

EPFL

Cours Electrotechnique I

■ École
polytechnique
fédérale
de Lausanne

12 septembre 2025

Pr. Yves Perriard
Dr Yoan Civet



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:

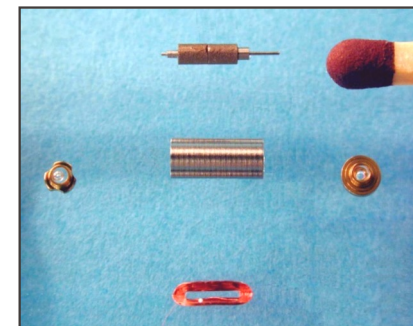
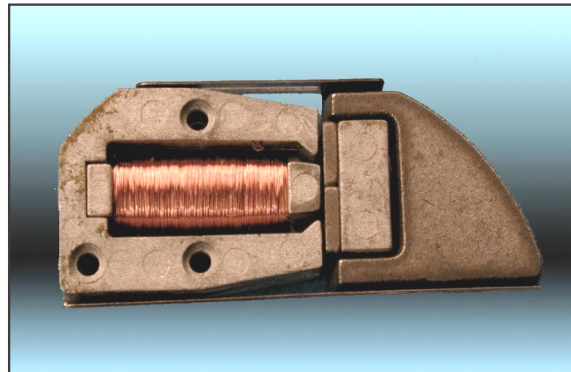
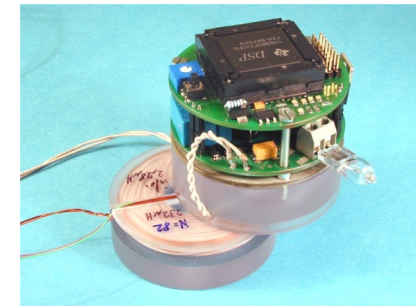
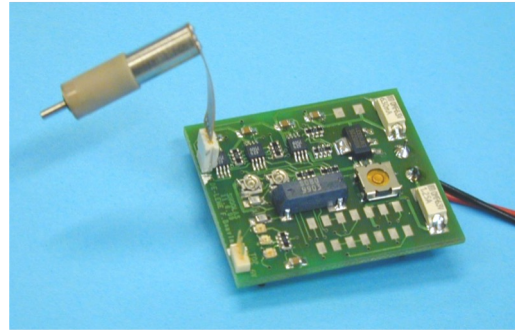
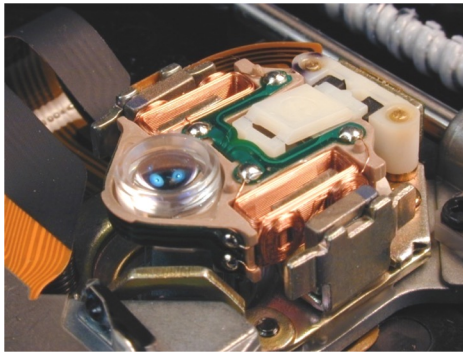
- Successful self-winding perpetual watches
- Introduction of the gongs for repeating watches
- First shock-protection for balance pivots

EPFL – Neuchâtel – 250 personnes

12 laboratoires – IEM Microtechnique

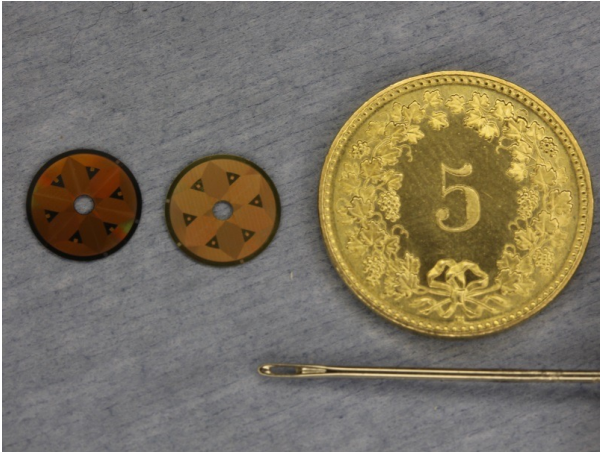


LAI Laboratoire d'Actionneurs Intégrés

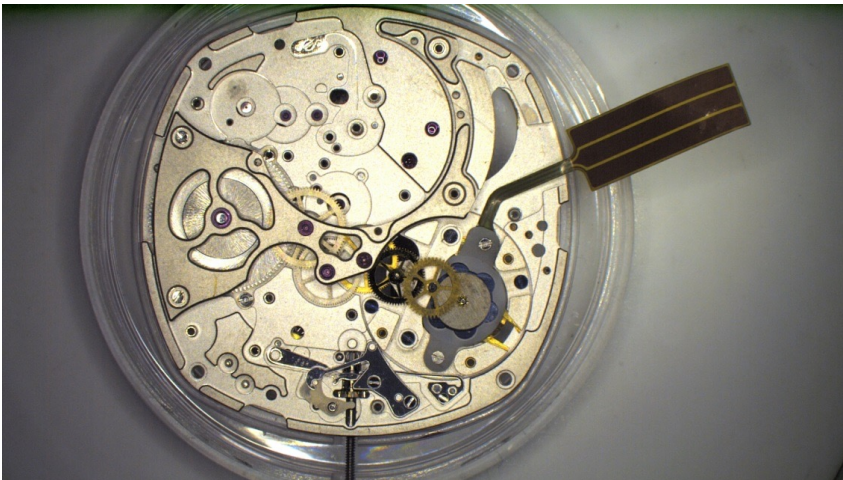
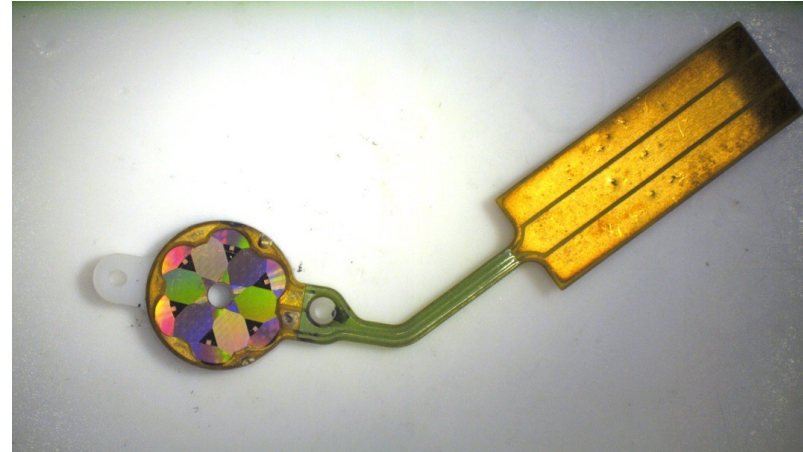


