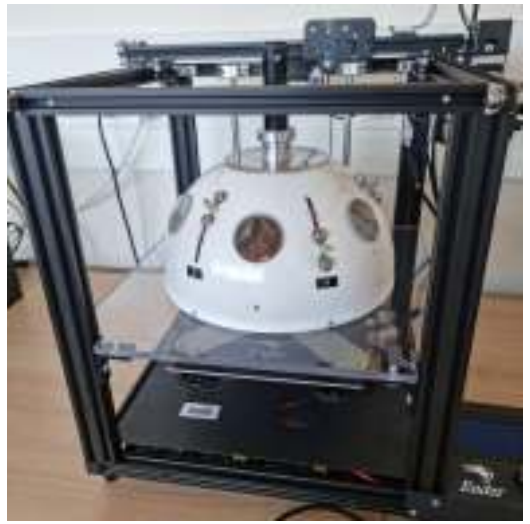
- Guidage magnétique des microrobots thérapeutique







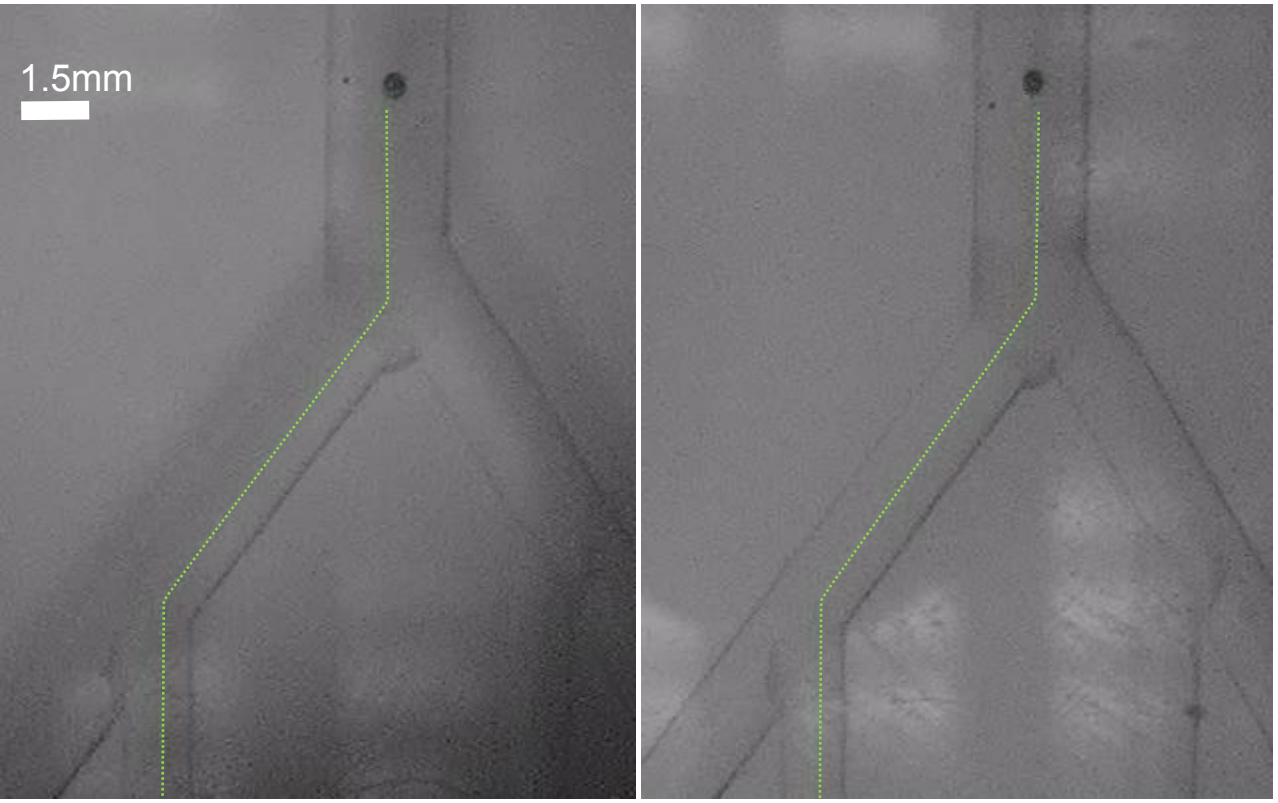




# Preuves de concepts

- Quelques exemples de résultats

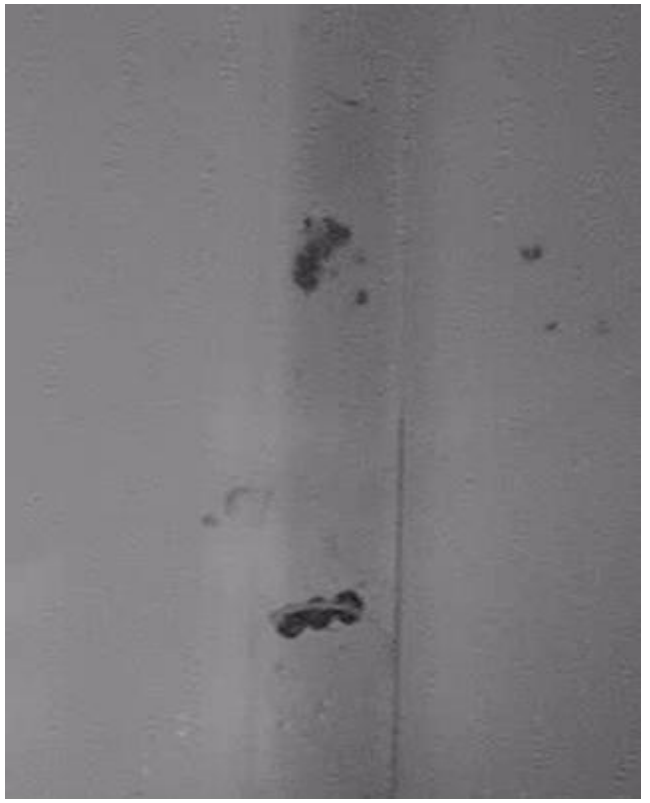
Navigation dans des «*phantomes vasculaires*»



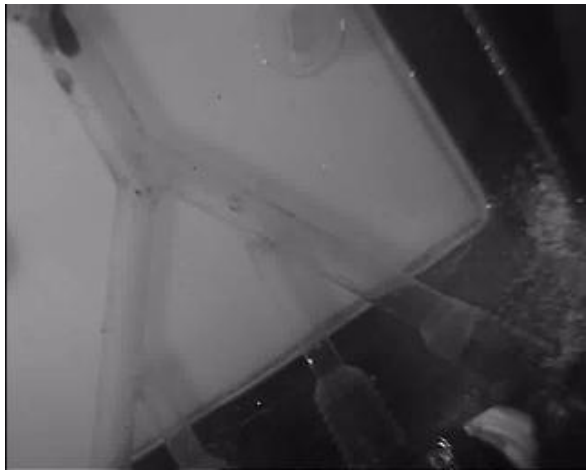

Vitesse moyenne du flot pulsatile:

$< v_f >= 2$ mm/s $< v_f >= 10$ mm/s

Nettoyage



Rupture



Embolie

INSA
INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
CENTRE VAL DE LOIRE

# Conclusion et Perspectives

## Les microrobots magnétiques pour le ciblage thérapeutique

# Conclusion

- Microrobotique biomédicale
  - + Discipline (relativement) récente
  - + Pas simple de passer du «macro» au «micro»
  - + Pas (si) simple de passer du «micro» au «nano»

  - + De nombreux enjeux, challenges et opportunités
    - Résultats très encourageants et très prometteurs
    - … mais peu de validation *in vivo*
    - (très) Difficile de voire '*petit*' et '*profond*'

  - + Grand potentiel pour proposer des solutions innovantes à la médecine de demain

# Perspectives

- Amélioration des microrobots biomédicaux

  + Renforer l'acceptabilité, la robustesse, la reproductibilité…
    - Validation clinique

  + Passage du «micro» au «nano»
    - Utilisation de source/forme d'énergie complémentaire (p. ex. chimique, accoustique…)

  + Mieux contrôler, percevoir et observer les microrobots dans le corps humain
    - Ameliorer la résolution de l'imagerie médicale (p. ex. multimodalité)
    - Coordination du suivi des microrobots et de l'actionnement (p. ex. magnétique)

- Vers de nouvelles applications biomédicales

# Au-delà de la microrobotique médicale

- Prendre en compte des défis juridiques, éthiques, techniques et environnementaux

  + Dés la conception (autant faire se que peut)
    - Choix des matériaux: biocompatible, biodégradable…
    - Choix des méthodes, algorithmes…
    - Validation par les autorités de sureté

  + Niveaux d'autonomie croissants des microrobots (e.g. usage de l'IA)

INSA
INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
CENTRE VAL DE LOIRE

# Merci de votre attention

## Des questions?

**Contact: David Folio** <david.folio@insa-cvl.fr>