

Integrated Actuators Laboratory (LAI)

Prof. Yves PERRIARD

ELECTROTECHNIQUE I



The Roots of Microengineering

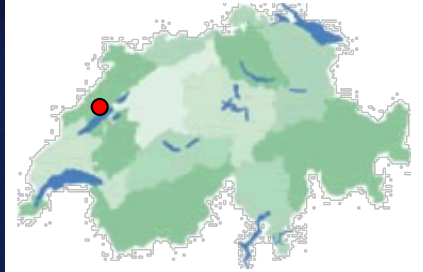
The Automata of Jaquet-Droz (1768 and 1774)



The Writer
(6000 pieces)

The Musician
(2500 pieces)

The Draughtsman
(2000 pieces)



Marie-Antoinette
1827



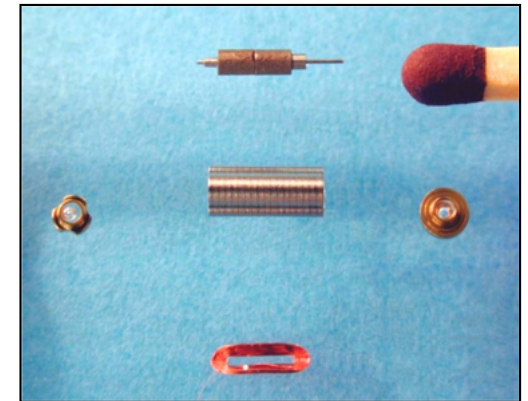
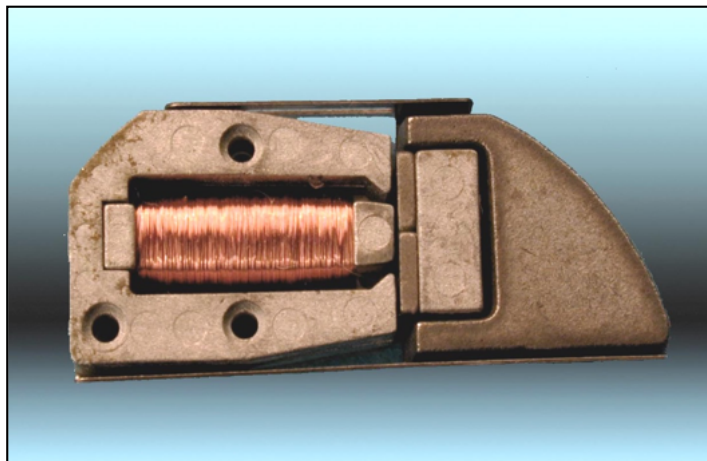
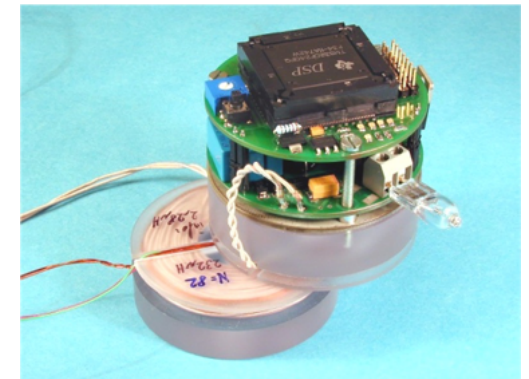
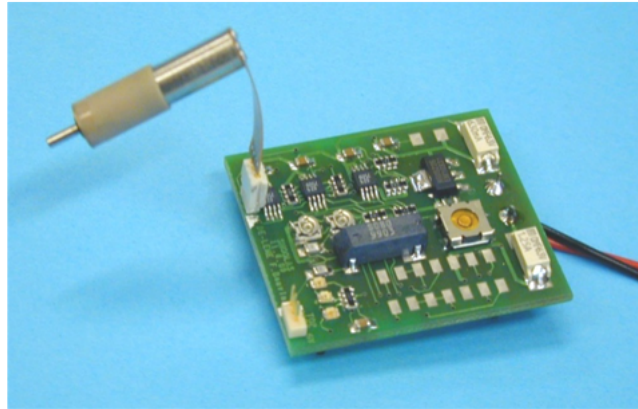
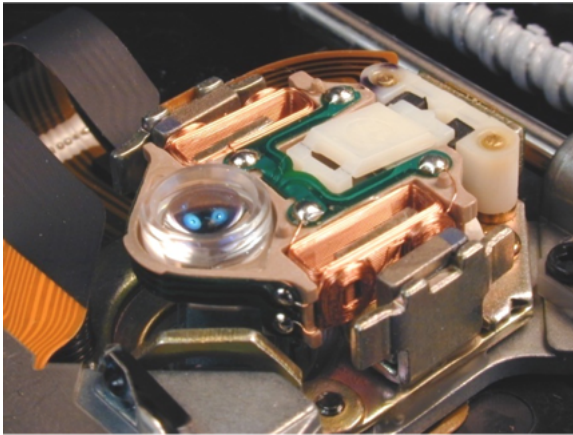
- A.-L. Breguet (1747-1823)** born in Neuchâtel. Some of his inventions:
- Successful self-winding perpetual watches
 - Introduction of the gongs for repeating watches
 - First shock-protection for balance pivots

EPFL – Neuchâtel – 250 personnes

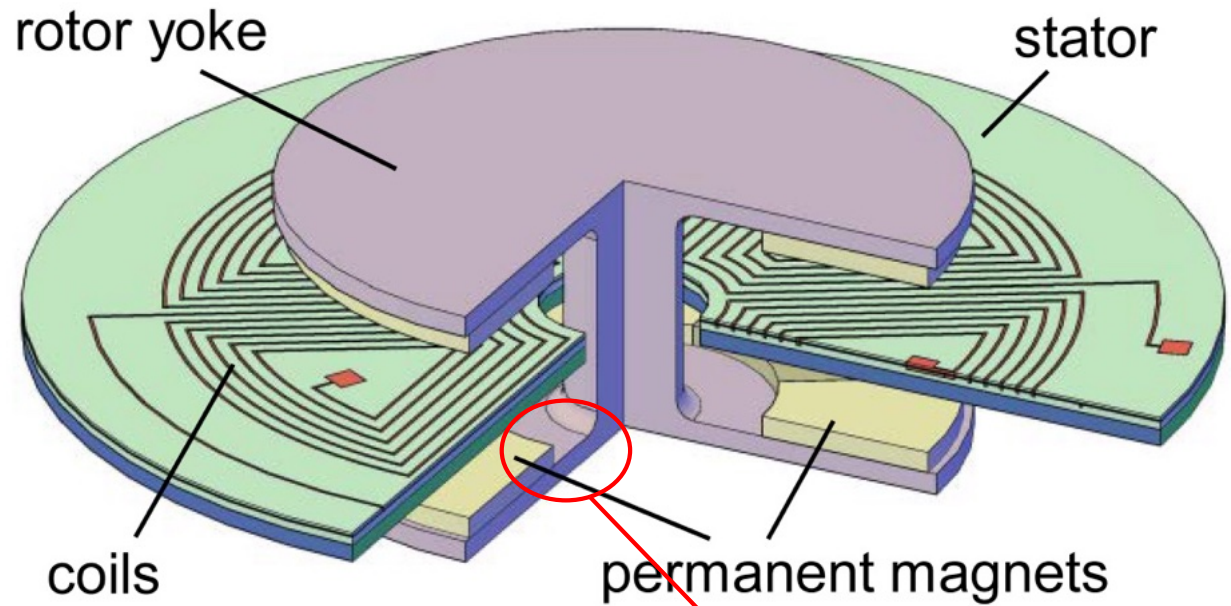
12 laboratoires – IMT Microtechnique



LAI Laboratoire d'Actionneurs Intégrés

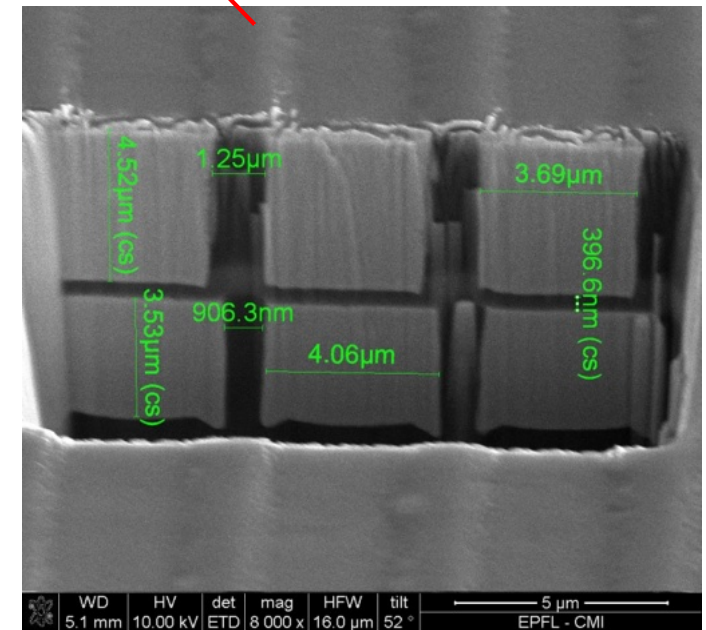
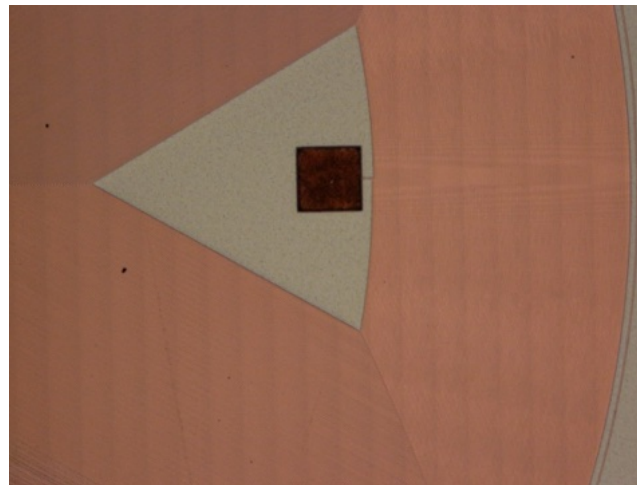


MEMS GENERATOR



KEY FEATURES:

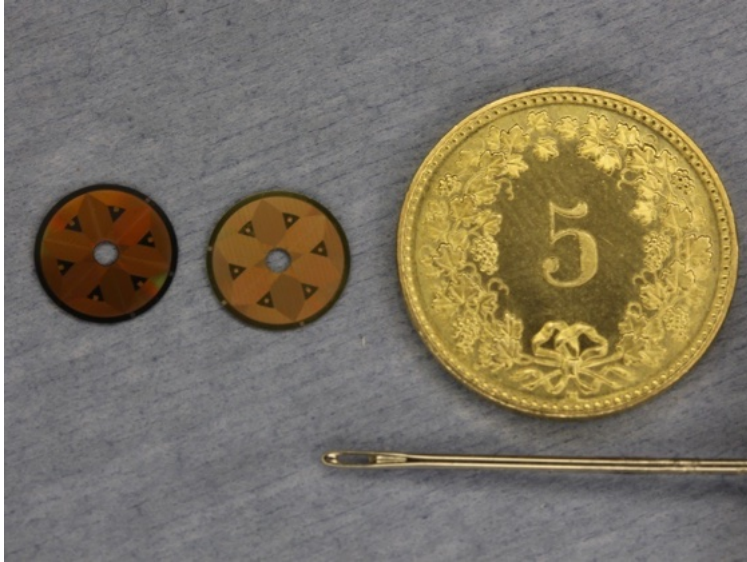
- ❑ 1-phase, axial flux
- ❑ 3 magnetic pole pairs
- ❑ 2-layer planar coils (~160 turns per coil)
- ❑ High electromagnetic coupling ($k_{\phi} = 0.0018 \text{ V.s}$)



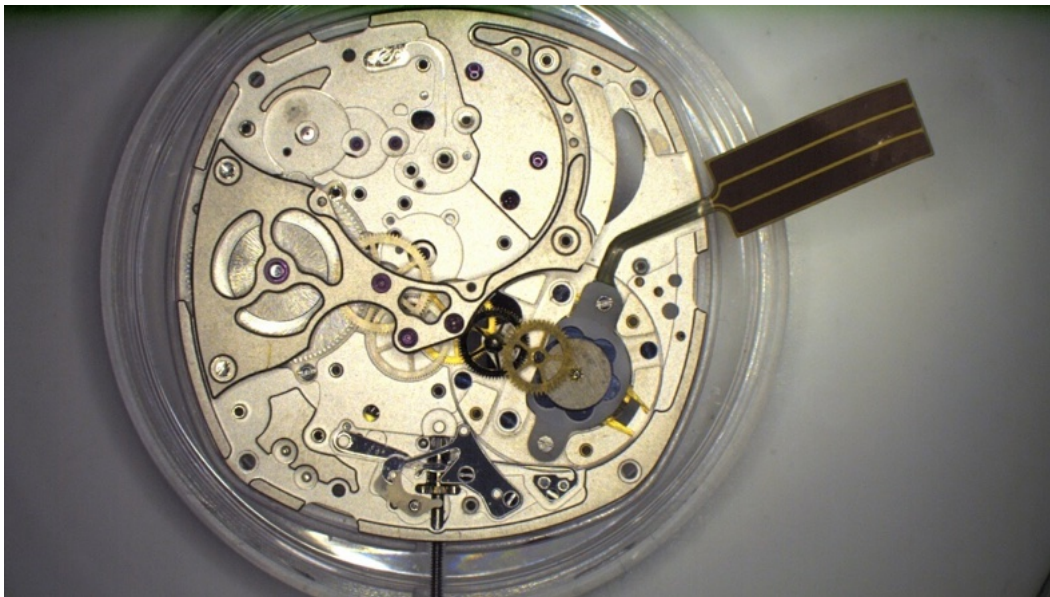
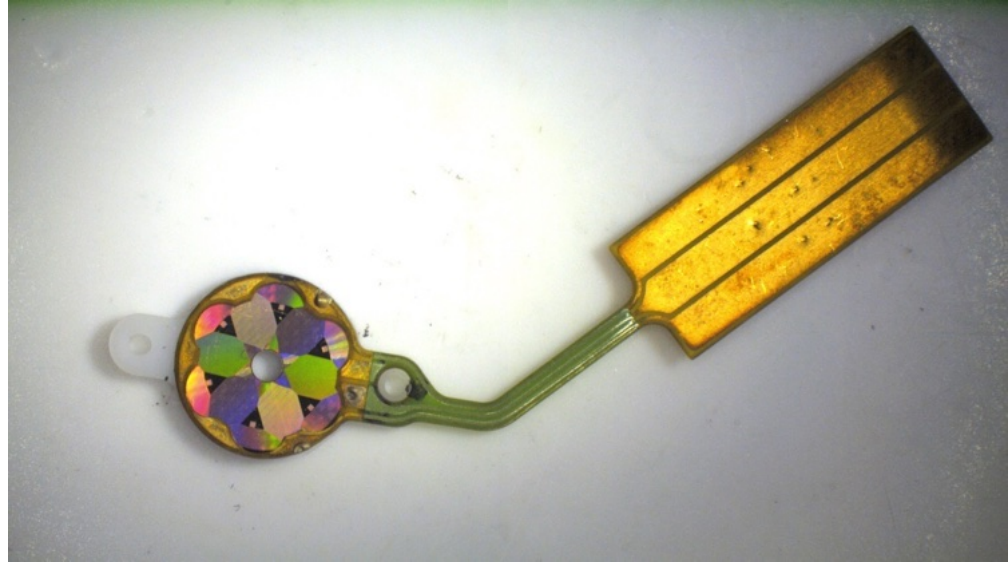
FINAL PROTOTYPE

Completed stator

Total thickness: 80 μm

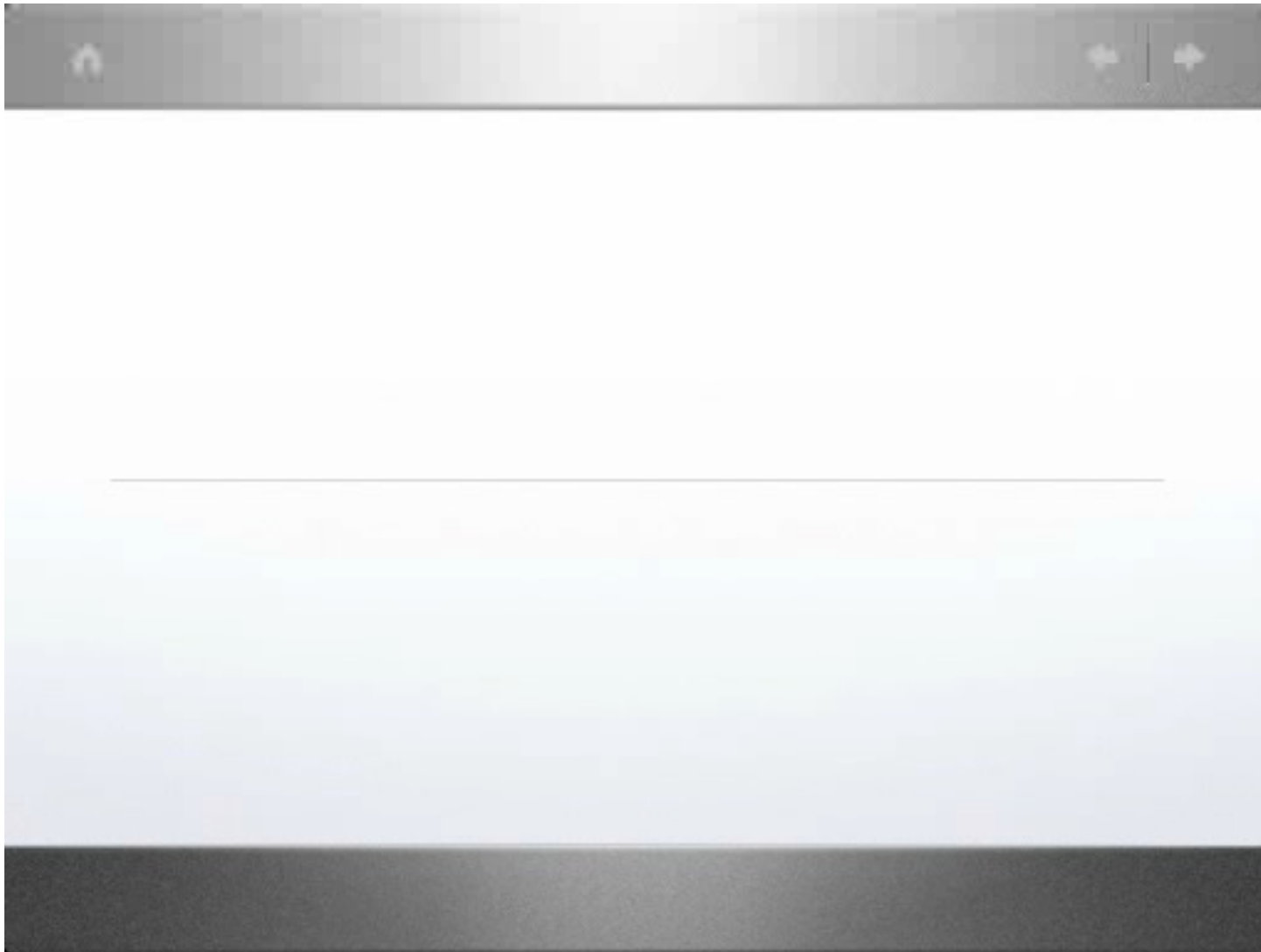


Assembly on flexible PCB



Implementation in the movement

Rendement de plus de 45% ! Soit une durée de vie de la batterie passant de 2 ans à 6 ans ...