FINAL PROTOTYPE

Completed stator
Total thickness: 80 μm

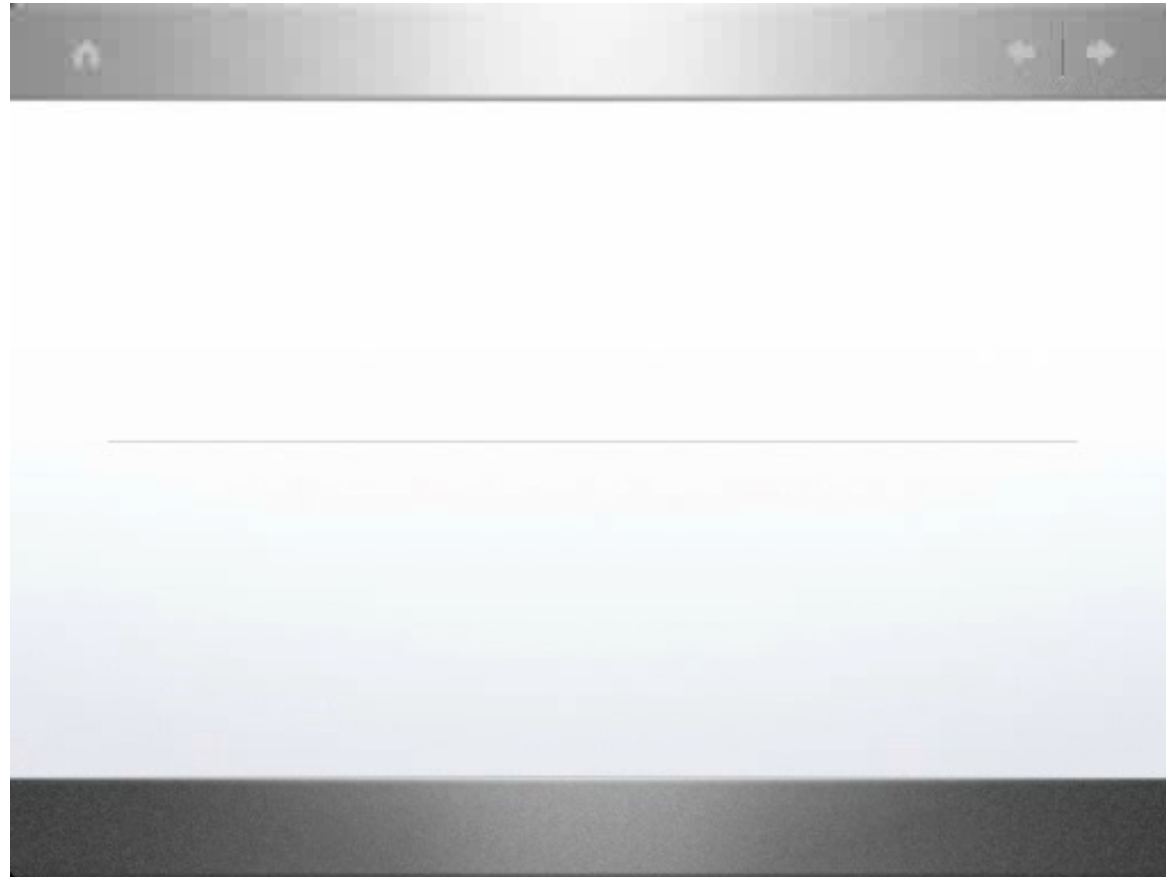


Assembly on flexible PCB



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

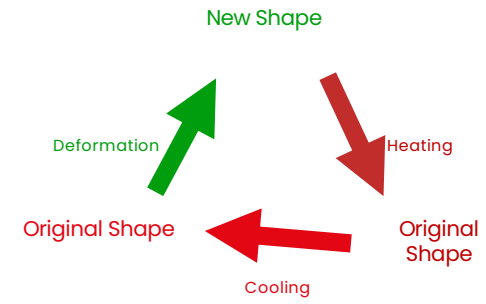


Schunk Gripper

Smart Material



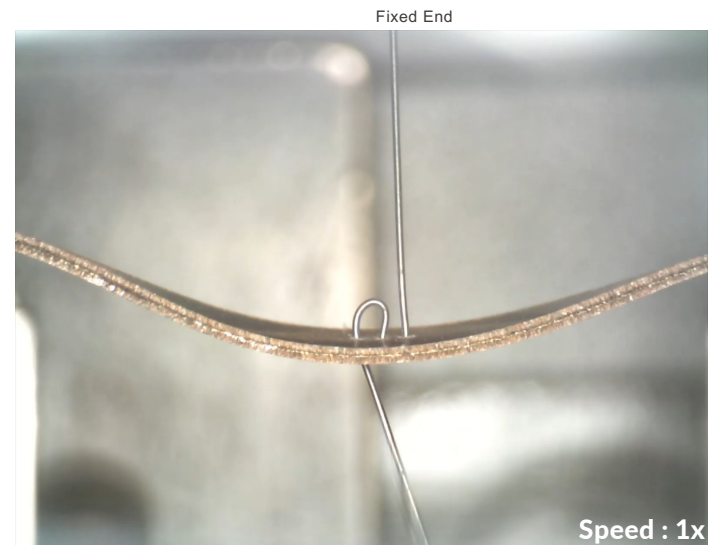
Shape Memory Alloy



Actuator Setup

Single SMA-Buckled Beam

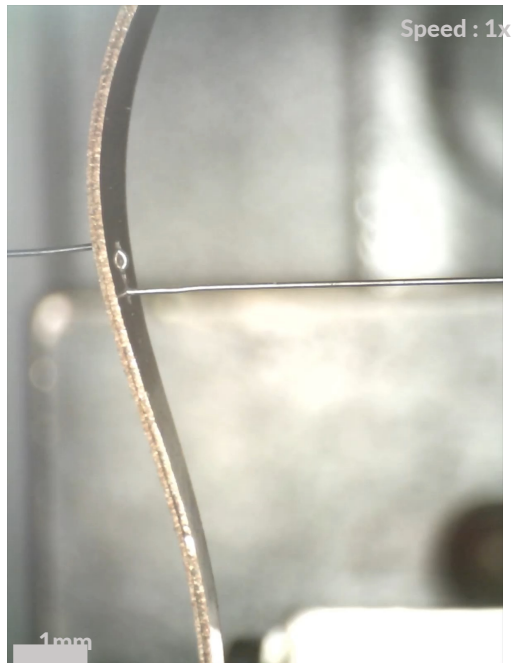
- SMA attached to Buckled beam only on one side
- SMA wire is heating using a 300mA current
- Buckled beam switches as the SMA retracts
- Buckled Beam Dimensions :
 - 20x3x0.22 mm
- SMA Dimensions :
 - Length : 10 cm
 - Diameter : 0.15 mm



Free end

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 : > 10N

Actuator Setup



Dual SMA-Buckled Beam Test



