

Actionneurs et Systèmes électromagnétiques

*Pr. Yves Perriard et Dr Christian Koechli
Institut d'Electricité et de Microtechnique (IEM)
Laboratoire d'Actionneurs Intégrés (LAI), Neuchâtel*

Déroulement

- Cours sur 2 semestres
- Livre : Conversion Electromécanique
- Exercices + résumés + quiz
pdf cours: Moodle
- TP semestre 6
- 7 crédits à la fin semestre II (!)



Supports de cours

- Notes de cours des étudiants
- MOOC (Massive Online Open Course)
 - <https://courseware.epfl.ch/dashboard>

Titre du cours : Conversion Electromécanique I & II

- Moodle :
Cours MICRO-313 (notes manuscrites, exercices et corrigés)
- Livre Conversion Electromécanique



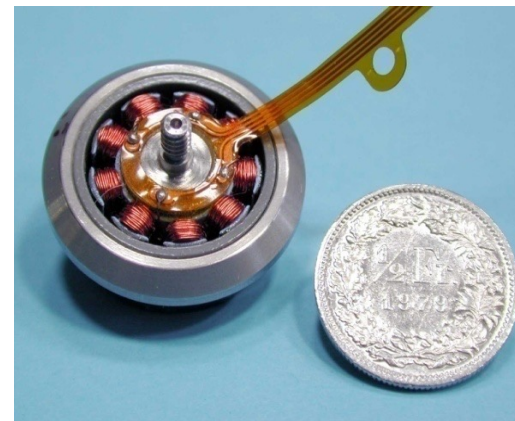
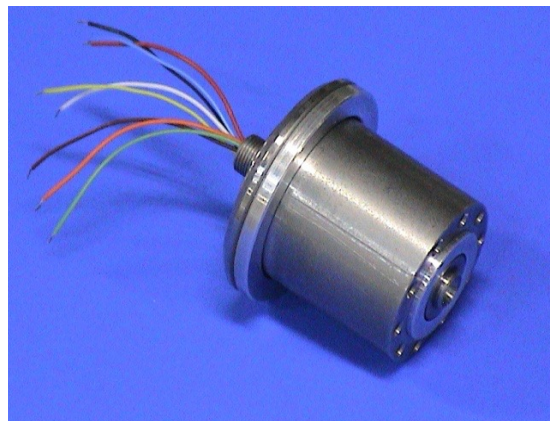
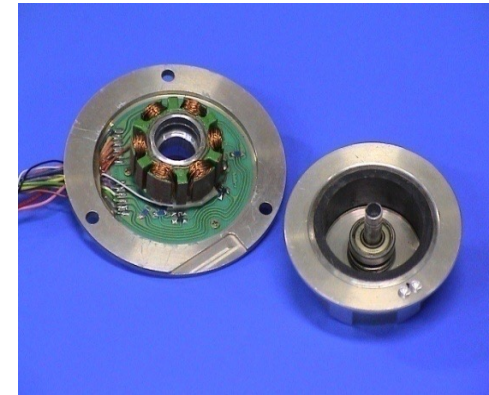
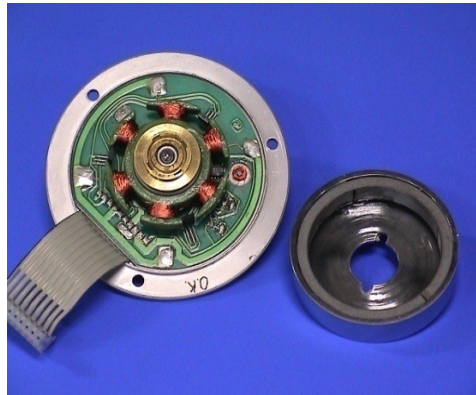
Examen

- Ecrit session été : plusieurs exercices à résoudre
- Droit à toute la documentation ? Encore ouvert
- Exercices durant le cours ne comptent pas (pas de bonus)
- Matière : ce qui est fait au cours durant les 2 semestres
- 7 crédits : 71% exa écrit, 29%TP (2/7)



Quelques exemples : Seagate

EPFL

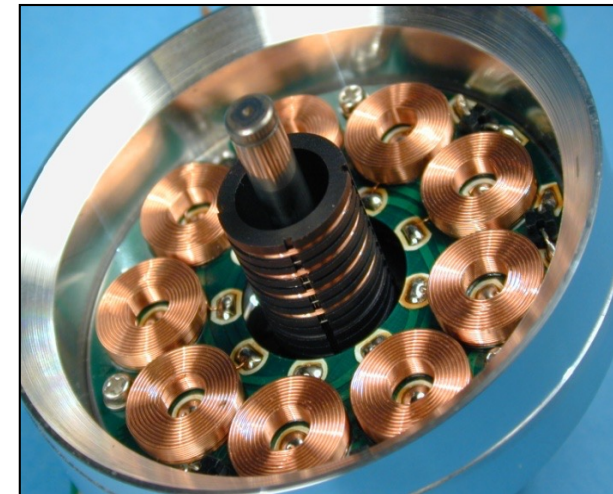
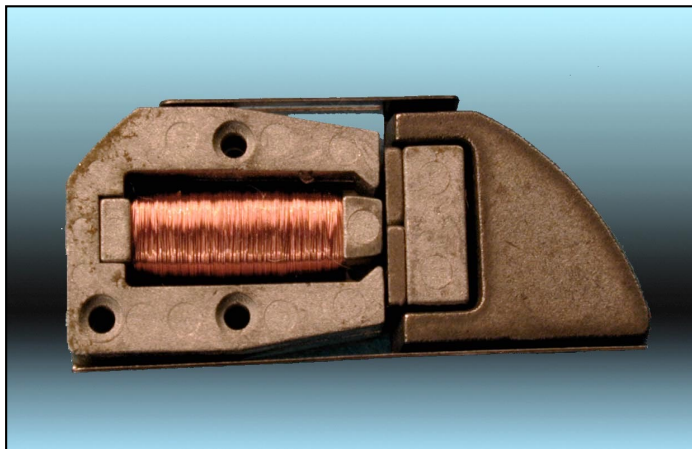
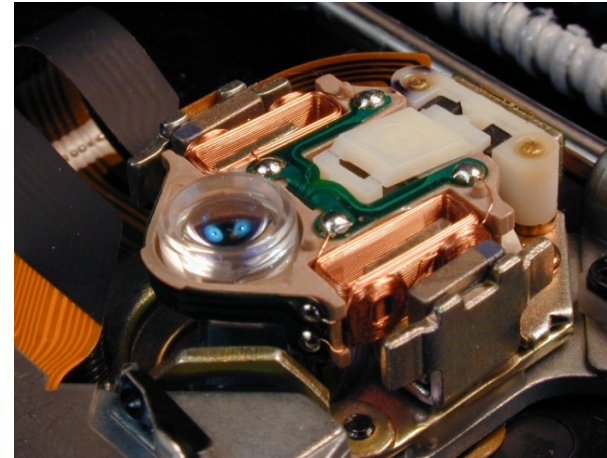


Robotique



Intégration et choix

- *Multiplication des fonctions par système*
- *Utilisation du concept "contactless"*
- *Analyse globale de l'entraînement*



Moteur Lavet utiliser dans une montre

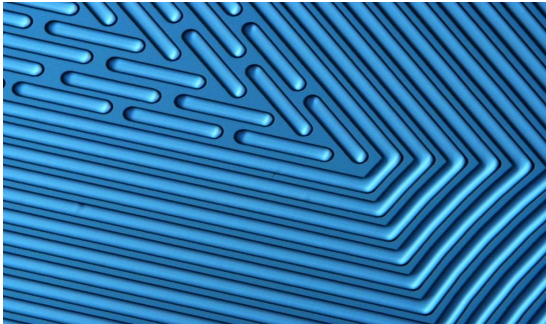
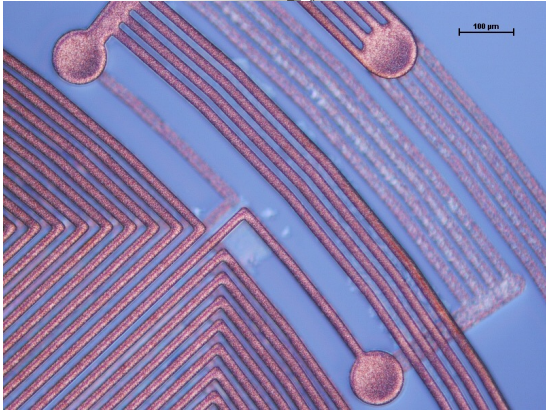
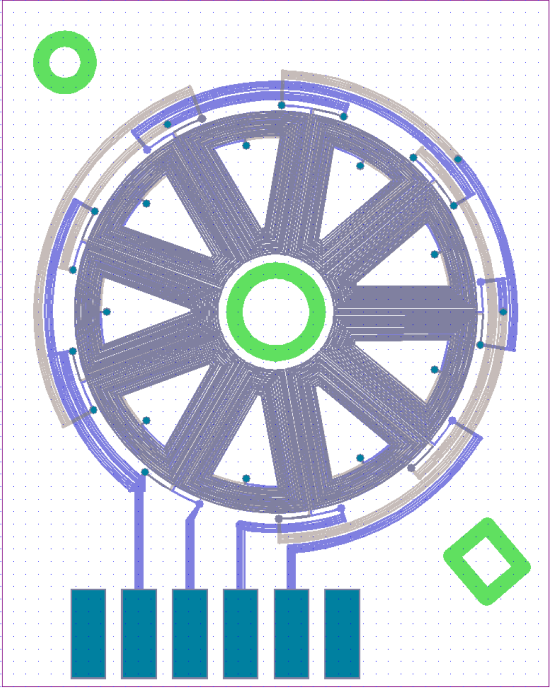
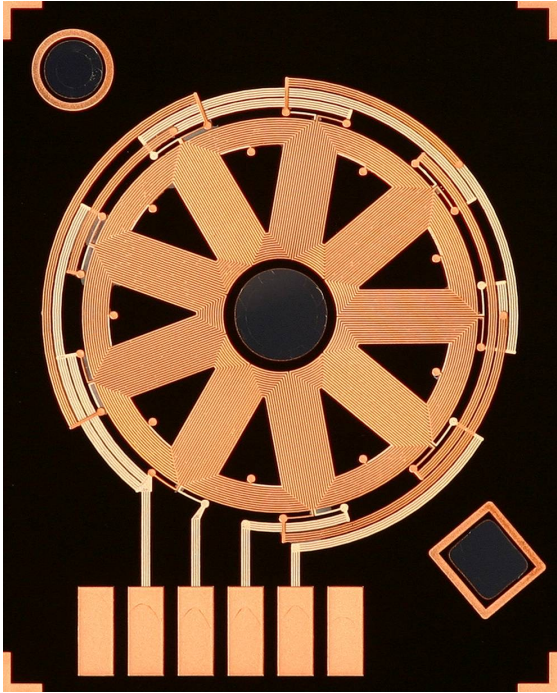
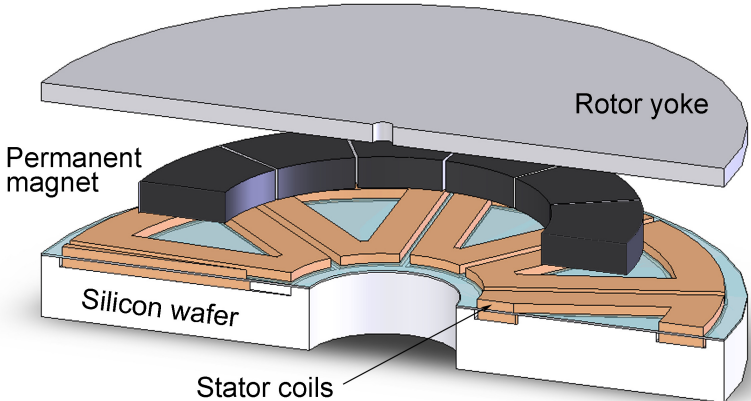