Smart Gripper

Objective

Replacement of Pneumatic gripper

*Conception of a **miniaturized Bistable gripper**
for clean-room applications*

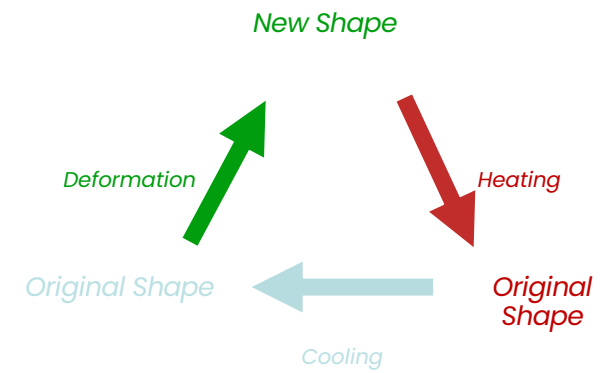


Schunk Gripper

Smart Material

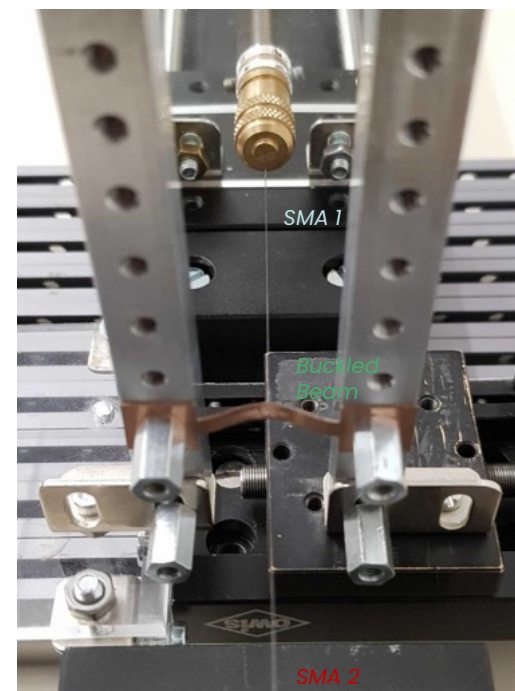
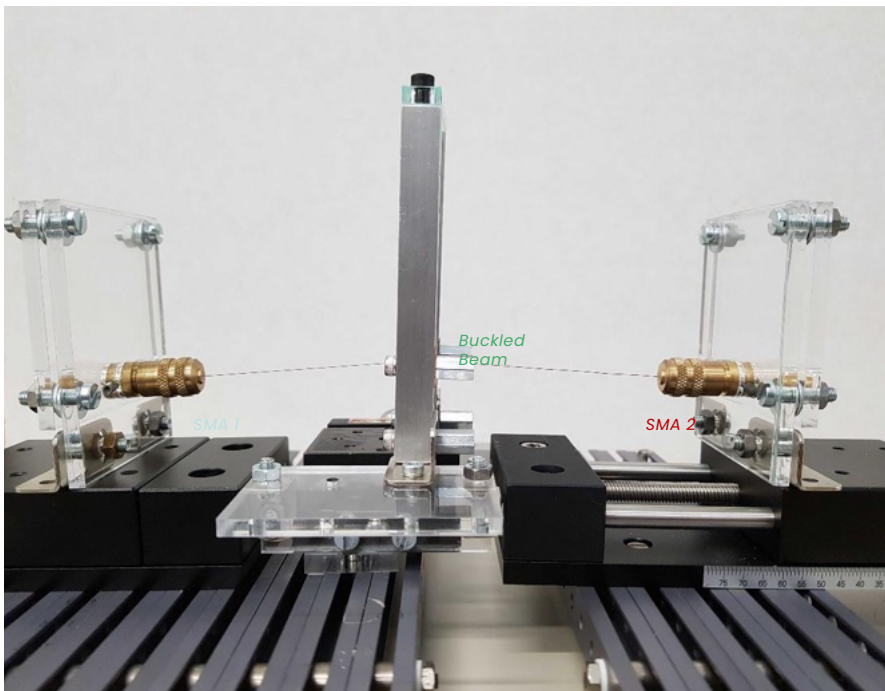
Shape Memory Alloy

NITINOL EXPERIMENTS



Design

SMA-Buckled Beam Experimental Setup

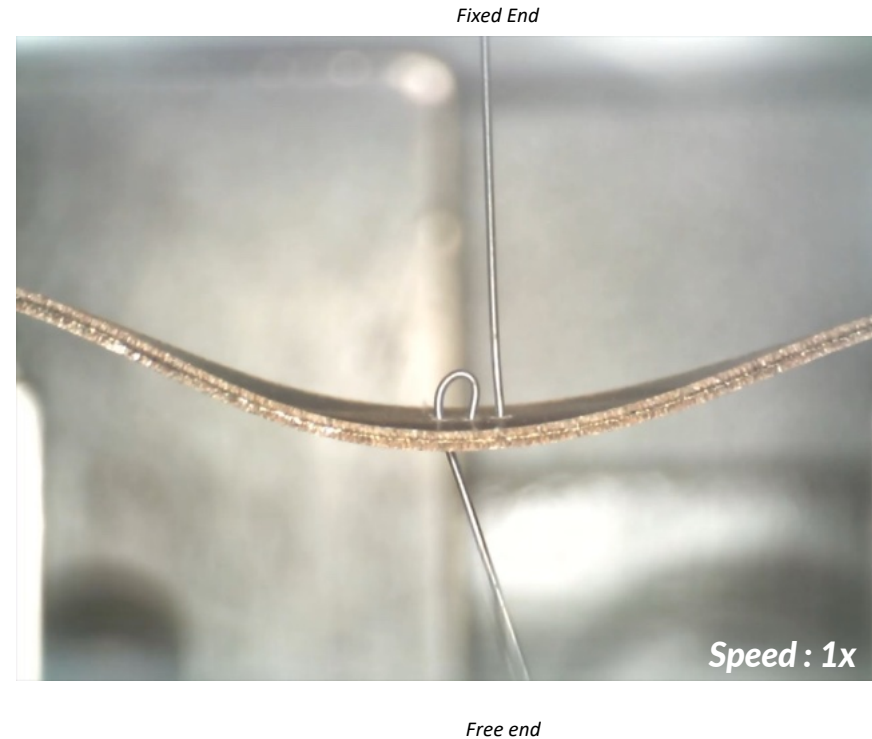


**Slanted wire position has been corrected in current iteration*

Actuator Setup

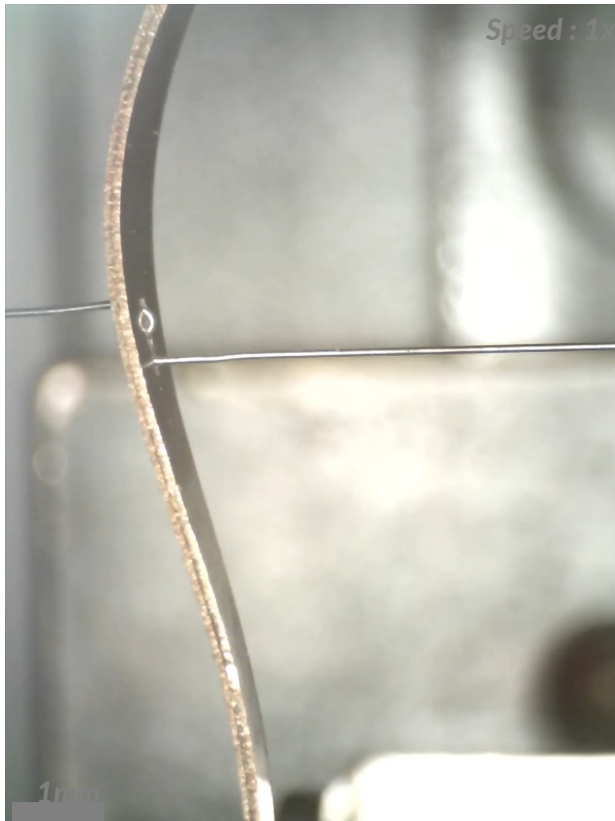
Single SMA-Buckled Beam

- SMA attached to Buckled beam only on one side
- SMA wire is heating using a 300mA current
- Buckled beam switches as the SMA retracts
- Buckled Beam Dimensions :
 - 20x3x0.22 mm
- SMA Dimensions :
 - Length : 10 cm
 - Diameter : 0.15 mm



Actuator Setup

Dual SMA-Buckled Beam Test



- Agonistic-Agonistic switching of SMA is observed
- Buckled Beam stabilises in an intermediate position
- In this case, the beam is under-dimensioned
- Total stroke : 3.5 mm
- Switching force : $> 10\text{N}$

Actuator Setup

Dual SMA-Buckled Beam Test



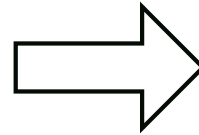
- Rapid activation of the SMA in short bursts
- Buckled beam is not undergoing switching
- Shows the possibility of more precise control

3D printed coils and motor topology using Algorithmic Design



[1]

Shape of the coil limited by current manufacturing process



[2]

Additive manufacturing technologies provide more freedom on the topology

Find novel winding topologies to improve electrical machines performances

■ Algorithmic design

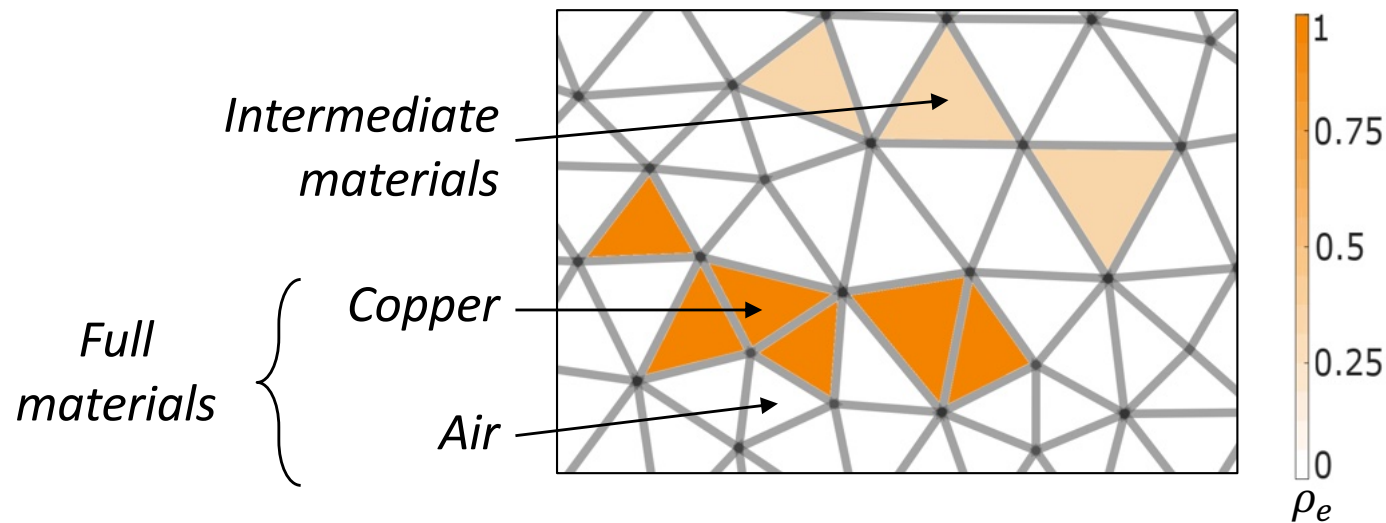
- Formulated as an optimization problem
- Investigate distribution of material in a discretized space