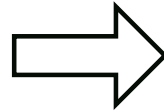
- Rapid activation of the SMA in short bursts
- Buckled beam is not undergoing switching
- Shows the possibility of more precise control

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



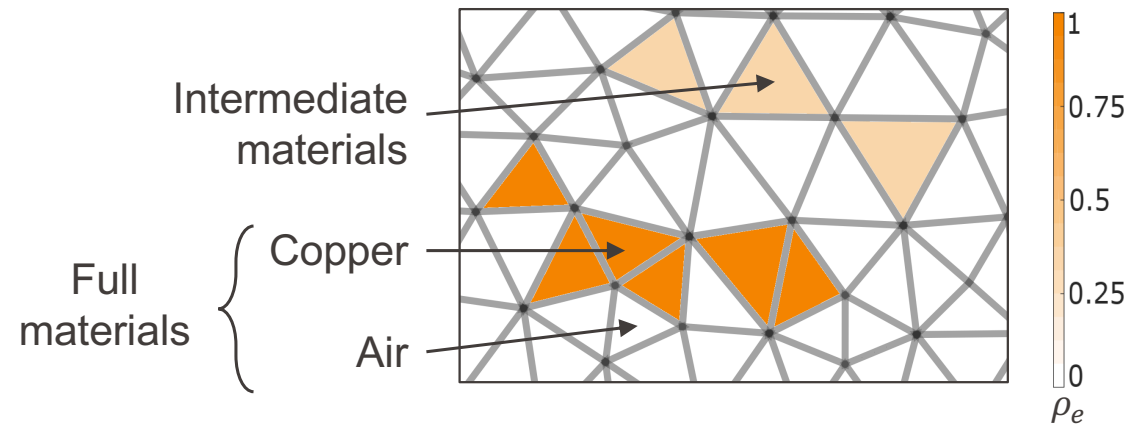
[3]

■ [3] Frustum - Generative design <https://www.frustum.com/>

• [1] Conventional coils - <http://www.wijdeven.com/en/orthocyclic-coil-winding/3/69/20>
• [2] TRUMPF - 3D printed copper TruPrint 5000 <https://3dprint.com/230232>

Topology Optimization: Density-based

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

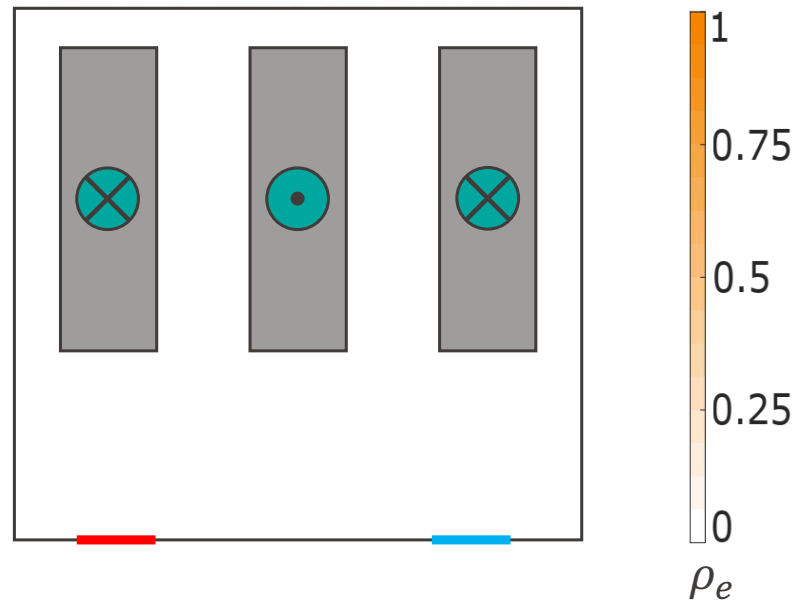


- Final topology should be discrete → Penalization of intermediate materials

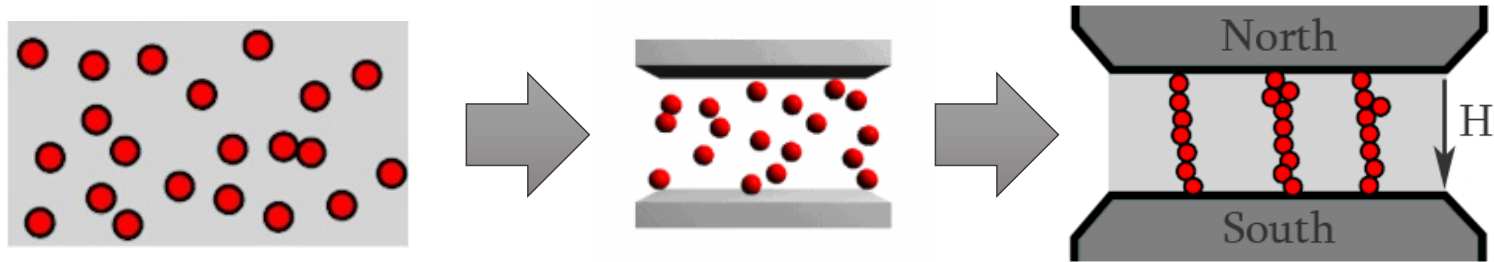
Multiple teeth problem (video)