Source : Swatch Group

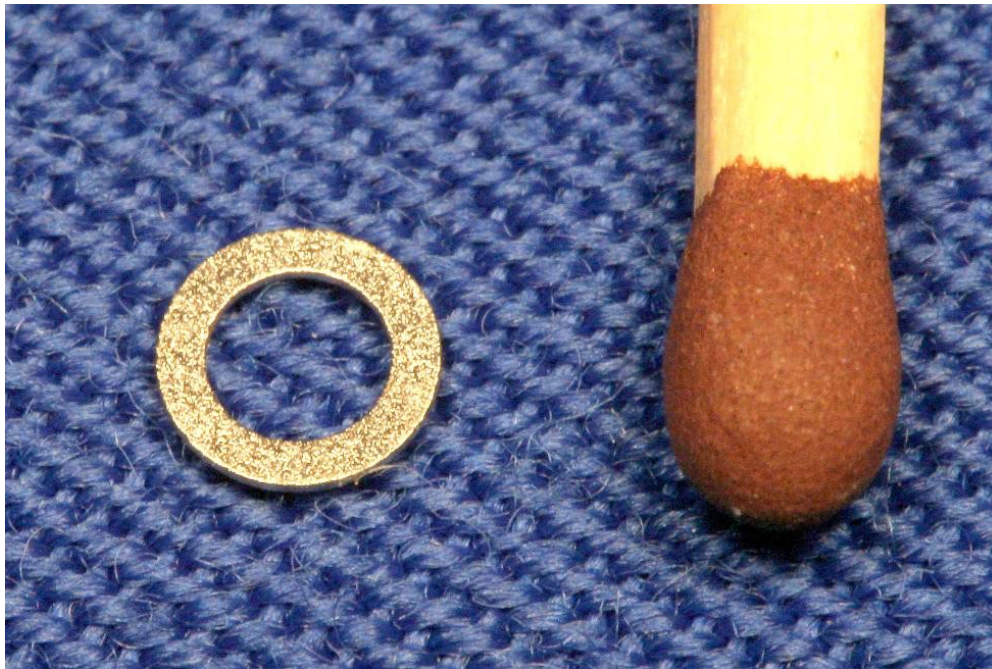
Rendement du moteur environ 15%

MEMs hybride

*Moteur 3 phases
Processus batch*



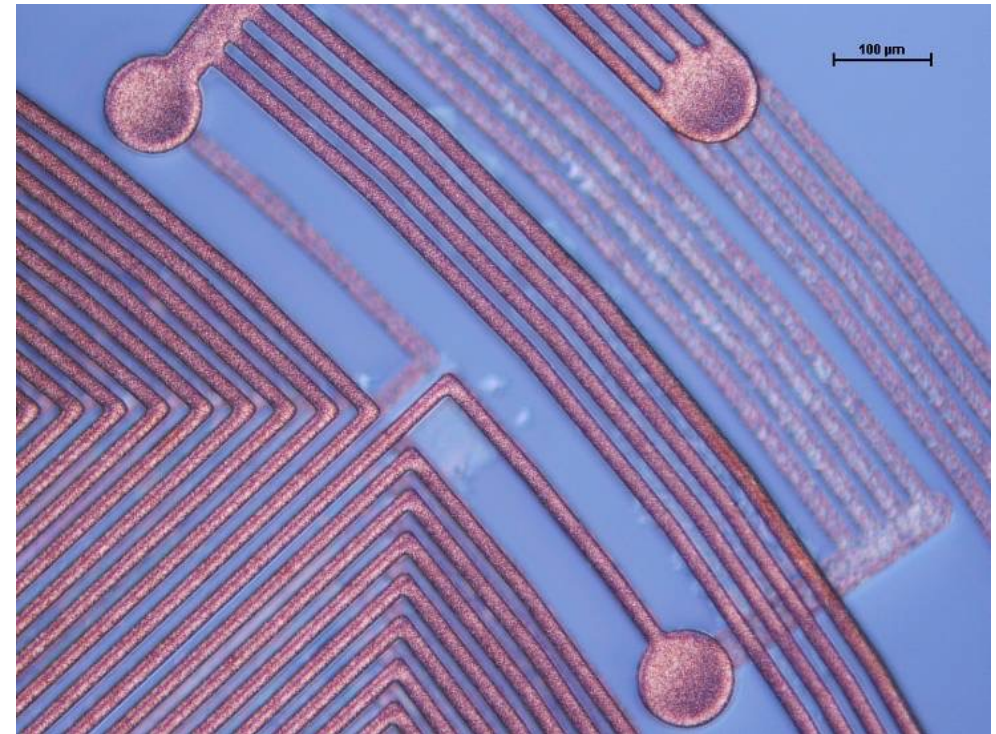
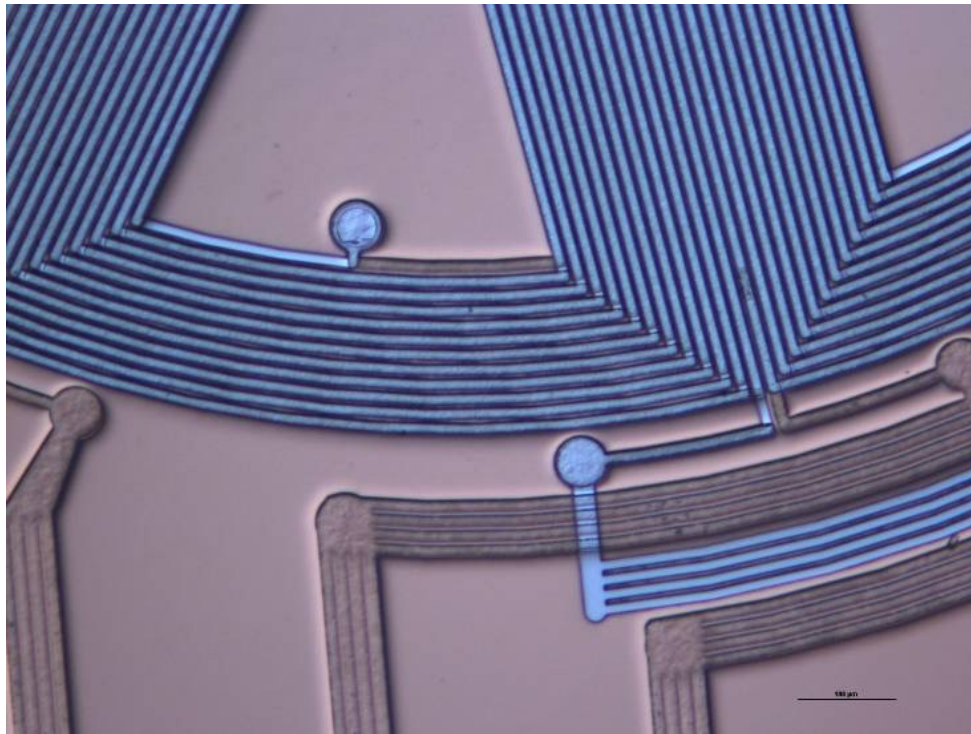
Rotor