[3]

Topology Optimization: Density-based

- Design variables: artificial densities ρ_e of element e
 - Continuous: $0 < \rho_{min} \leq \rho_e \leq 1$

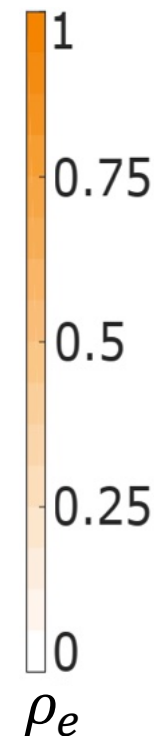
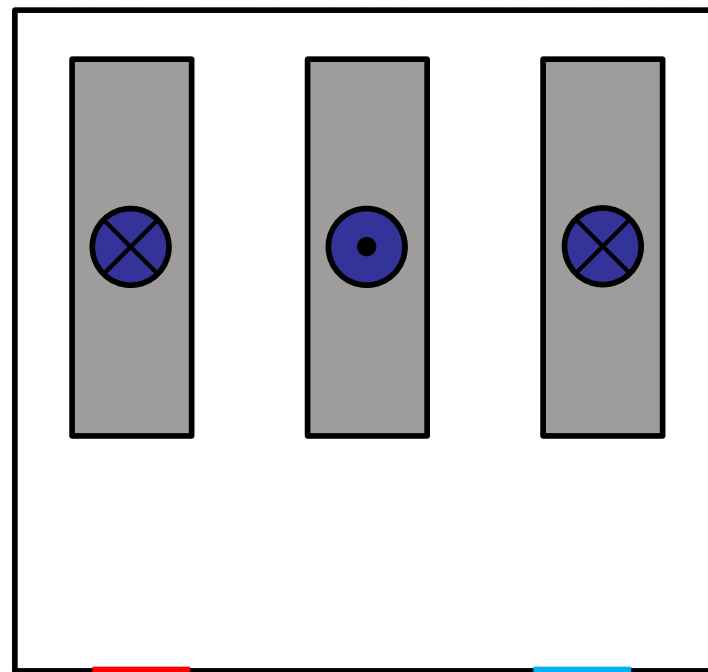


- Final topology should be discrete → Penalization of intermediate materials

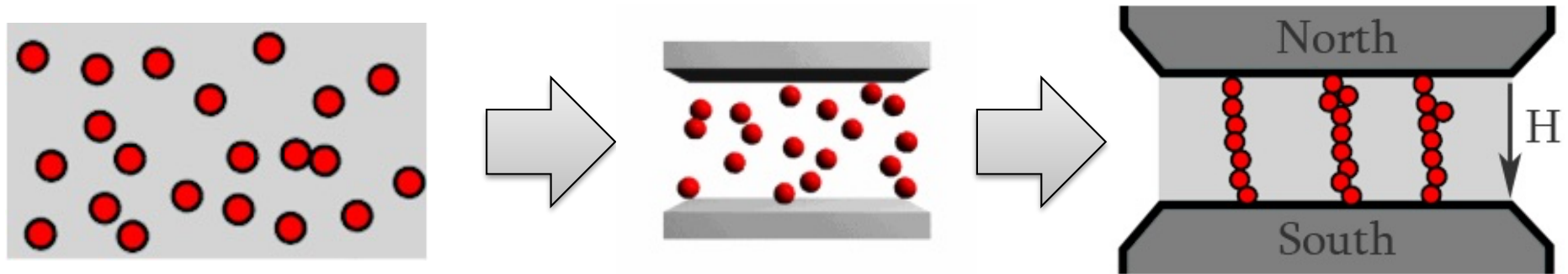
Multiple teeth problem (video)

- Number of design elements: **7388**
- Number of ROI elements: **2712**
- Full run time: **15 minutes**

Video accelerated 30 times → 30sec



Fluide Magnetorheologique (MRF)



**Sachiko Kodama, Yasushi Miyajima, "Morpho Towers"*

Magneto-Rheological fluid for Diabetic foot

Magneto - Rheological

Maxwell's equations (1865) – Integral form

1. Gauss' law for electricity: $\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \frac{q_{encl}}{\epsilon_0}$
2. Gauss' law for electricity: $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0$
3. Faraday's law of induction: $\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$
4. Ampère's law: $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} + \mu_0 i_{encl}$

Rheology – Bingham's definition (1920)

"The study of the deformation and flow of matter"

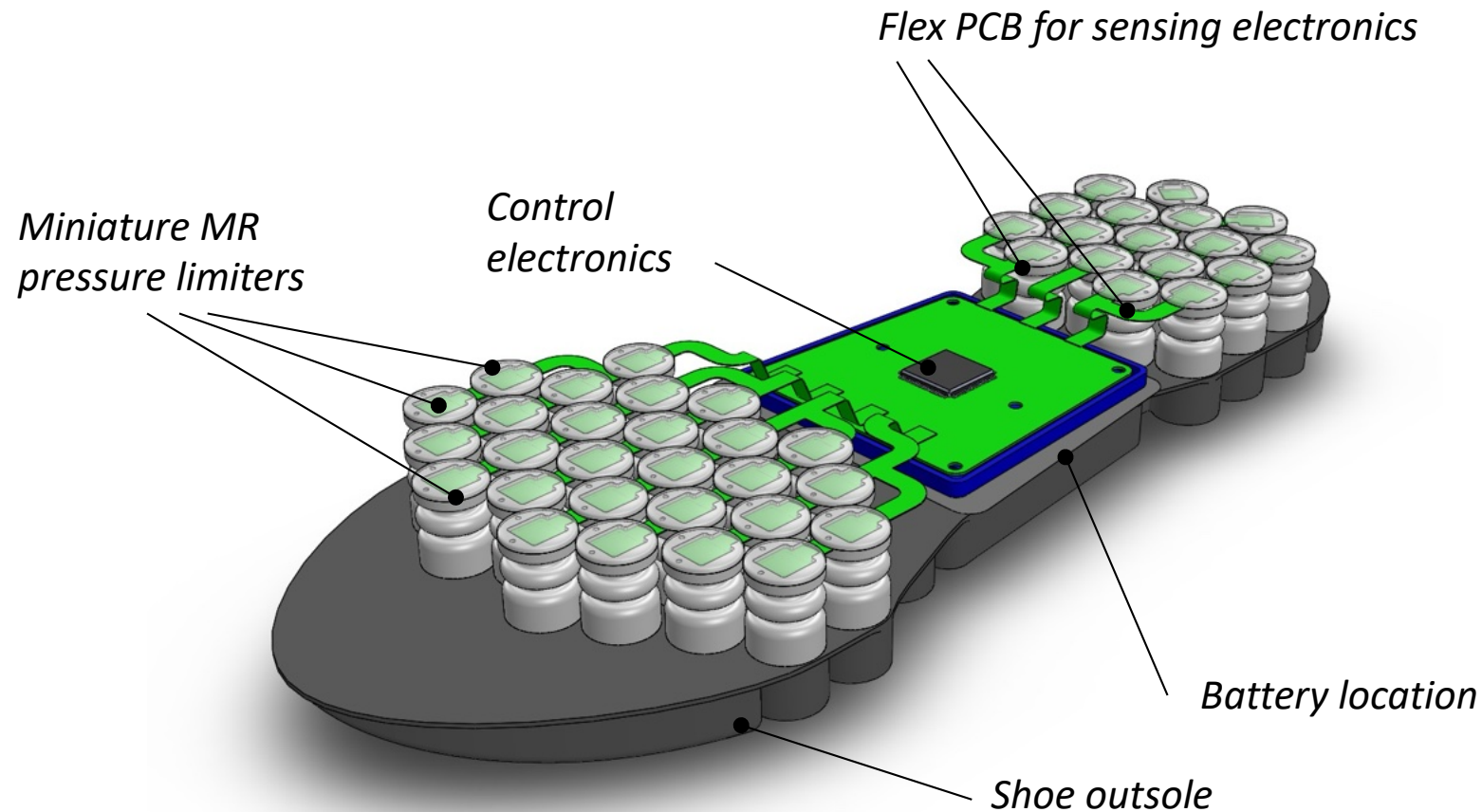
"The study of material with both solid and liquid characteristics"

Fluid

Navier-Stokes equation (1845)

$$\nabla[-p\mathbf{I} + \eta(\nabla\mathbf{u} + (\nabla\mathbf{u})^T)] + \mathbf{F} = \rho(\mathbf{u} \cdot \nabla)\mathbf{u}$$

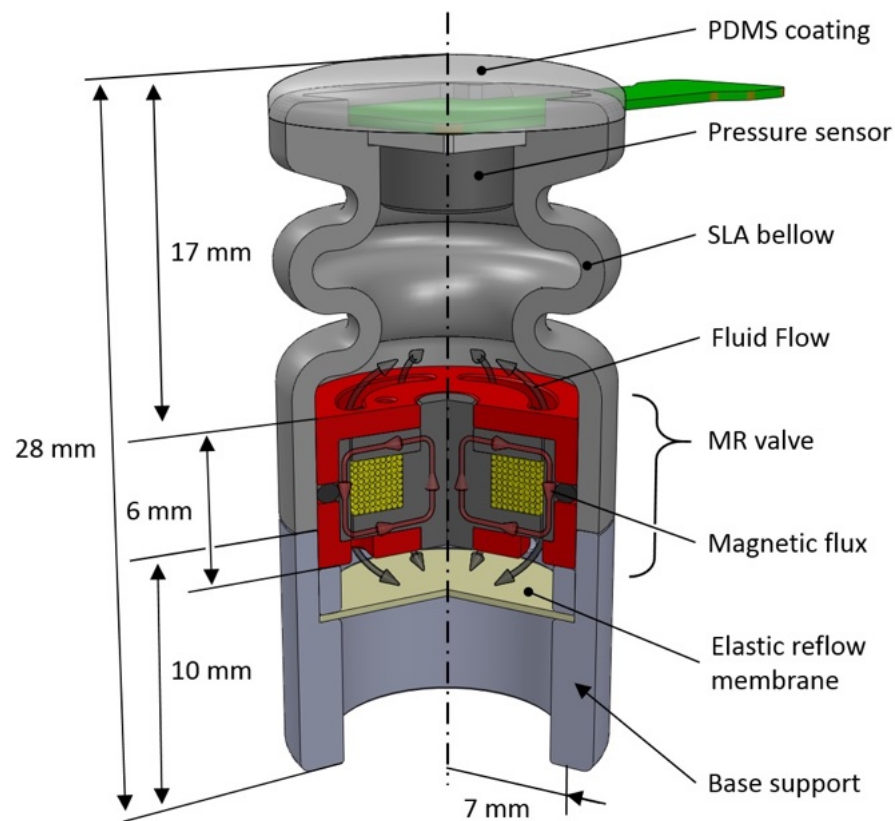
Intelligent Footwear for diabetic patients