- 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

Maxwell's equations (1865) – Integral form

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

Rheology – Bingham's definition (1920)

"The study of the deformation and flow of matter"

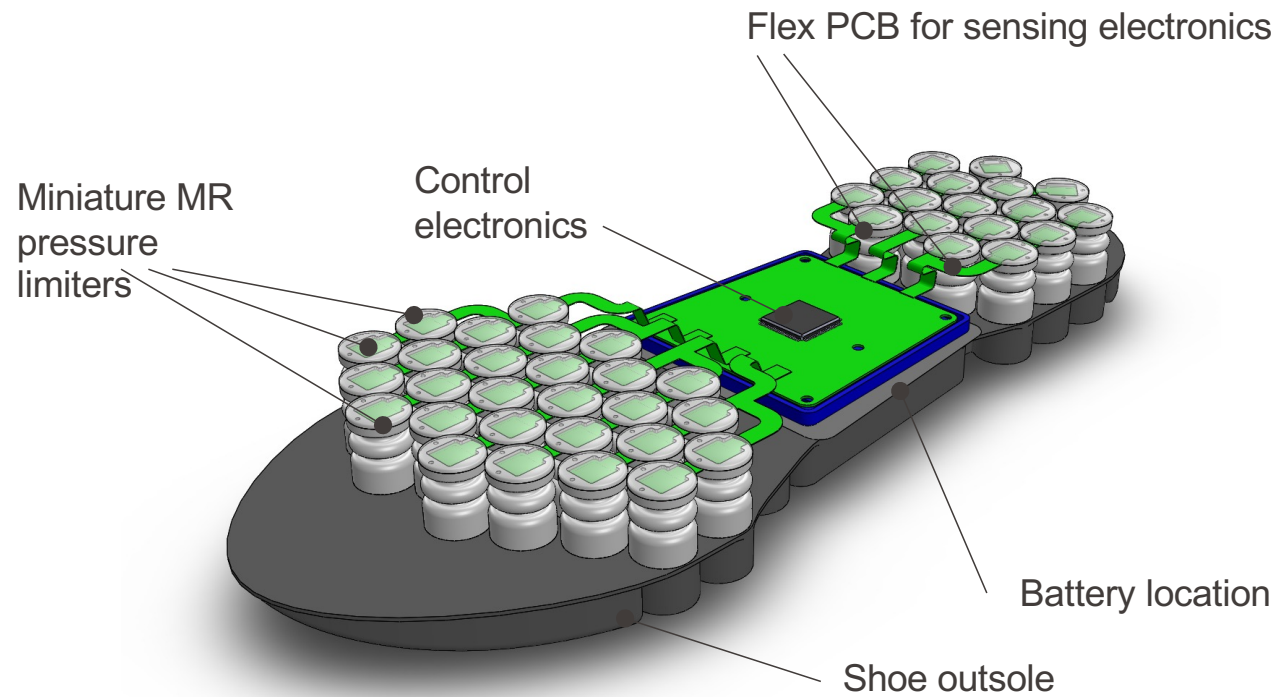
"The study of material with both solid and liquid characteristics"

Fluid

Navier-Stokes equation (1845)

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

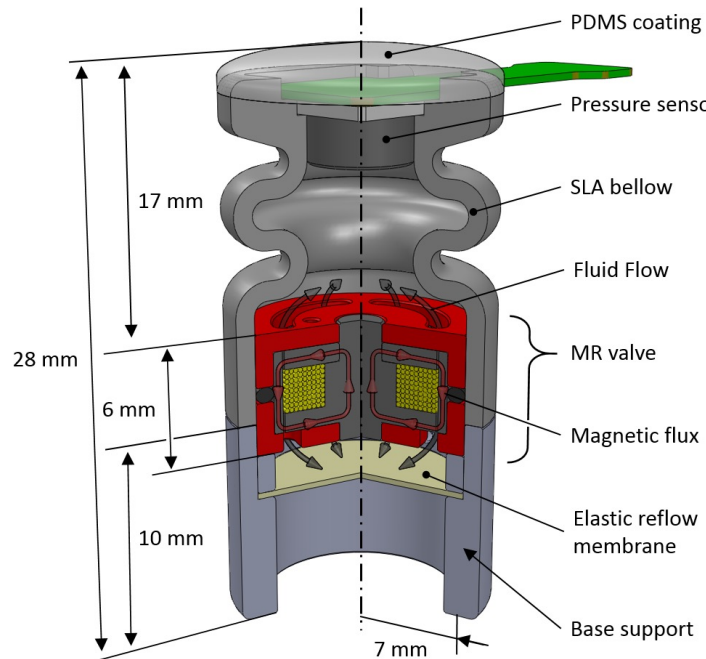
Intelligent Footwear for diabetic patients



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

Intelligent Footwear for diabetic patients

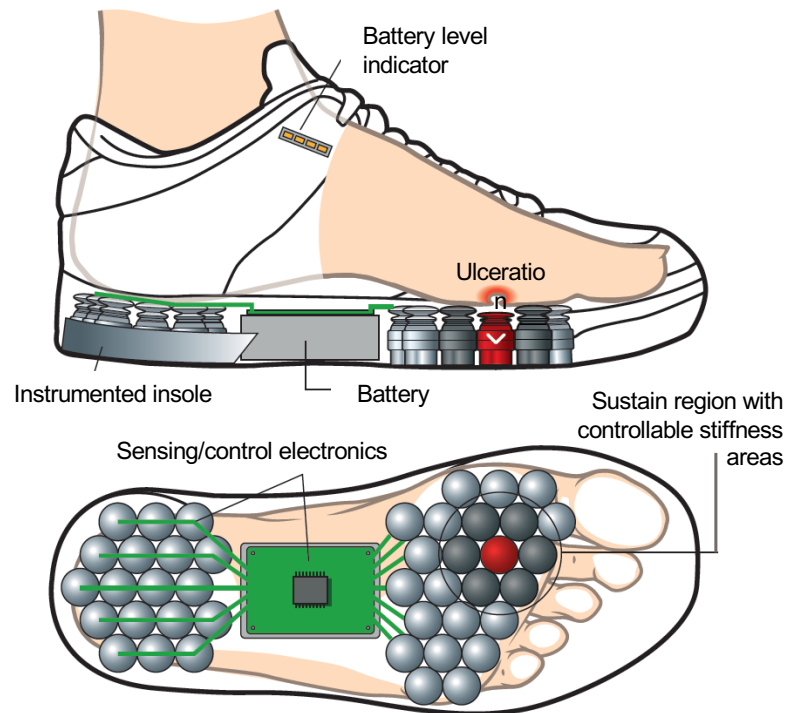
Developed miniature variable stiffness modules – Manufactured Prototypes