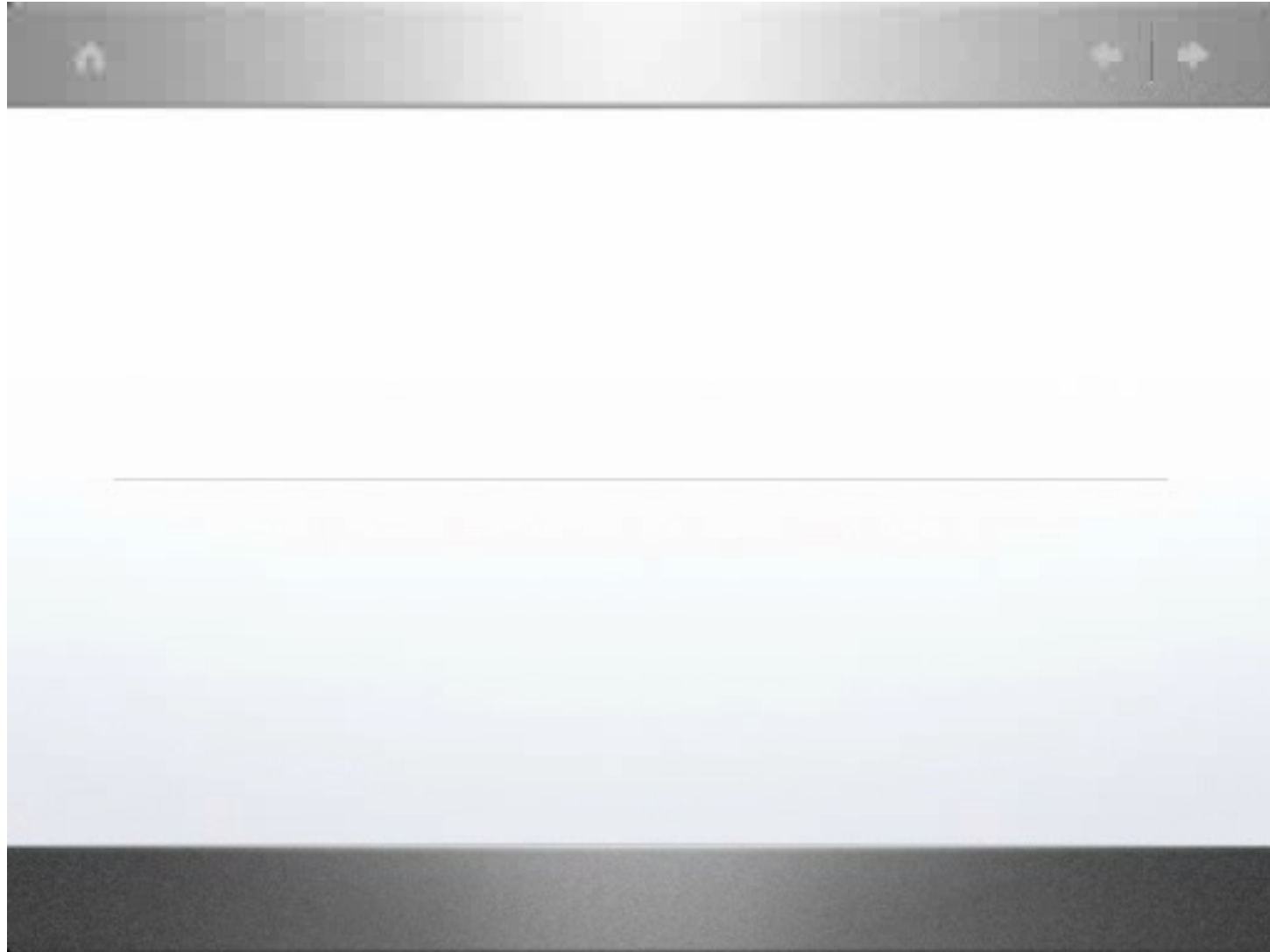
- Anneau multipolaire (12 poles)
- $B_r = 0.95 \text{ T}$, $\varnothing_{\text{ext}} = 4.0 \text{ mm}$, $\varnothing_{\text{int}} = 2.6 \text{ mm}$