Y. Perriard, Z. Pataky, D. Grivon and Y. Civet, Patent No. WO2016075599 (A1), 2015

Intelligent Footwear for diabetic patients

Developed miniature variable stiffness modules – Manufactured Prototypes



Overall Weight: 9-10 gr

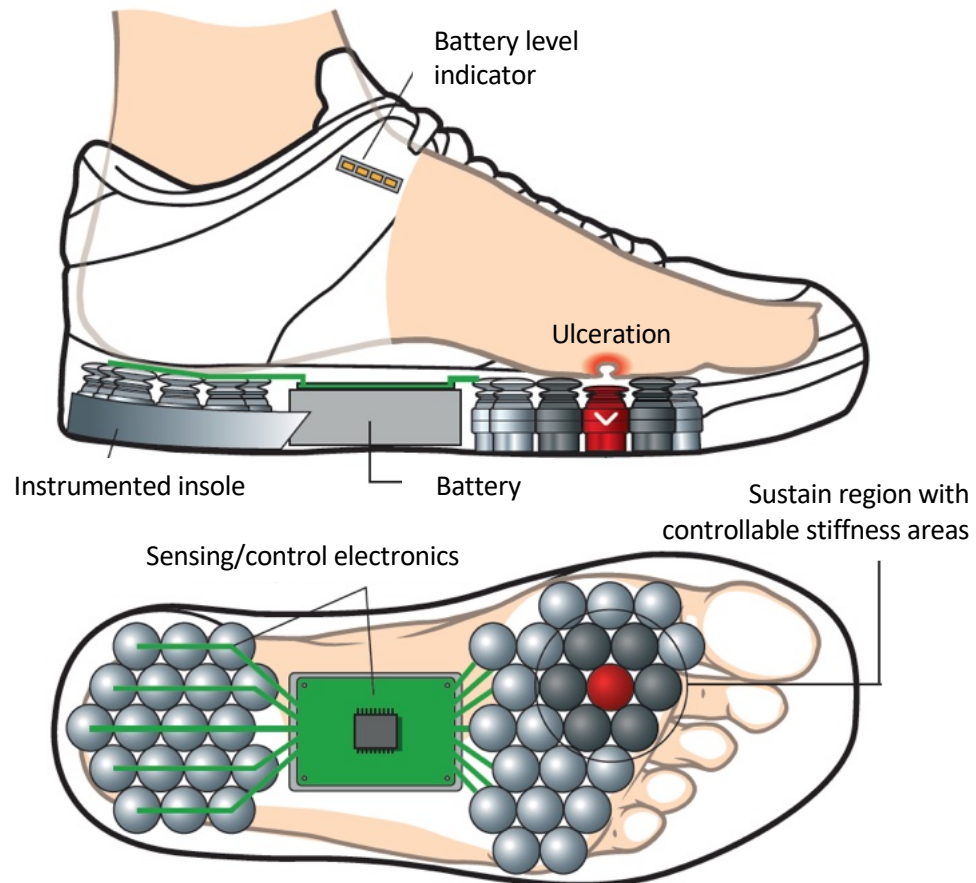
Power consumption: approx. 90-110 mW
(depending on the MR valve configuration)

Sustainable load: up to 6 kg (≈ 600 kPa)

Response time: 10 – 12 ms

Intelligent Footwear for Diabetic Patients

Developed Shoe Concepts



Pascal Coderay/EPFL, 2016



A. Herzog/EPFL, 2016

WSS

WERNER SIEMENS-STIFTUNG



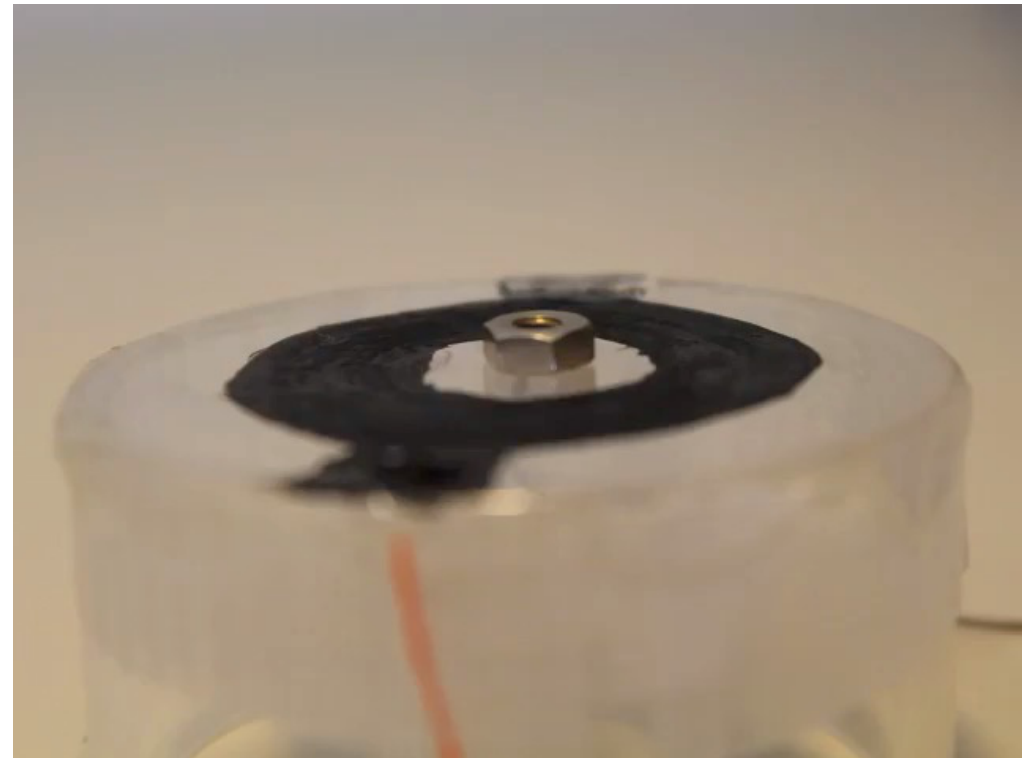
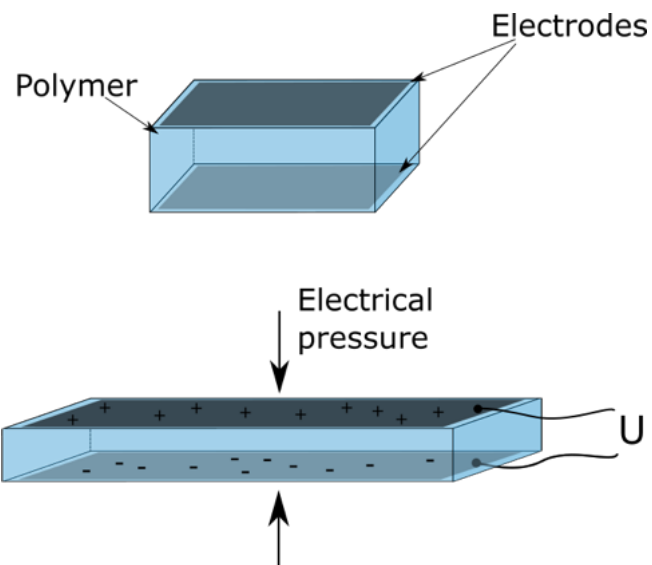
EPFL Ecole polytechnique fédérale de Lausanne

Center for Artificial Muscles (CAM)
Zentrum für künstliche Muskeln in der Rekonstruktionsmedizin