- Overall Weight: 9-10 gr
- Power consumption: approx. 90-110 mW (depending on the MR valve configuration)
- Sustainable load: up to 6 kg (\approx 600 kPa)
- Response time: 10 – 12 ms

Intelligent Footwear for Diabetic Patients

Developed Shoe Concepts



Pascal Coderay/EPFL, 2016



A. Herzog/EPFL, 2016



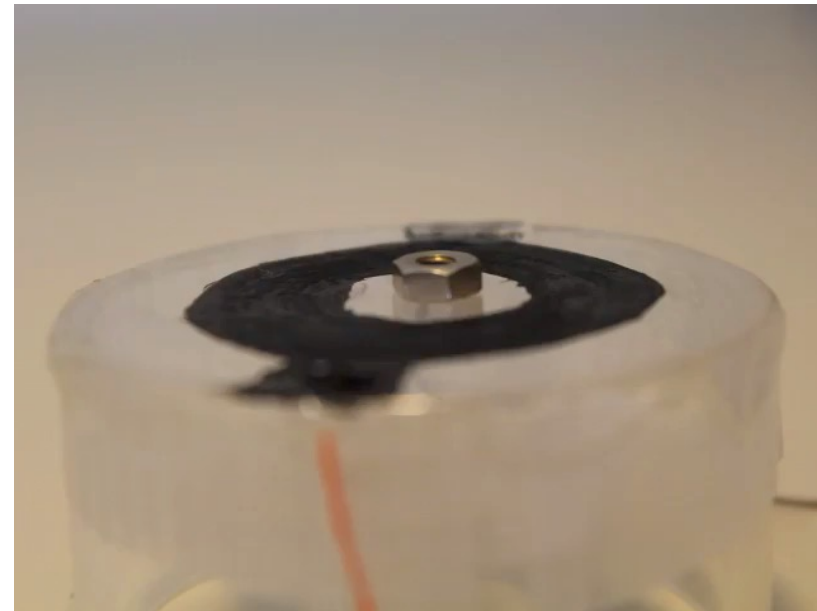
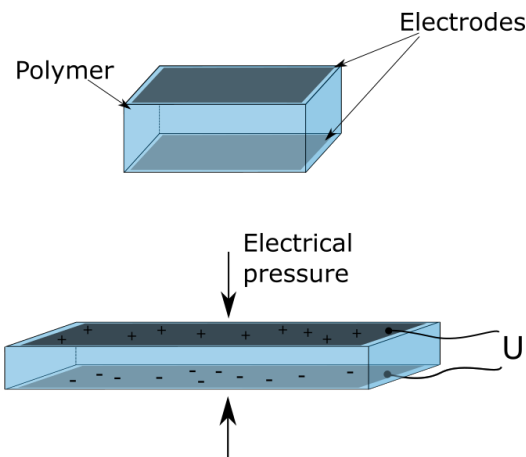
EPFL Ecole polytechnique fédérale de Lausanne

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

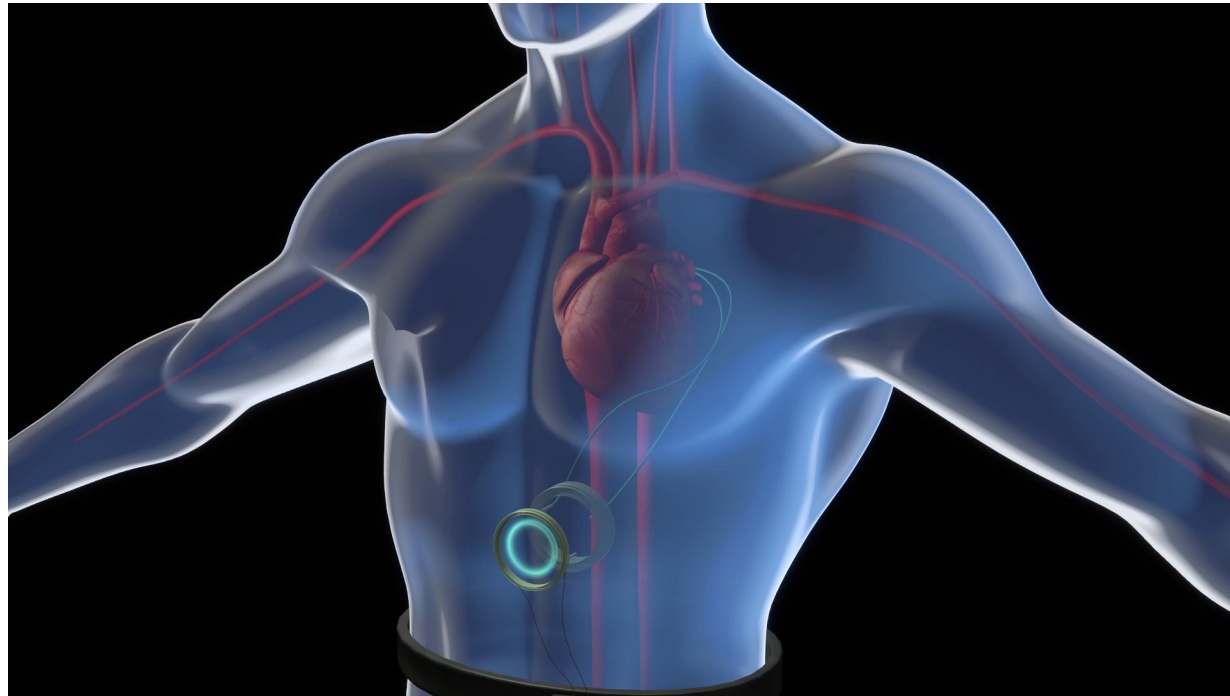
EPFL Research Day - Neuchâtel
2019-09-11
Prof. Yves Pernard

What is a Dielectric Elastomer Actuator (DEA) ?