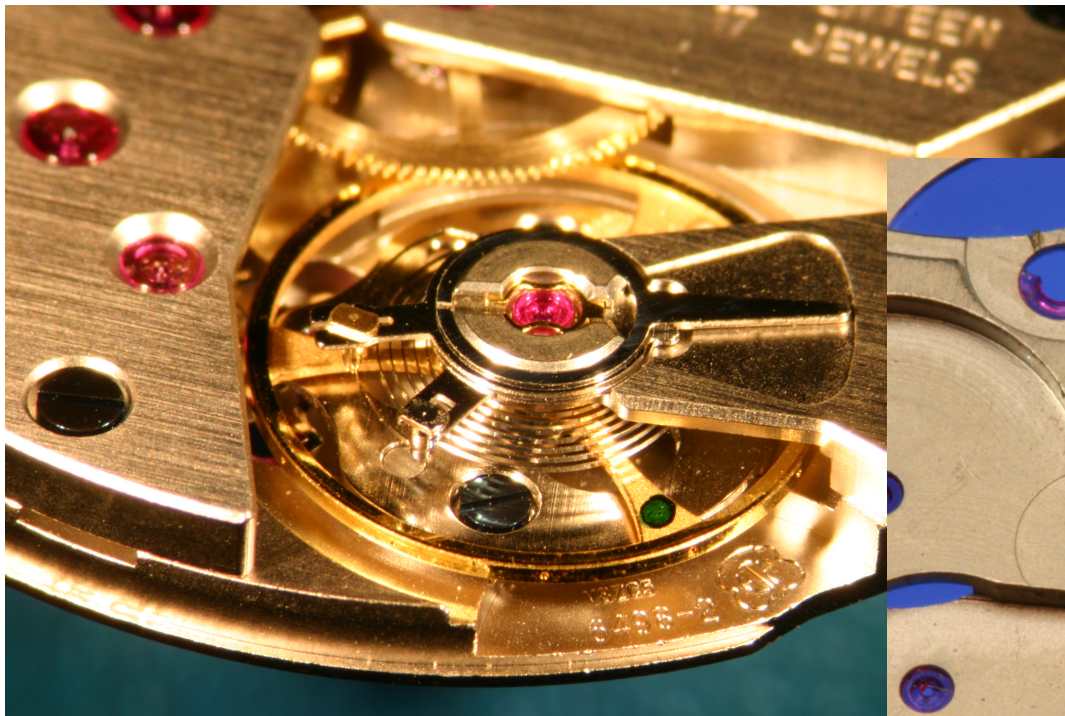
Images du bobinage



Rendement du moteur 42% EPFL

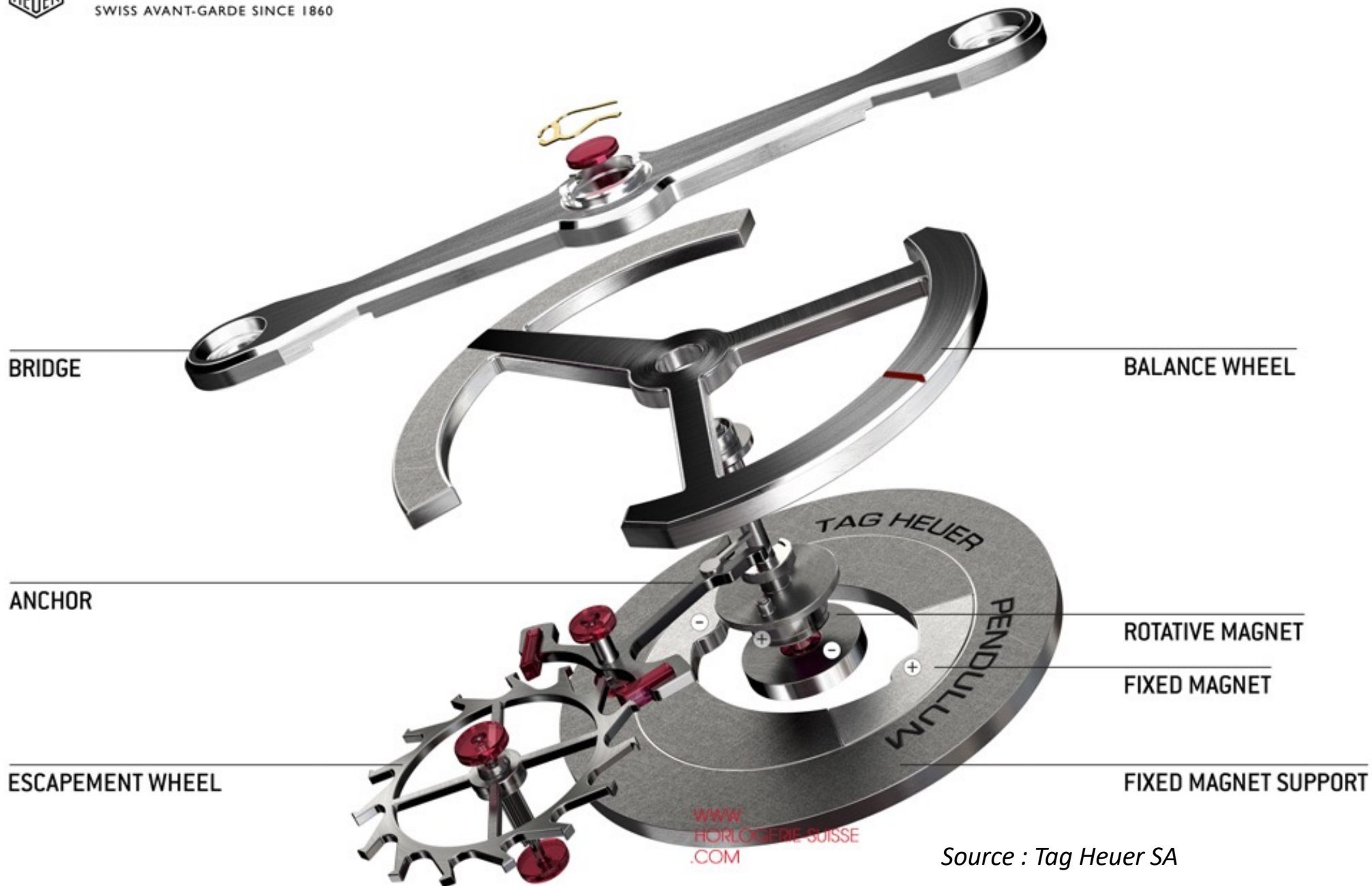


Un nouvel oscillateur magnétique pour Tag Heuer

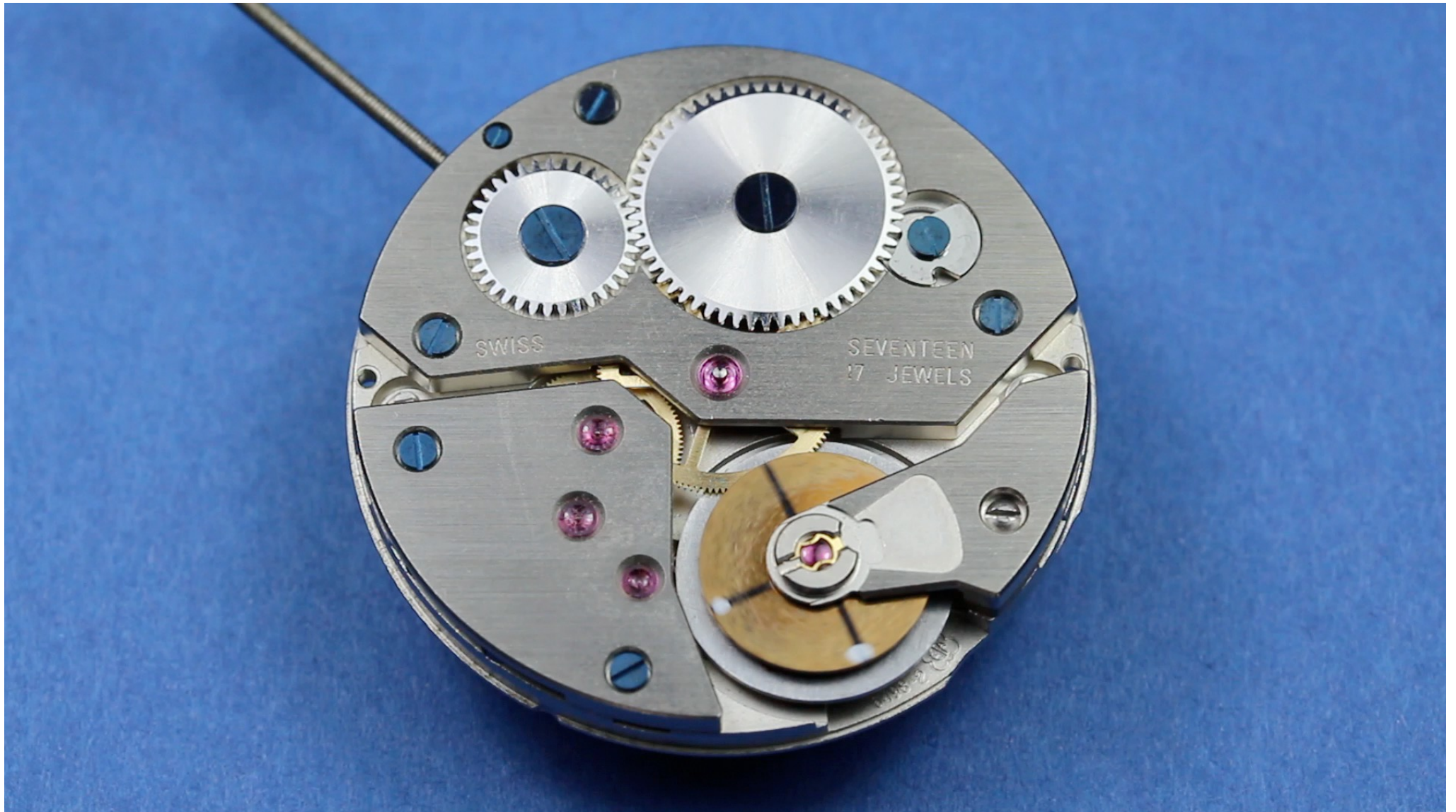




TAG Heuer
SWISS AVANT-GARDE SINCE 1860







Échappements horlogers EPFL

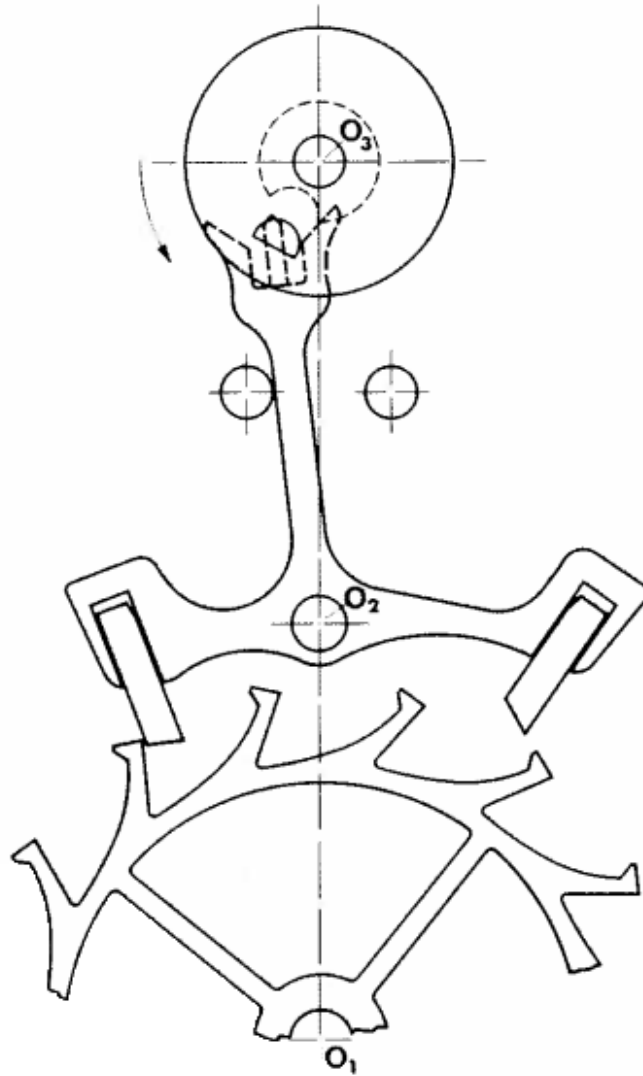
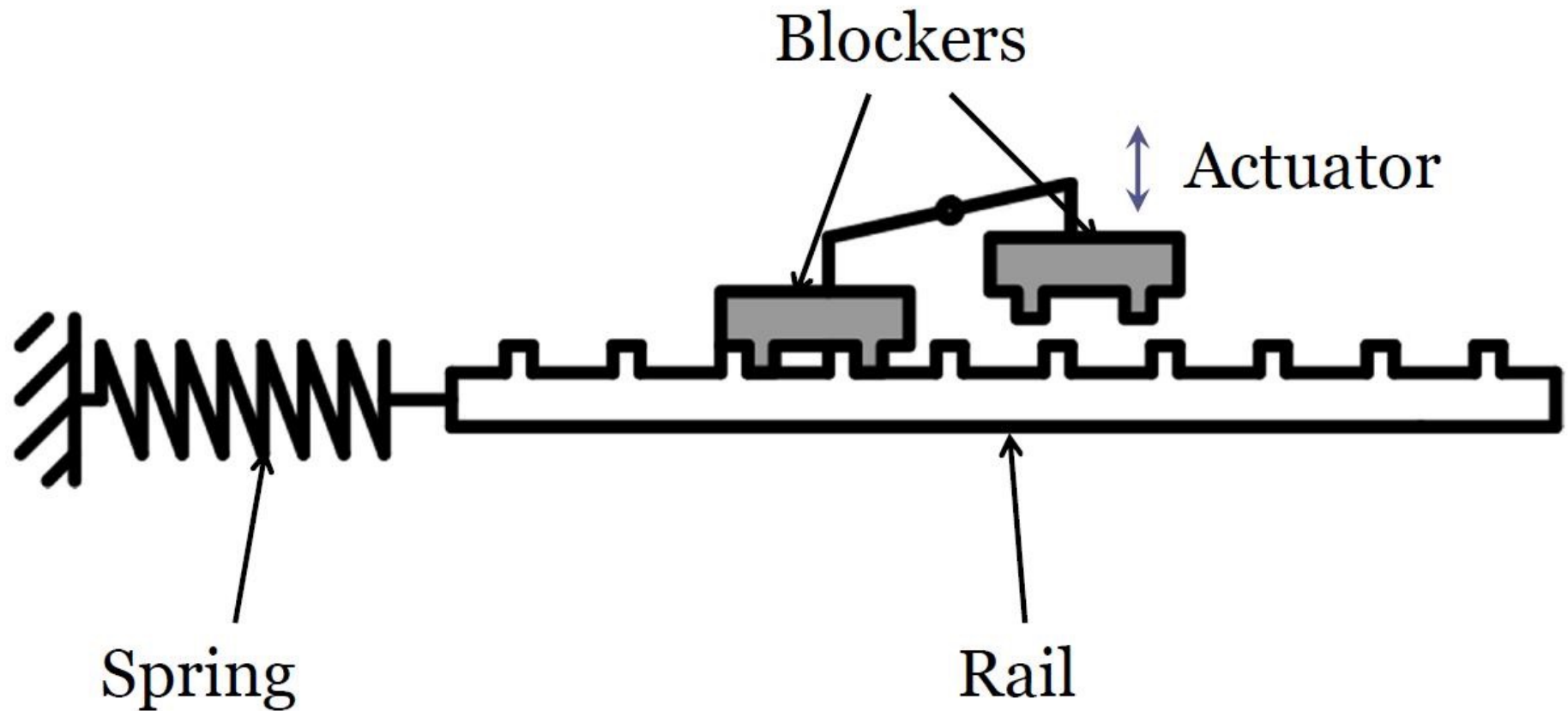


Image: Ch. Huguenin. Echappements et moteurs pas à pas. FET-Neuchâtel, 1974.