EPFL Research Day - Neuchâtel
2019 09 11
Prof. Yves Pernard

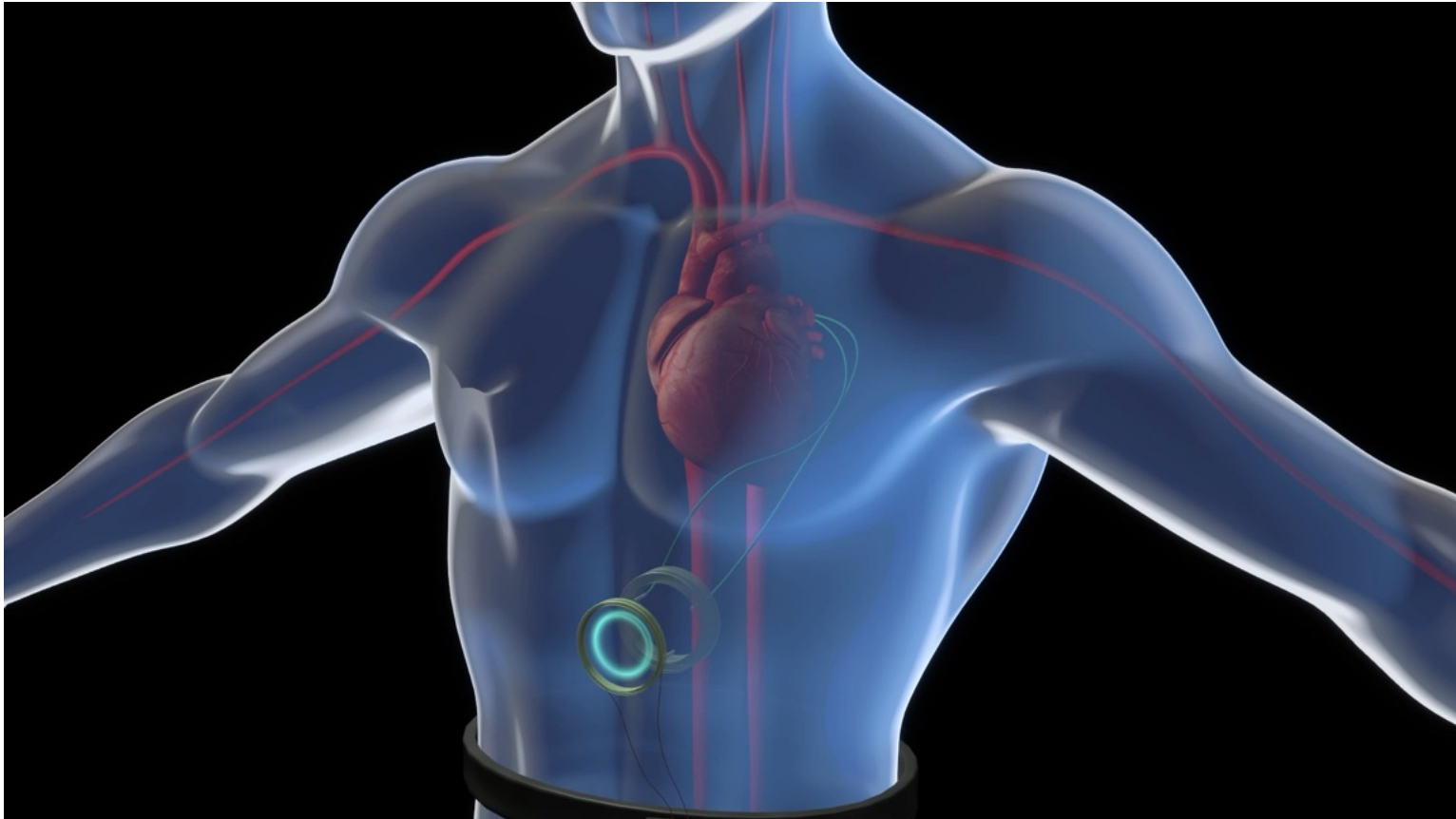
What is a Dielectric Elastomer Actuator (DEA) ?

- Polymer: **Soft** membrane as support and insulator
- Compliant **electrodes**
- **High Voltage**



System Overview

EPFL

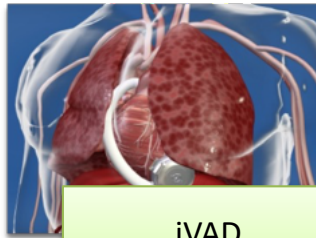


Hamlyn Symposium 2023

Dielectric Elastomer Augmented Aorta



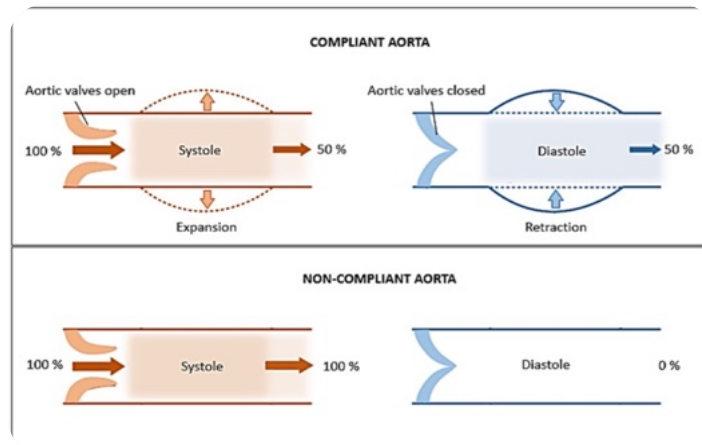
Artificial heart



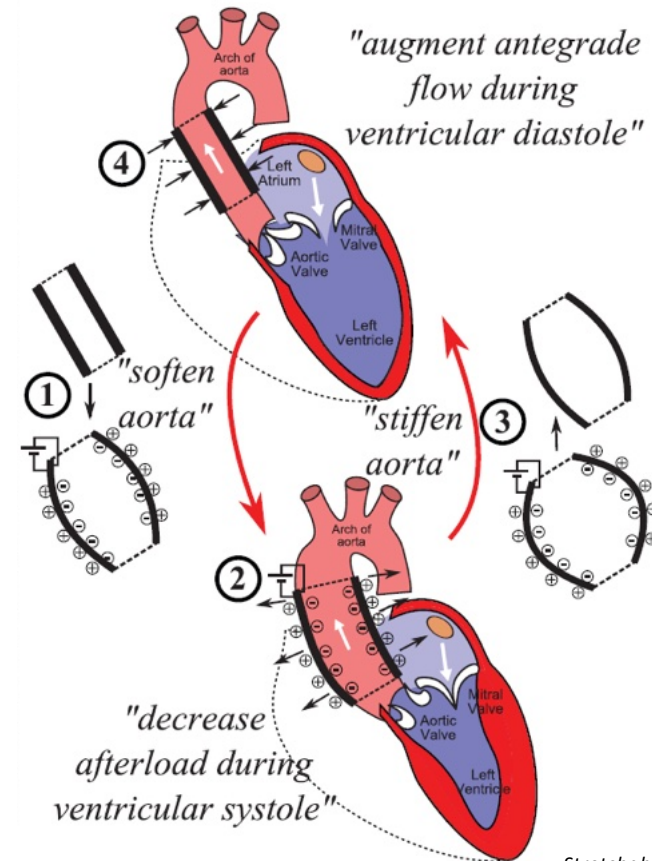
iVAD

Carmat™
Abiocor™

Novacor™
Thoratec™
Jarvik™
DeBakey™

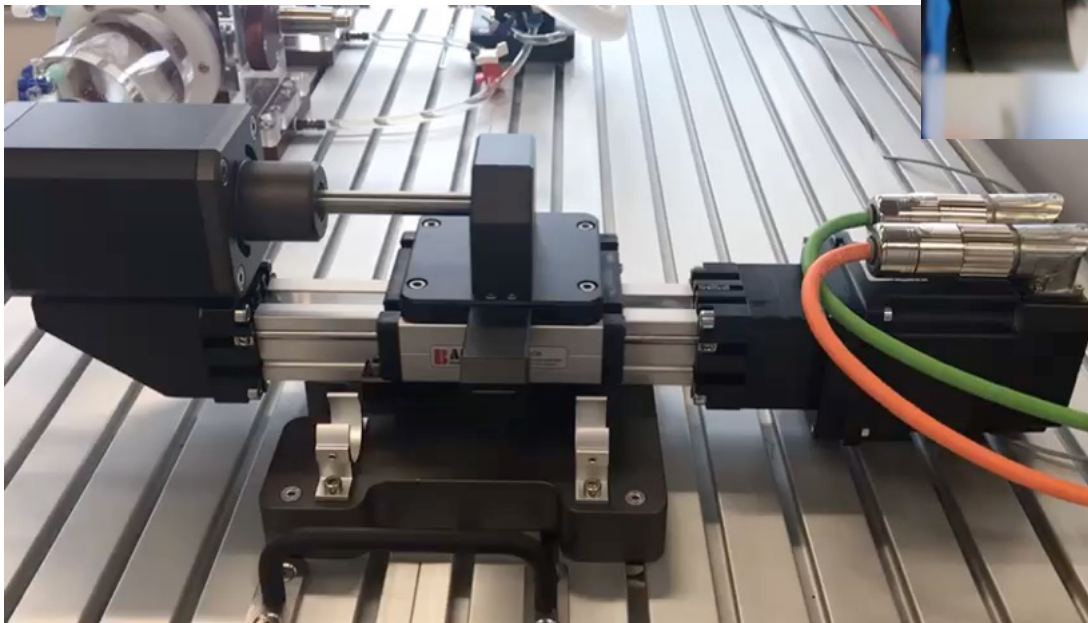
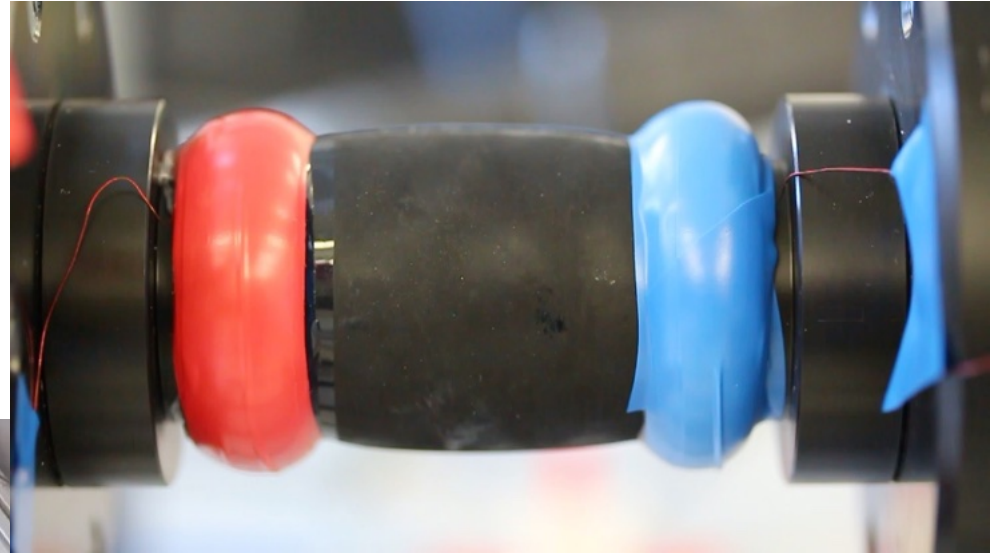


www.mdpi.com



Stretchable tubular device
and use thereof as a
counterpulsation device,
WO2021220087