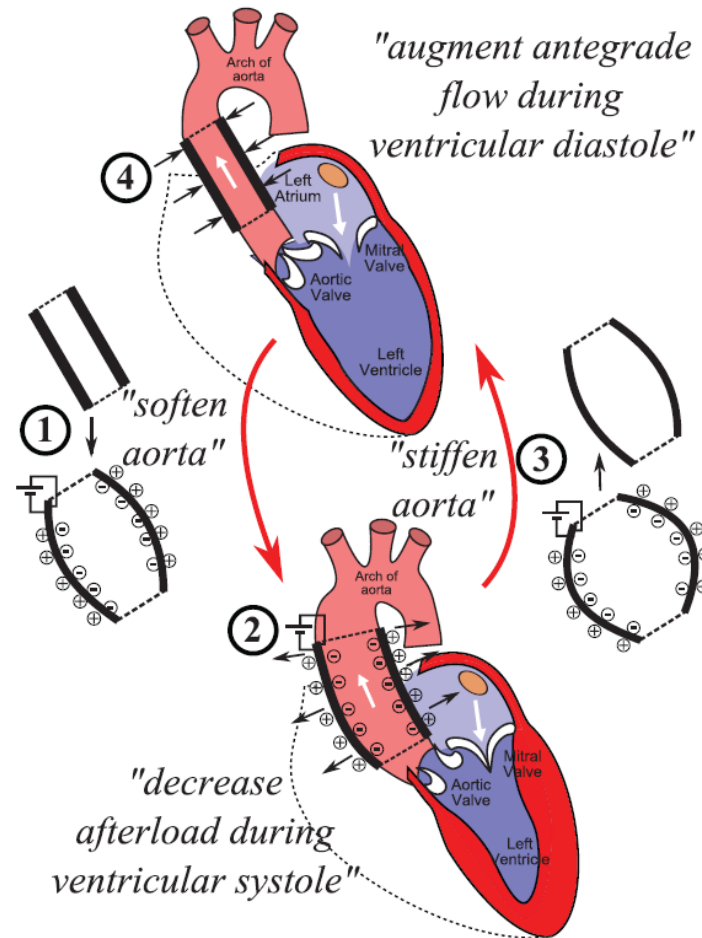
- Polymer: **Soft** membrane as support and insulator
- Compliant **electrodes**
- **High Voltage**