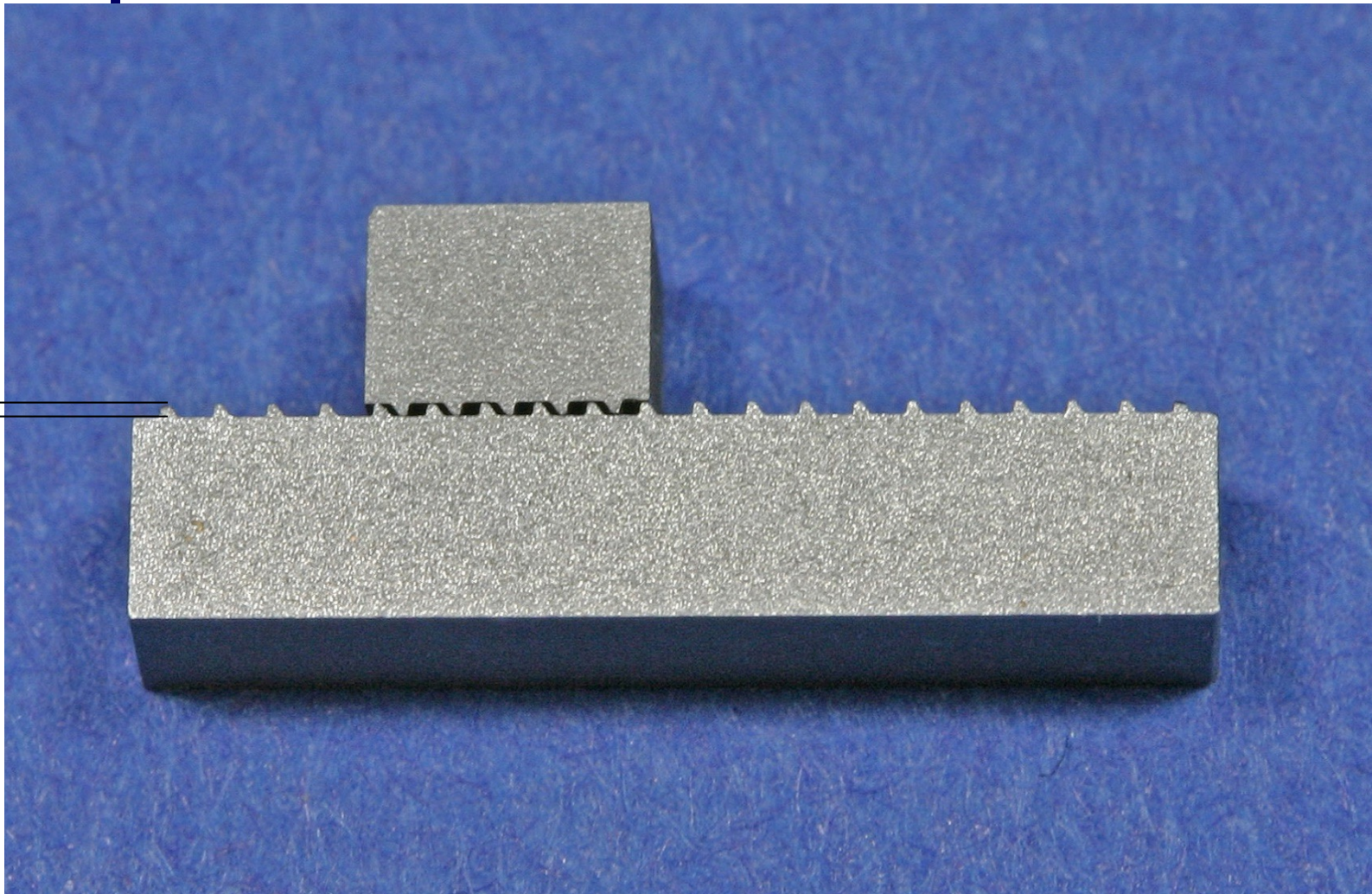


Notre système d'échappement

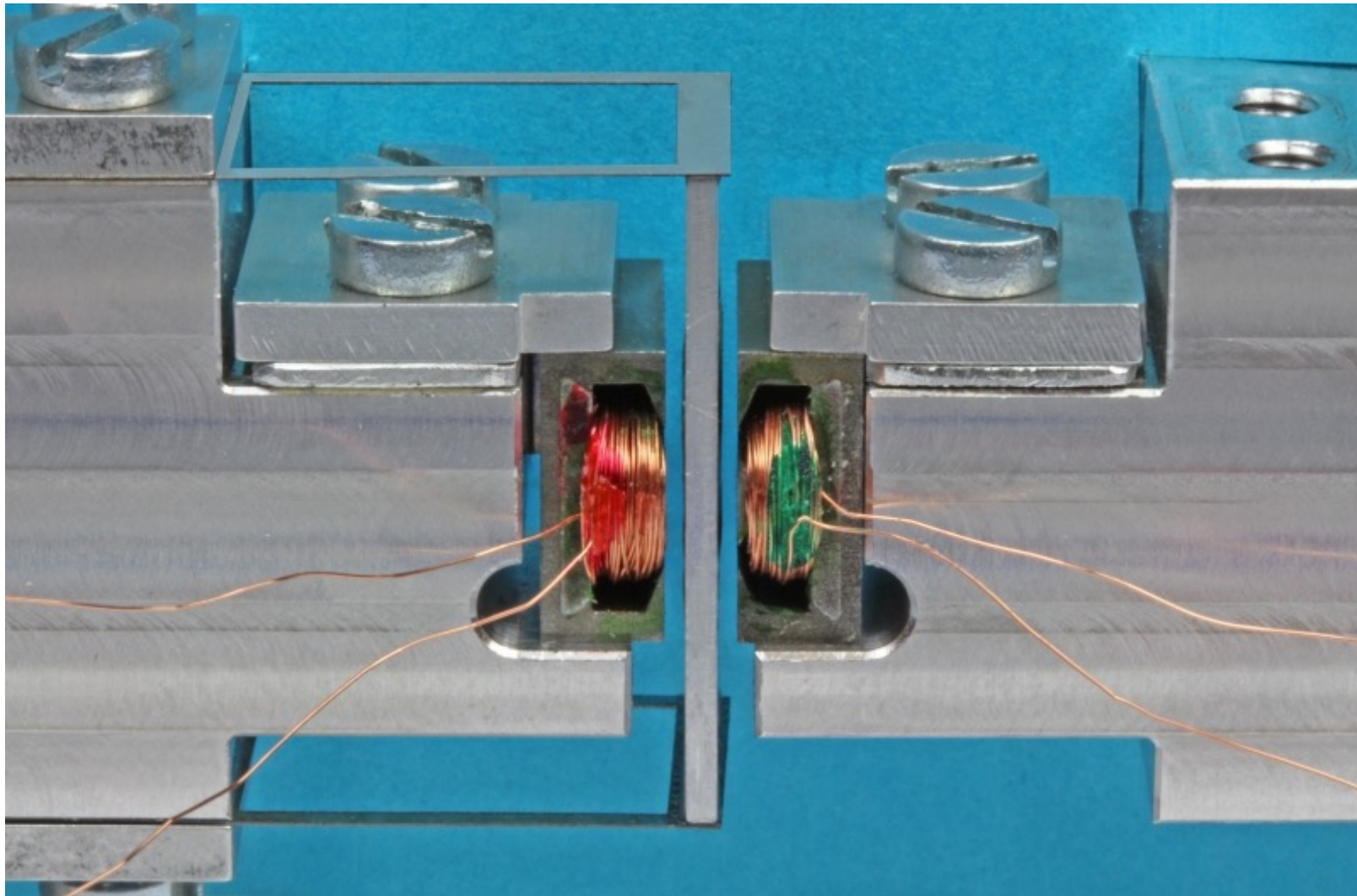


Bloqueurs et rail

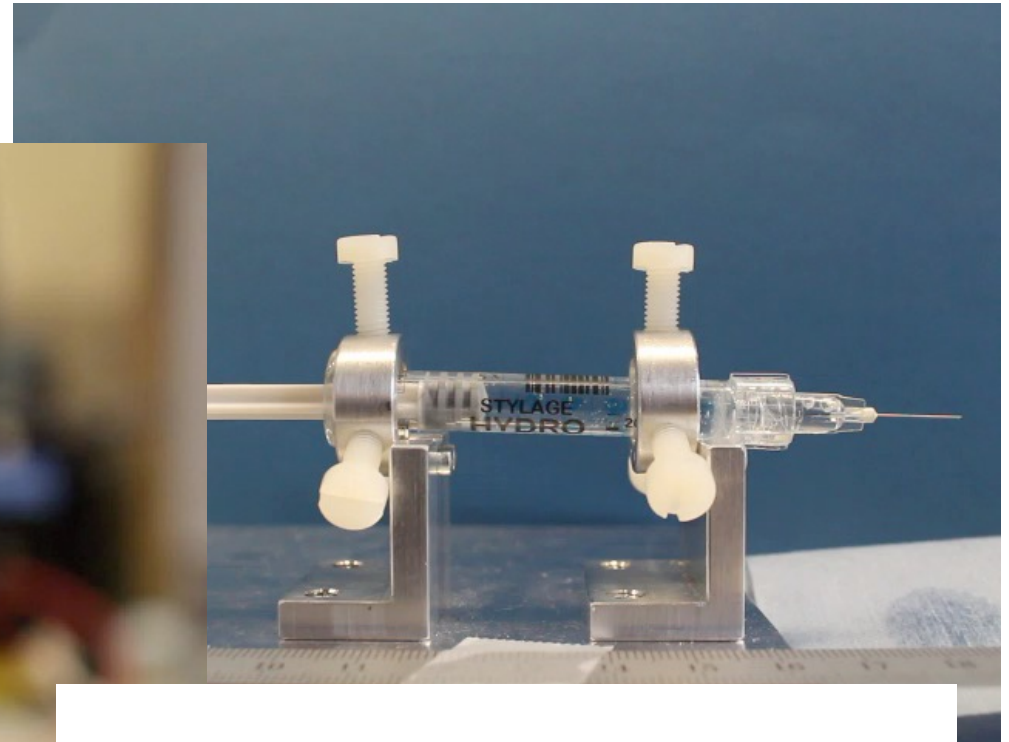
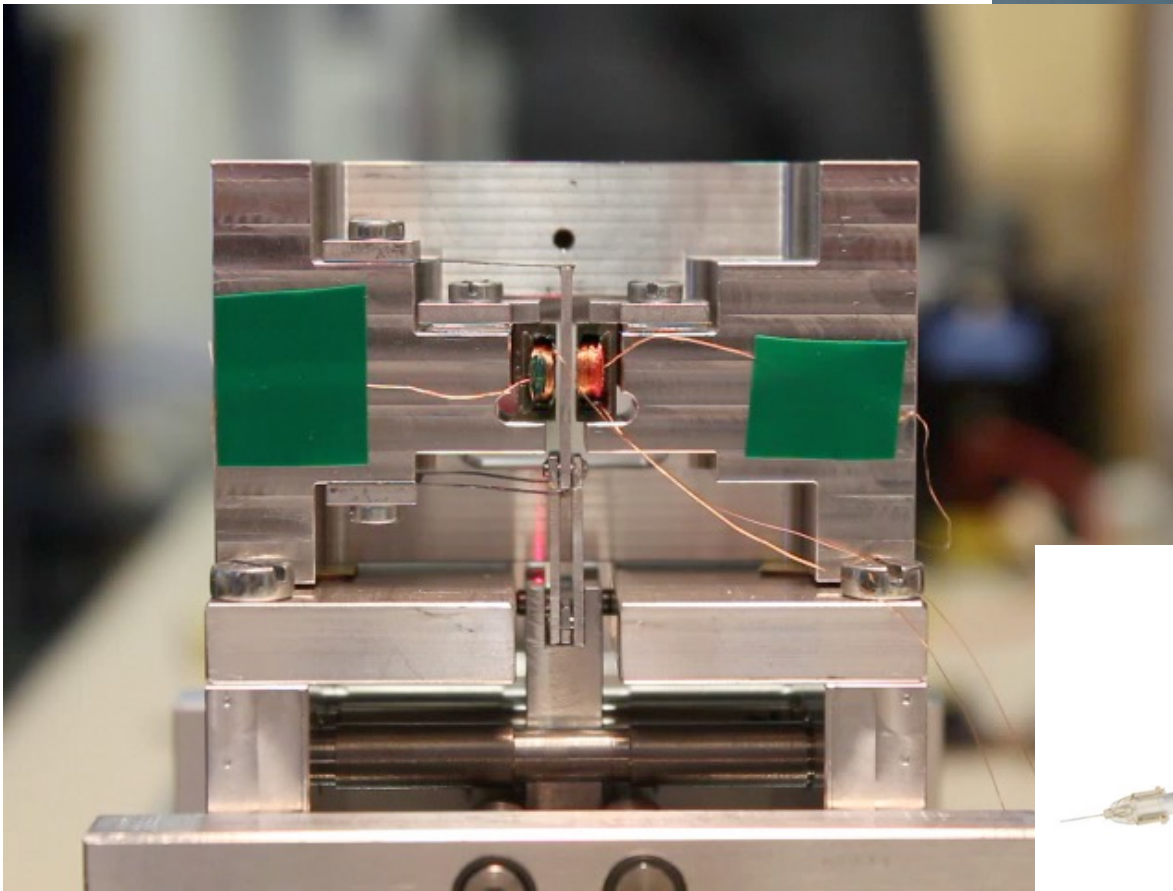
$0.2m$
 m