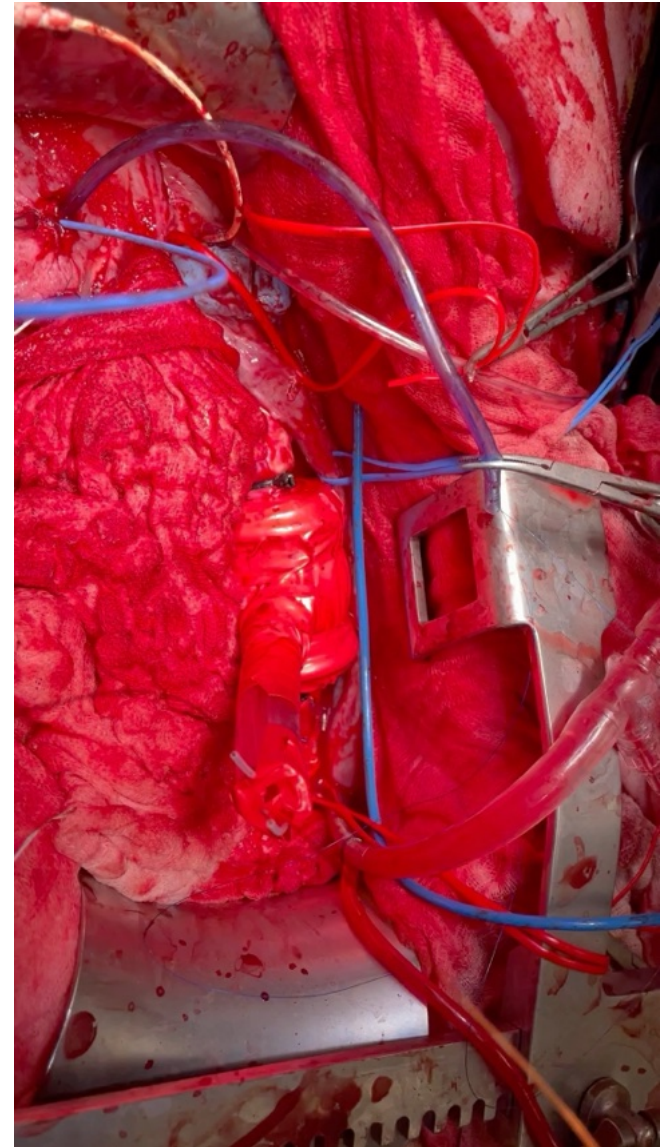
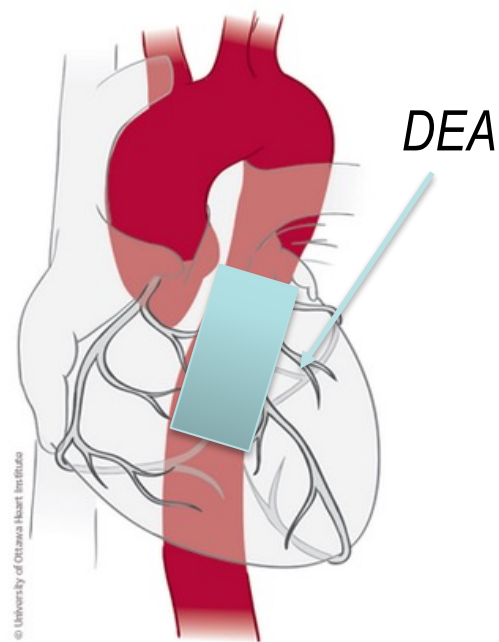
In-vitro test : Flowloop



In Vivo animal experiments, April 22th, InselSpital



In Vivo animal experiments



Enseignement du LAI à la SMT

- Electrotechnique I YP OBL (1)
- Actionneurs et systèmes électromagnétiques I & II YP, CK OBL (5,6)
- TP Actionneurs AH, YP, CK OBL (6)
- Commande de moteur à l'aide de μP CK OPT (RS)

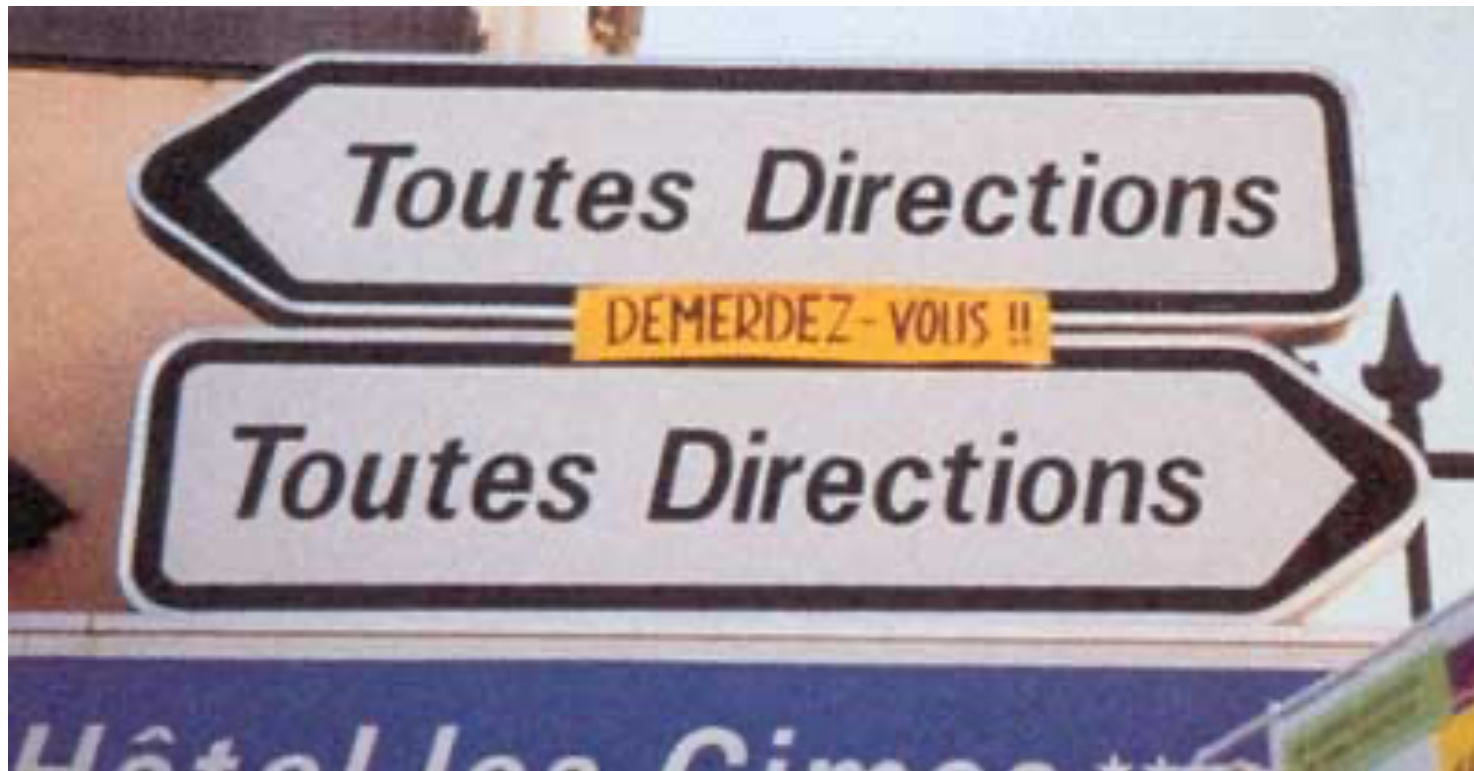
ELECTROTECHNIQUE I

- Une des premières branches de l'ingénieur dans la formation microtechnique
- Définition :
 - utilisation technique de l'électricité soit en tant que support d'énergie, soit en tant que support d'information.
- Application à un grand nombre d'autres disciplines qui utilisent le circuit électrique comme schématisation de base.

L'Electrotechnique : ça n'est pas ...



Ca n'est pas non plus ...



Ou ...



Ne pas créer d'embuche ...

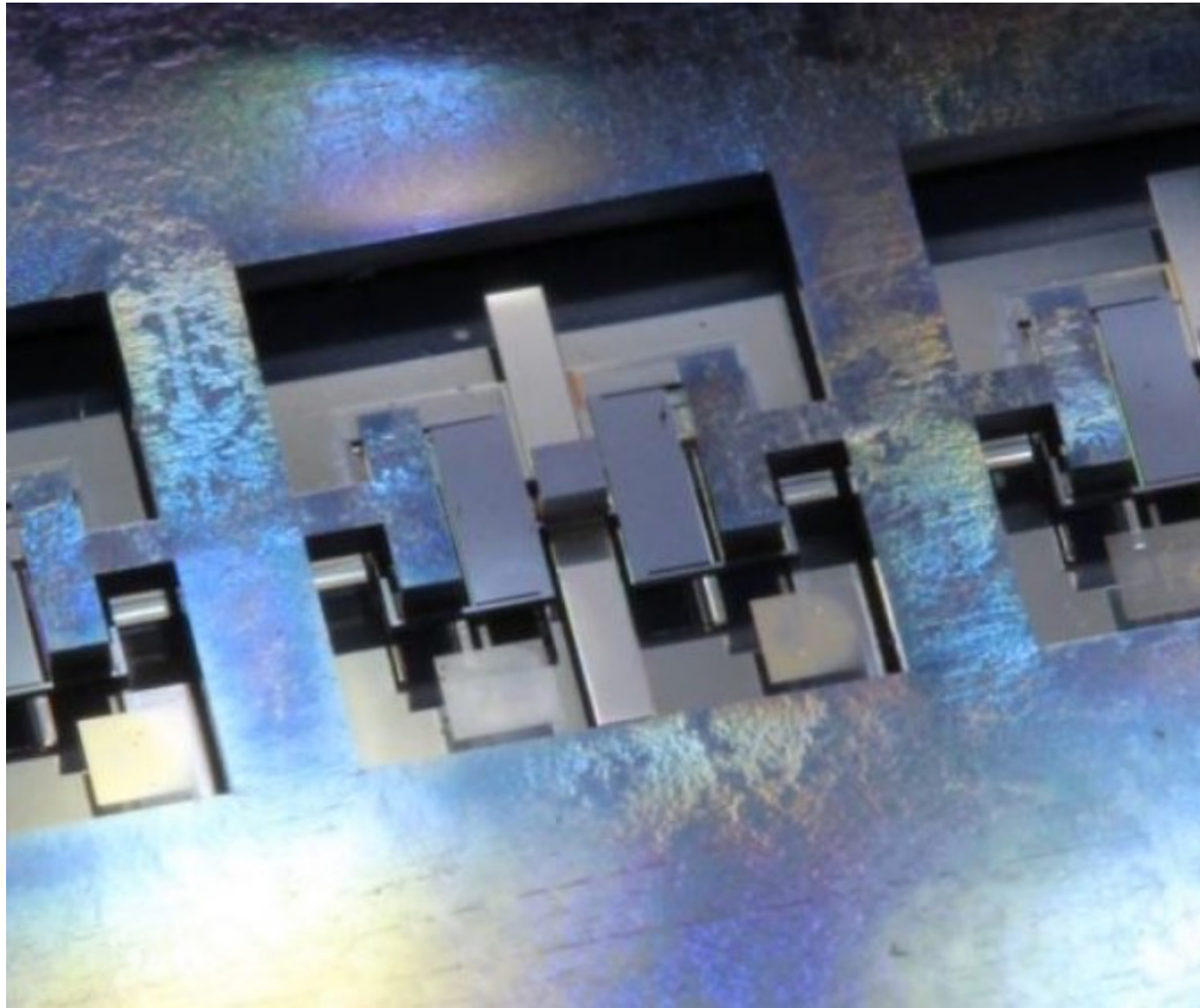


Ou s'emmêler les pinceaux ...