System Overview

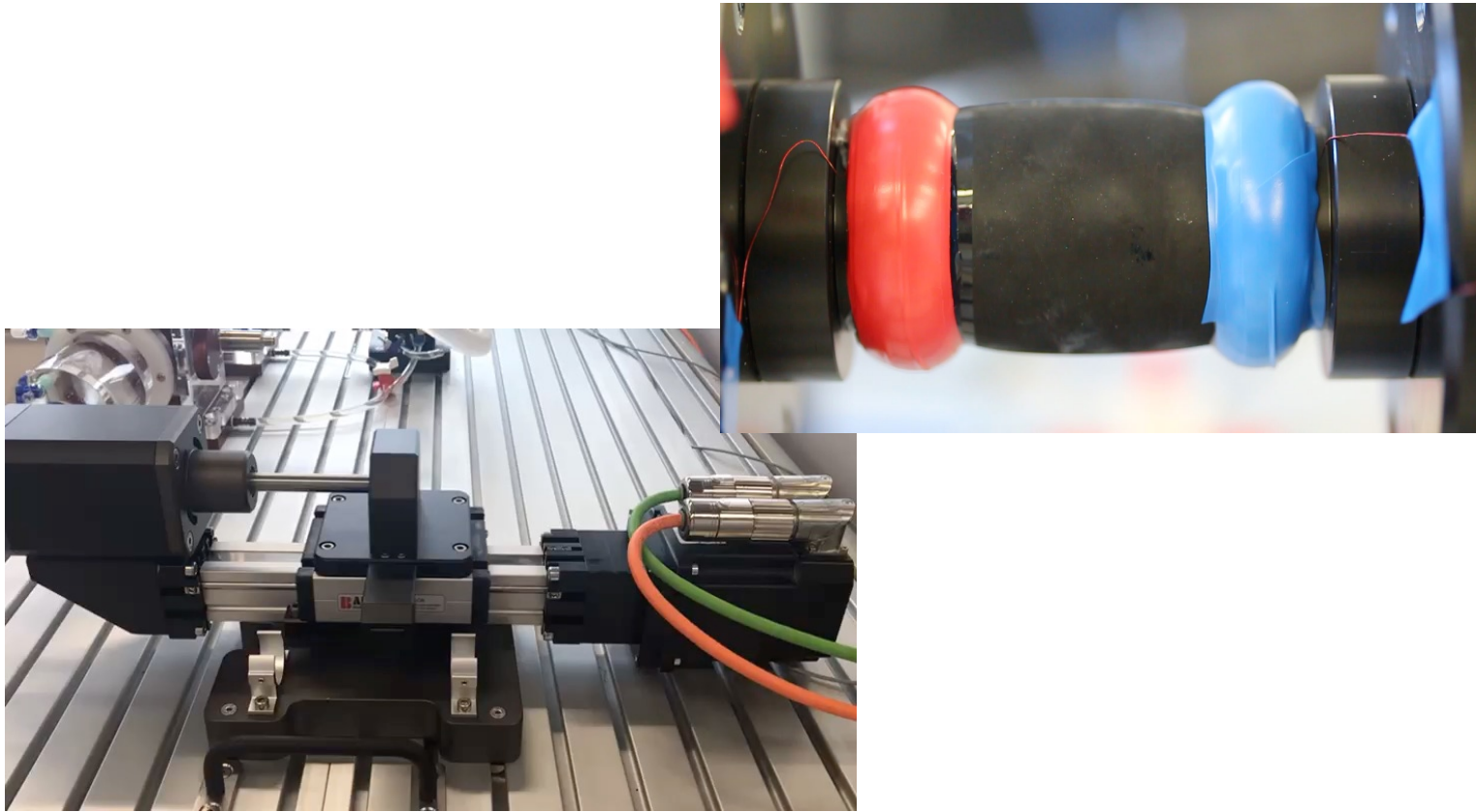


Dielectric Elastomer Augmented Aorta



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

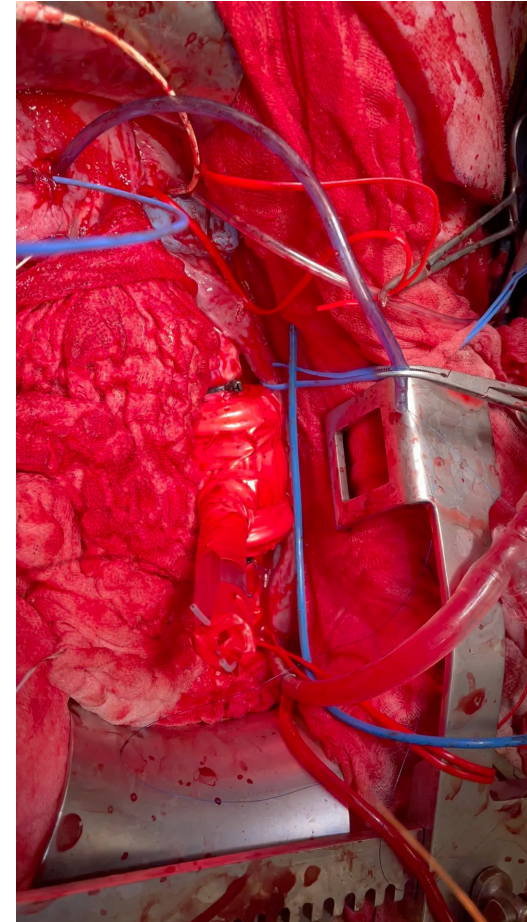
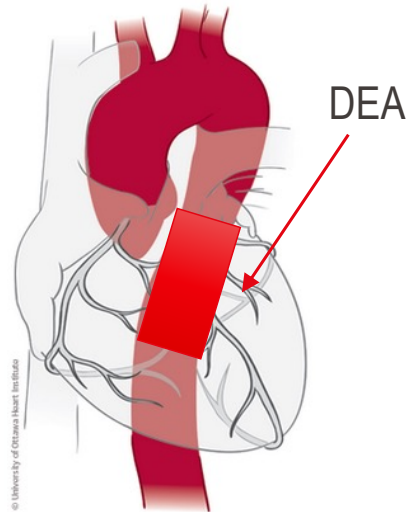
In-vitro test : Flowloop



In Vivo animal experiments, April 22th, InselSpital



In Vivo animal experiments





Enseignement du LAI à la SMT

- Electrotechnique I YP, YC 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

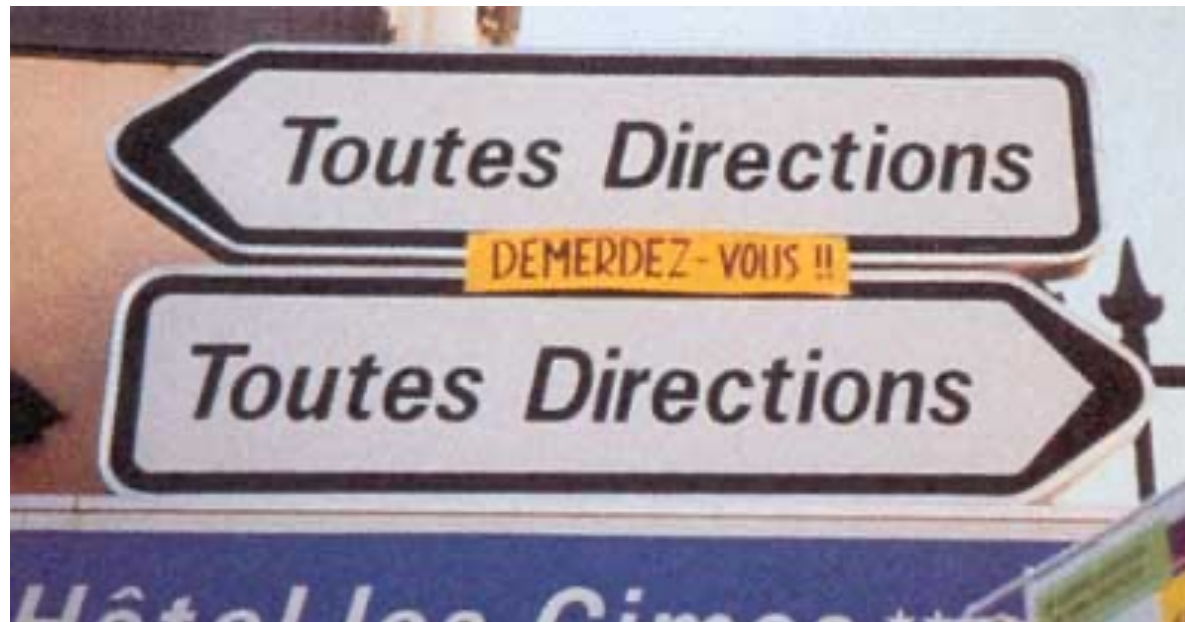
- Définition :
 - utilisation technique de l'électricité soit en tant que support d'énergie, soit en tant que support d'information.

- 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 ...



EPFL

Ou ...



■

Ne pas créer d'embuche

...