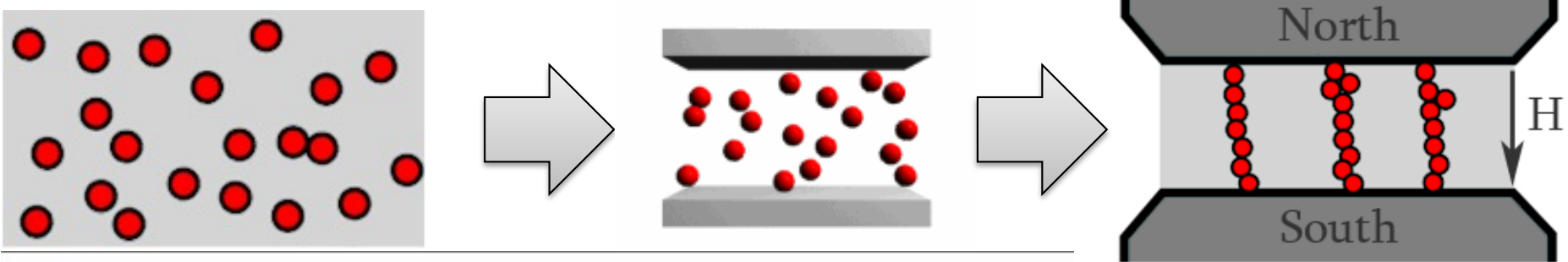
Actionneur



Prototype



Matériaux magnétiques liquides !

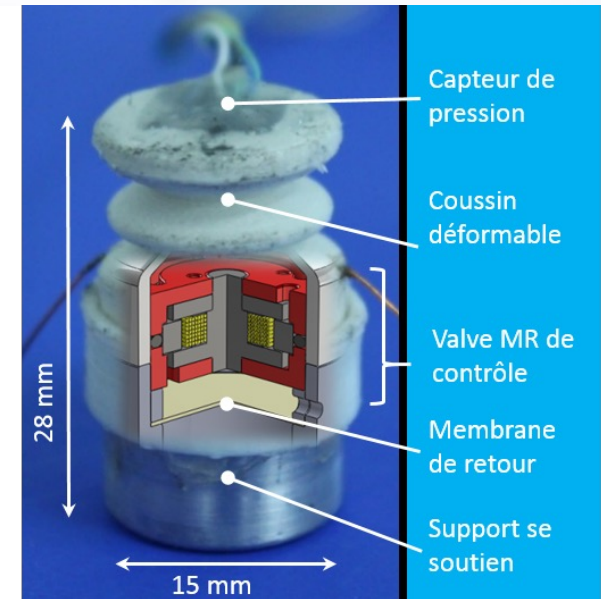
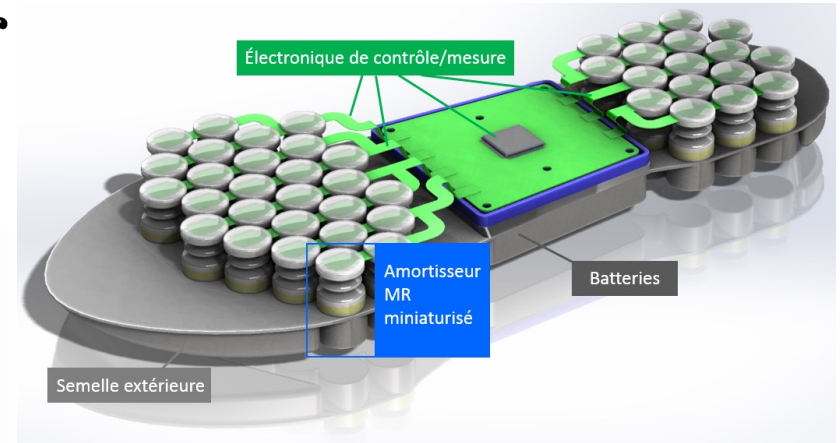
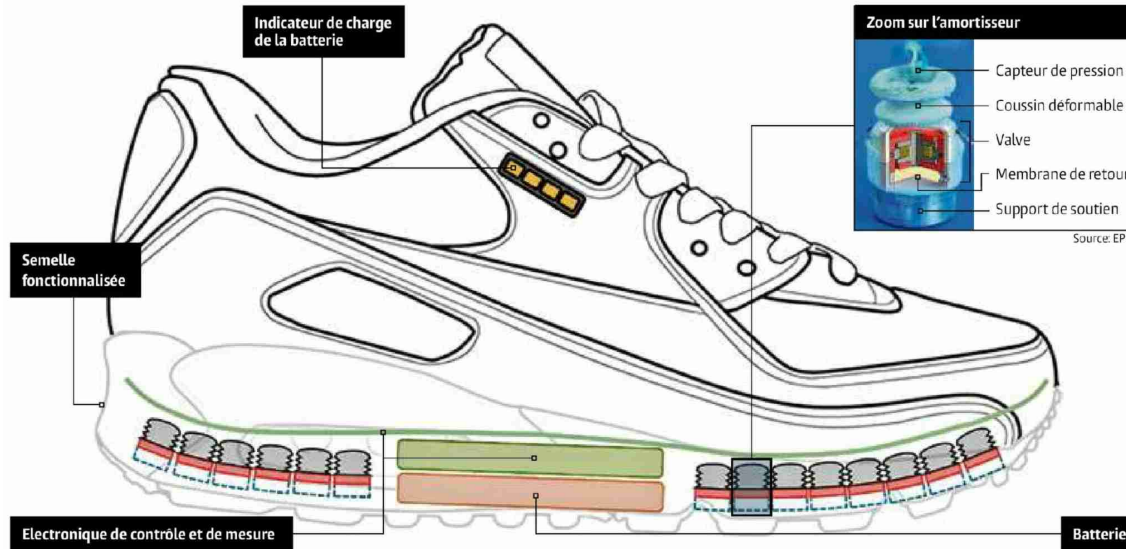