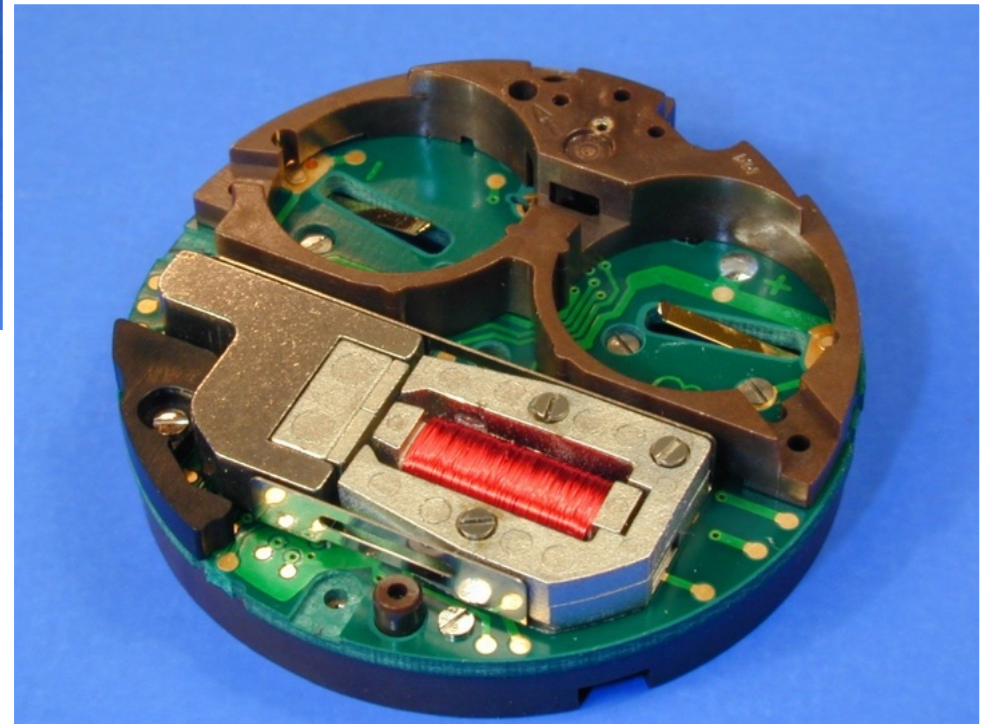
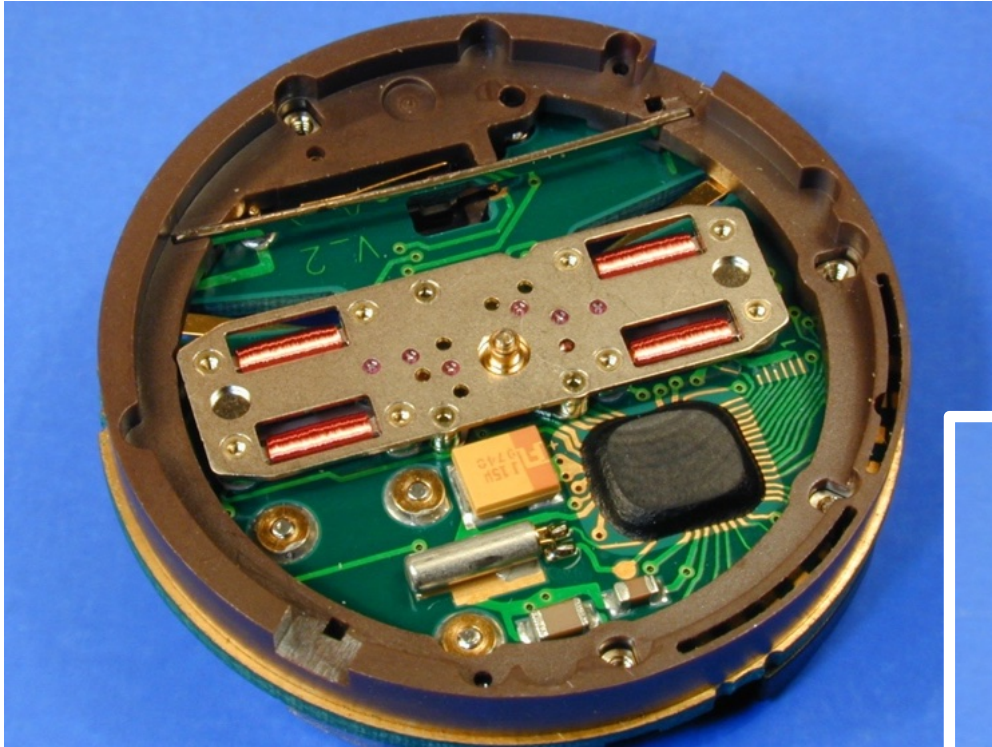


Applications, exemples

- Calcul de circuits électriques
- Electronique
- Machines électriques et micro-actionneurs
- Mécanique et thermique
- Formalisme de l'ingénieur :
 - Ecriture et symbolique



Tissot : « T-Touch » »









Forme du cours

Sem. 01	Sem. 02	Sem. 03	Sem. 04	Sem. 05	Sem. 06	Sem. 07	Sem. 08	Sem. 09	Sem. 10	Sem. 11	Sem. 12	Sem. 13	Sem. 14
2h C 1h E	2h C 1h E	2h C 1h E	2h C 1h E	2h C 1h E	2h C 1h E	2h C 1h E	2h C 1h E	2h C 1h E	Labo	Labo	Labo	Labo	révis.

- Cours donné par Y. Perriard (CE6)
 - De 10:15 à 12:00
- Exercices (3 salles: CE6, CE1104, CE1106)
 - De 12:15 à 13:00
- Travaux Pratiques (resp. Ph. Allenbach) – 2 séances
 - Les vendredis 22/11, 29/11, 6/12, 13/12 jusqu'à 14:00
 - (2 fois TP + 2 fois congé !)
 - Le vendredi 20 décembre 2024 : QCM sur les TPs et répétition

Travaux pratiques

- Tout le monde doit avoir fait au moins une fois les TPs et le QCM ;
 - Etudiants en échec (MAN, redoublants) : à choix, seule la dernière note obtenue sera prise en compte ;
 - Nouveaux : obligatoire
- Procédure :
 - Les nouveaux étudiants seront d'office repartis en groupes A et B ; pas d'inscription. Répartition lors de la 3^{ème} semaine)
 - Pour les redoublants, formulaire à remplir envoyé par M. Allenbach
- Respecter la date limite fixée par M. Allenbach.

Examen

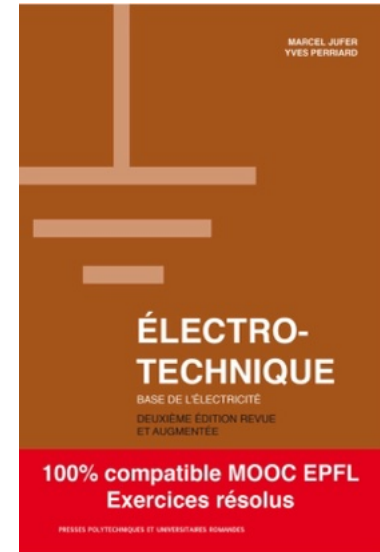
- Propédeutique : Examen écrit,
 - session d'hiver (MAN) et
 - session d'été ;
- 5-6 exercices à réaliser complètement ;
- Note finale = 80% écrit + 20% TP(QCM).

Ressources

- Notes de cours écrites des étudiants
- Livre

Electrotechnique, base de l'électricité

M. Jufer, Y. Perriard (3^{ème} édition)



- Moodle :

Cours MICRO-100 (notes de cours pdf, exercices et corrigés, TP, compléments, bibliographie, etc.)

- MOOC (Massive Online Open Course)

➤ <https://courseware.epfl.ch/dashboard>

Niveau requis

- Cours basé sur le programme de la maturité fédérale physique-électricité
 - Lois de Kirchhoff
 - Loi d'Ohm
 - Notion de courant et tension
 - Notion de résistance
- Aide avec lien dans Moodle en provenance du gymnase de la cité

Mesures mise en place suite à l'évaluation du cours

- Mise à disposition d'un doctorant durant la semaine pour animer le forum/zoom sur demande : M. Quentin Demenech
- Mise à disposition d'un exercice d'auto-évaluation une semaine à l'avance pour pouvoir le faire en condition réelle d'examen (3h) à la maison.
- Mise à disposition de 2 anciens examens Electrotechnique I sur moodle

Mesures mise en place suite à l'évaluation du cours

- Mise à disposition sur le Moodle des diapositives vierges ppt du MOOC pour prendre plus facilement des notes
- Ajouts sur Moodle de plus d'exercice pour un apprentissage plus doux
- Proposition d'un quiz chaque semaine
- Possibilité d'organiser durant les TP des sessions live Q&A pour la moitié de la classe

Mesures mise en place suite à l'évaluation du cours

- Merci d'utiliser le forum pour poser vos questions/requêtes
- Mise en place de solutions pour répondre à vos questions dès que nécessaire : zoom par exemple les lundis.

Programme du cours I

- Conventions et symboles
 - Lois fondamentales
 - Lois de Kirchhoff
- Régime permanent
 - Théorèmes et principes
 - Analyse de circuits
 - Puissance

Programme du cours I

- Régime sinusoïdal
 - Impédance
 - Calcul complexe
 - Puissance
- Travaux pratiques sur 2 sessions