EPFL

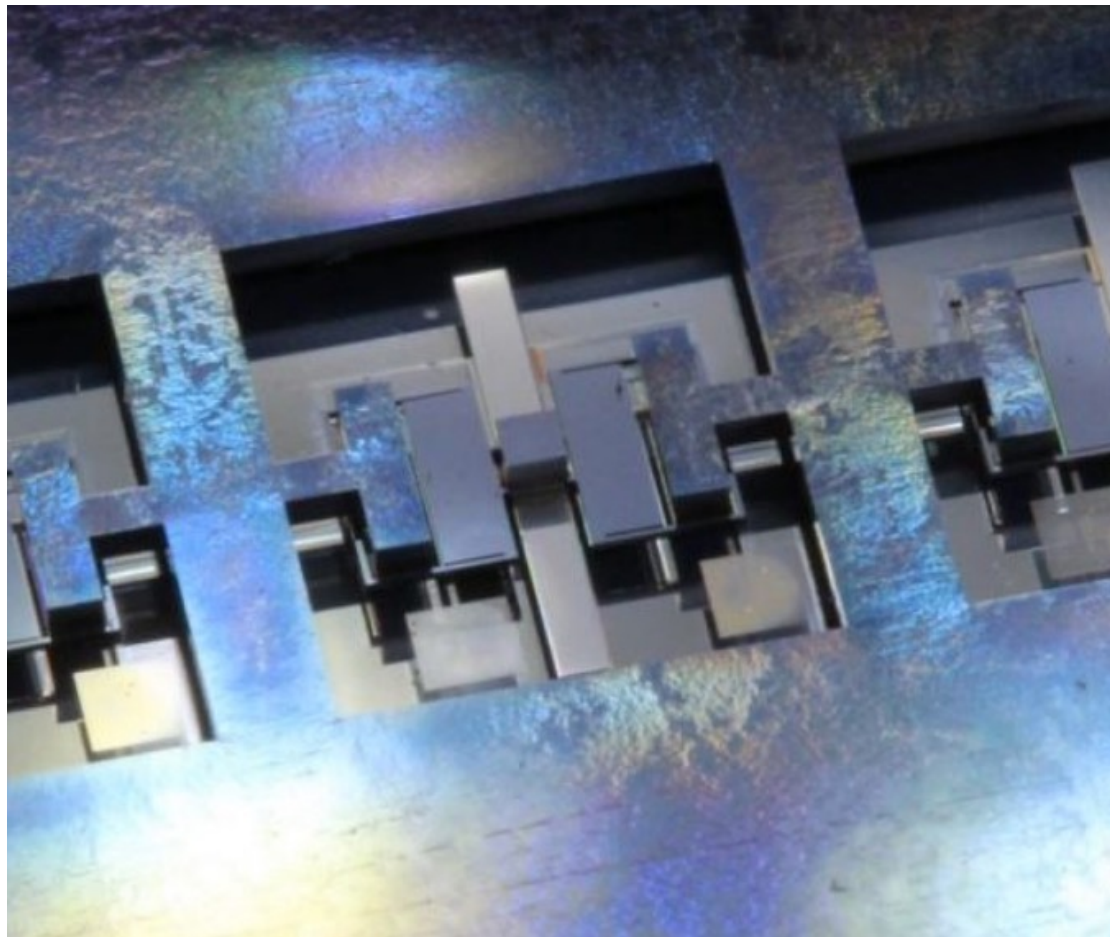
Ou s'emmêler les pinceaux ...



Applications, exemples

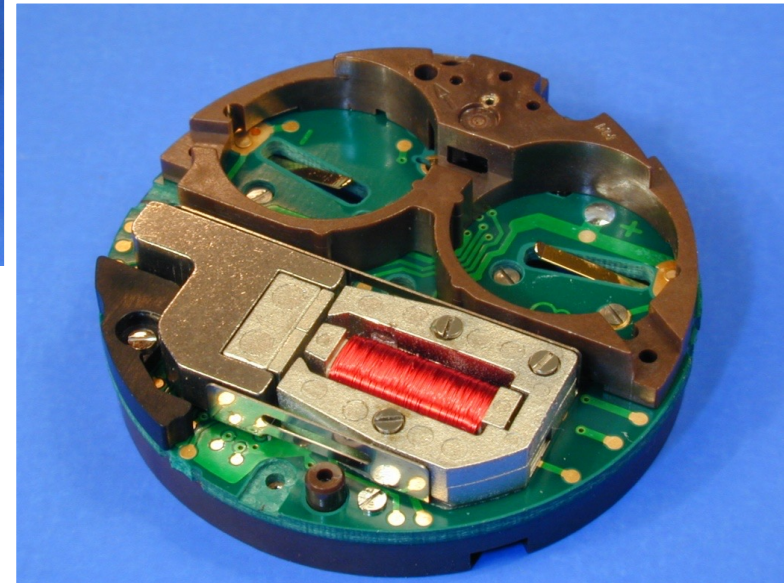
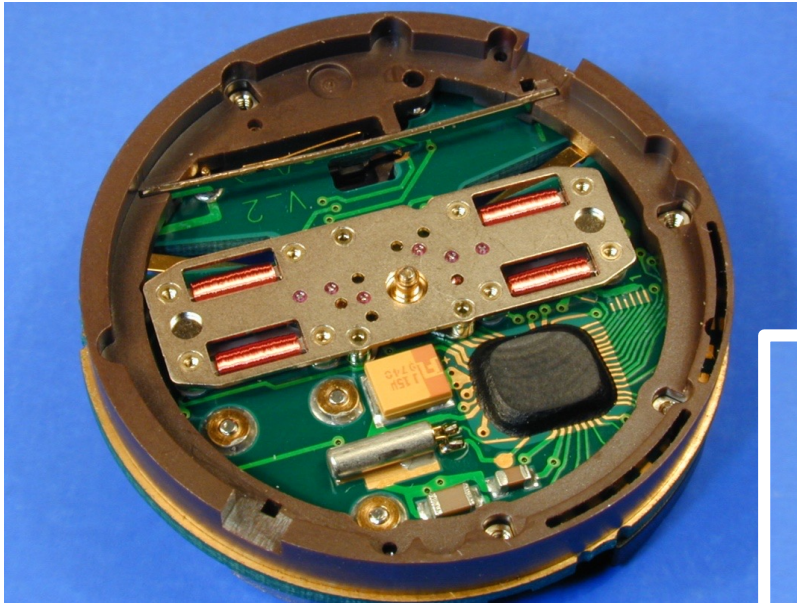
- Calcul de circuits électriques
- Electronique
- Machines électriques et micro-actionneurs
- Mécanique et thermique
- Formalisme de l'ingénieur :
 - Ecriture et symbolique

EPFL



■

Tissot : « T-Touch »



EPFL



EPFL



■



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 et Y. Civet (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 21/11, 28/11, 5/12, 12/12 jusqu'à 14:00
 - (2 fois TP + 2 fois congé !)
 - Le vendredi 19 décembre 2025 : 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.

- Propédeutique I: Examen écrit Electrotechnique I
 - session d'hiver

- 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
- Merci d'utiliser le forum pour poser vos questions/requêtes
- Possibilité d'organiser durant les TP des sessions live Q&A pour la moitié de la classe

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