**Sachiko Kodama, Yasushi Miyajima, "Morpho Towers", ferrofluid*



Des chaussures intelligentes pour lutter contre le « pied diabétique »

SANTÉ Les HUG et l'EPFL développent des semelles capables de prévenir les blessures aux pieds des diabétiques, sources d'amputations



SYLVIE LOGEAN

Toutes les trente secondes. C'est la fréquence à laquelle une amputation est réalisée sur un patient diabétique dans le monde. Malgré des efforts importants en termes

geste chirurgical lourd peut atteindre 30% dans les 30 jours qui suivent l'opération, et 50% après un an.

Un concept totalement nova-

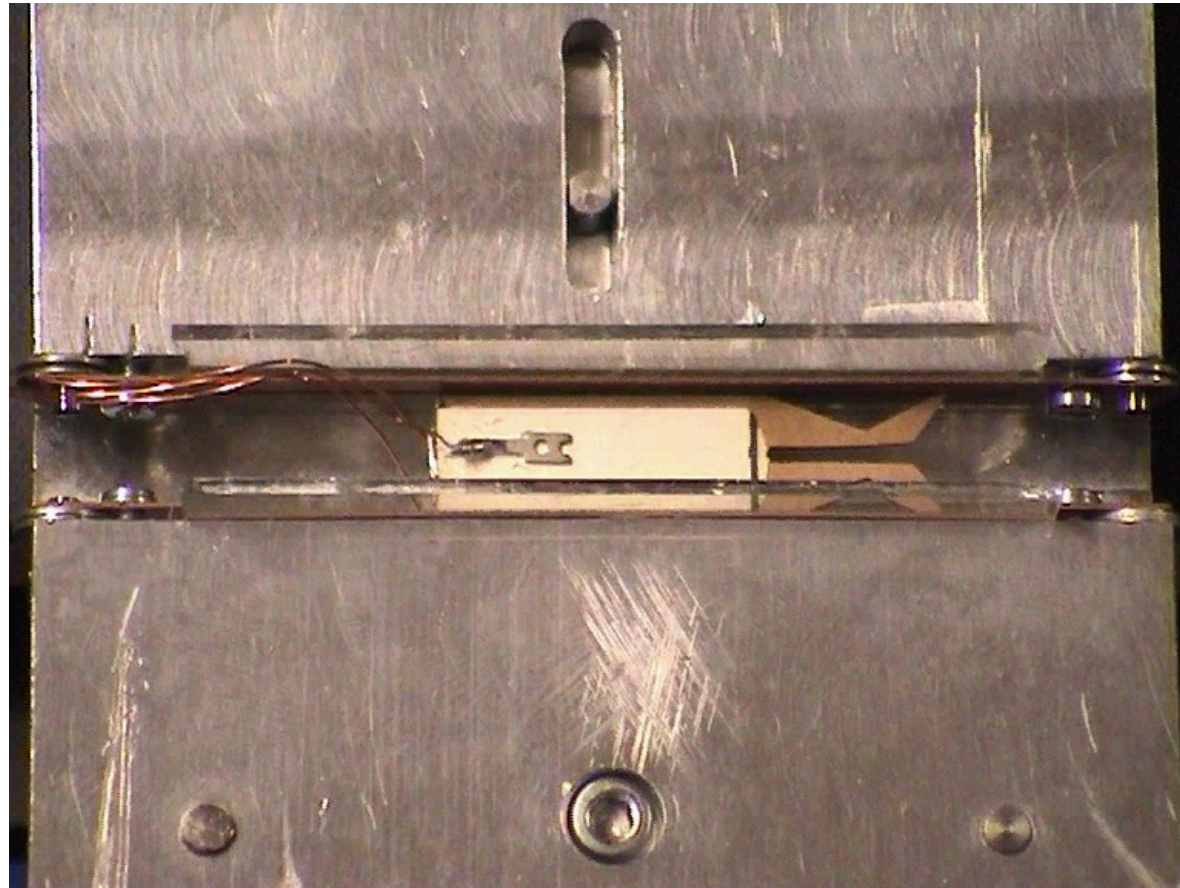
Traitements compliqués

« Il faut savoir que 85% des amputations chez les diabétiques sont précédées d'un ulcère plantaire principalement dû à une



Exemple



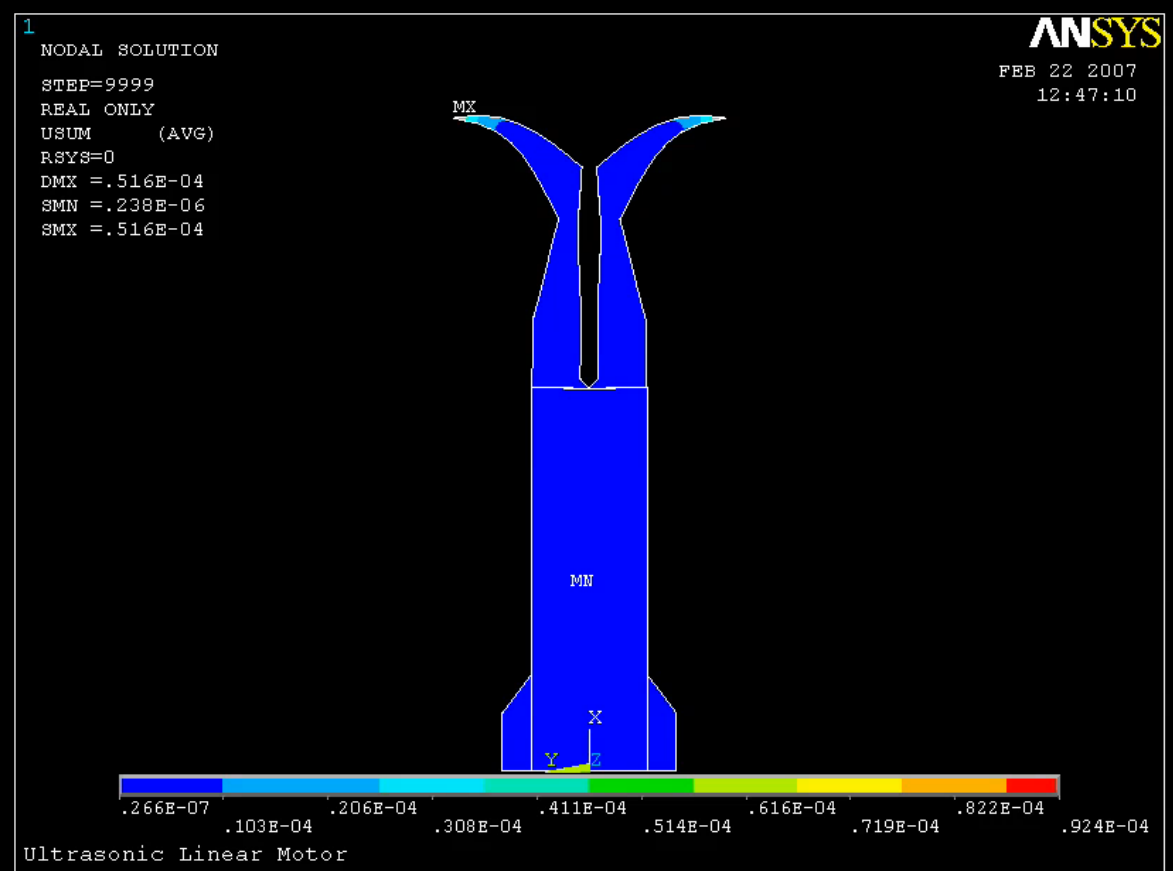
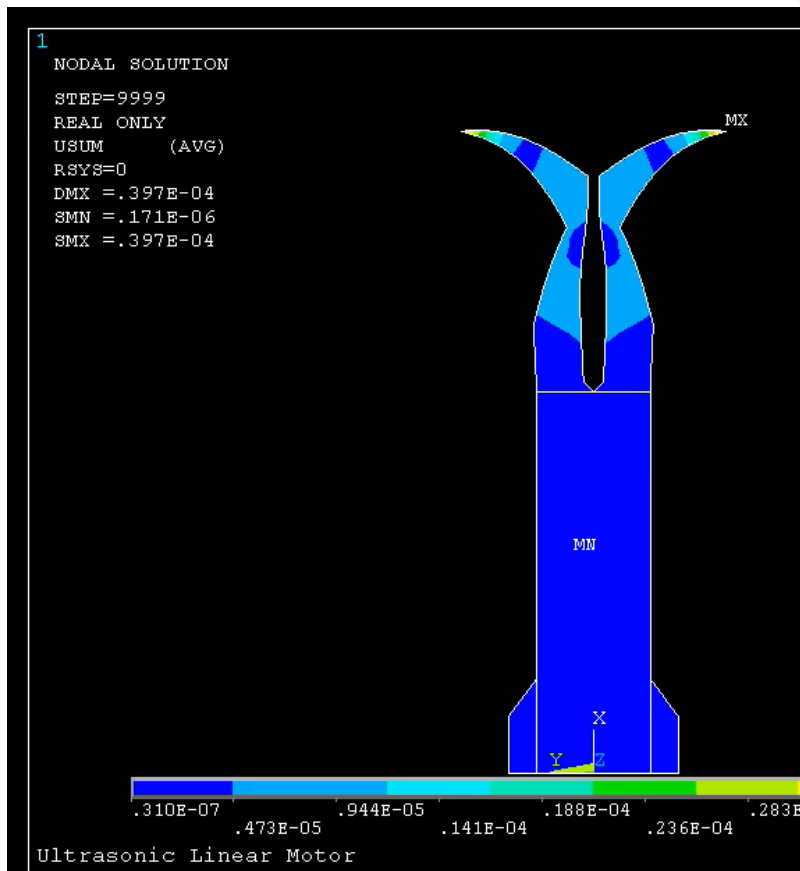


Séquence de déformation du résonnateur EPFL

Reverse motion: 69 kHz



Forward motion: 84 kHz



WSS

WERNER SIEMENS-STIFTUNG

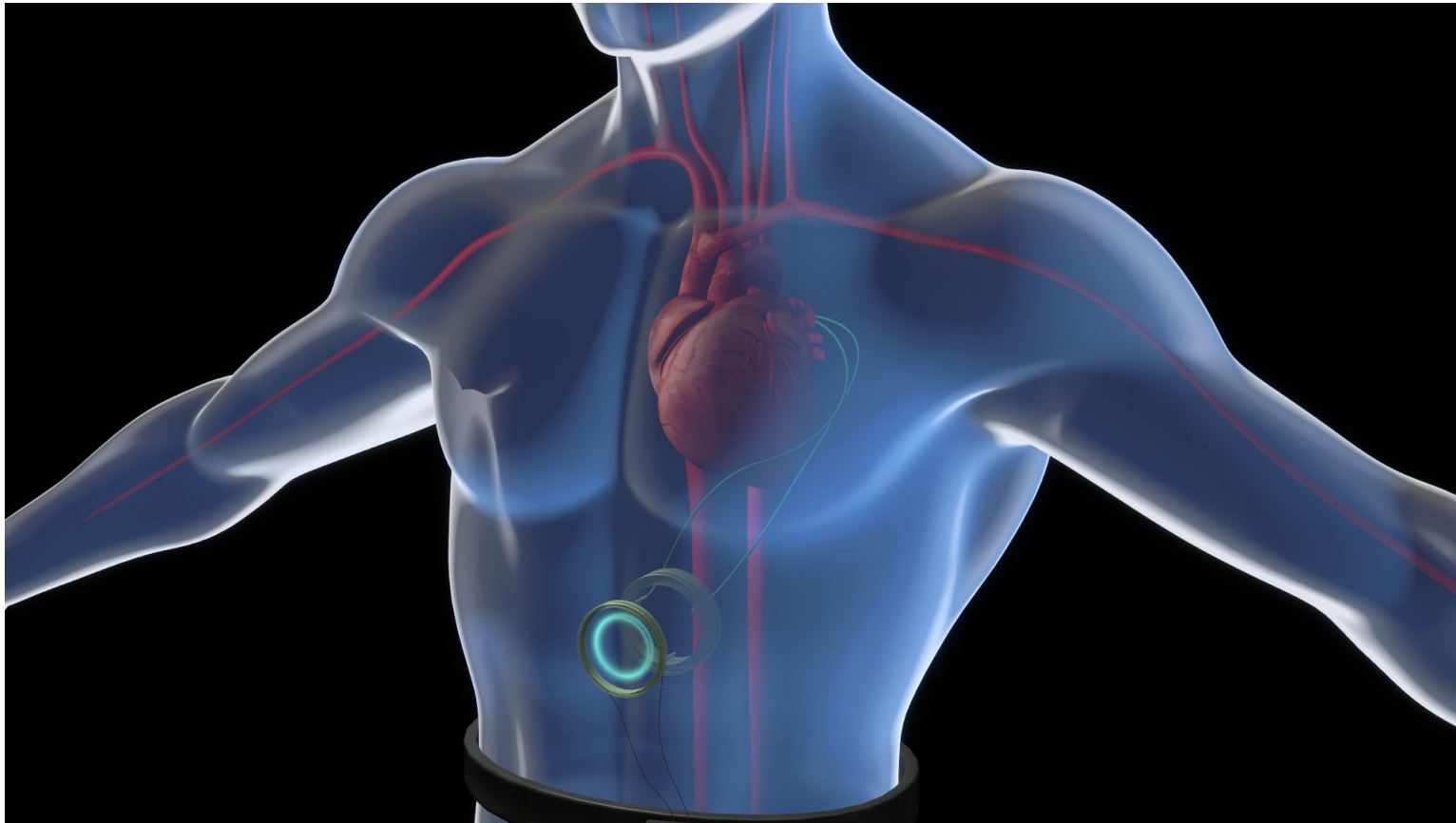


EPFL Ecole polytechnique fédérale de Lausanne

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

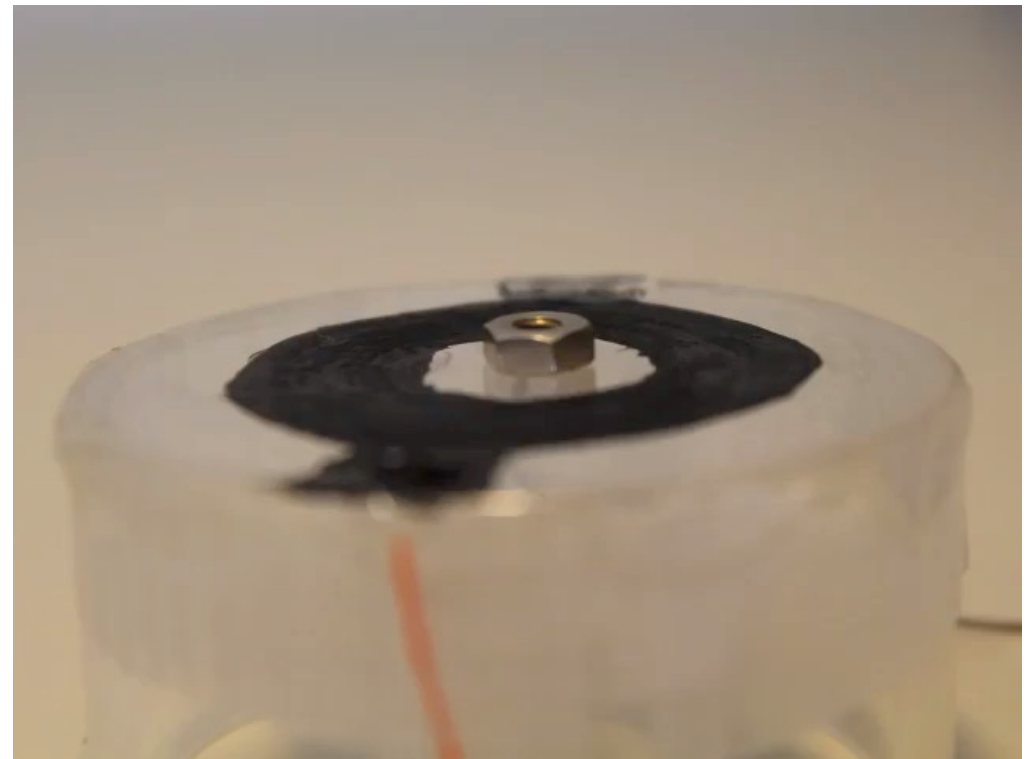
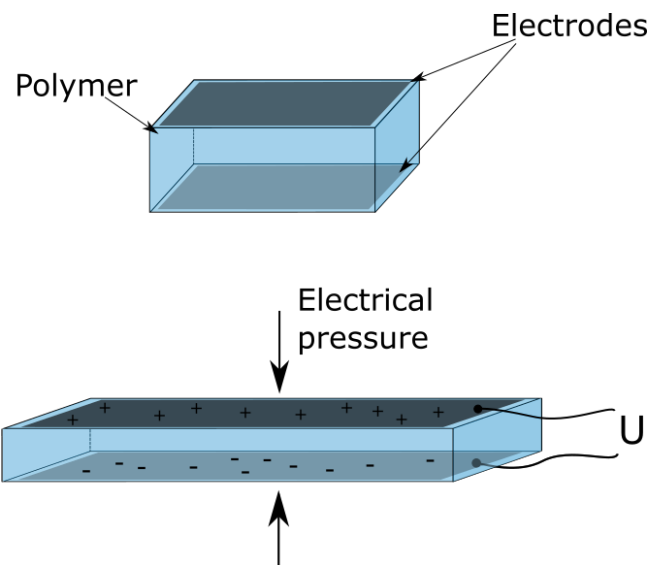
*EPFL Research Day - Neuchâtel
2019.09.11
Prof. Yves Pernard*

EAP : ELECTRO ACTIVE POLYMER

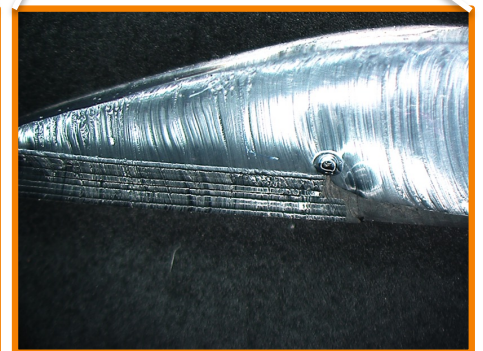
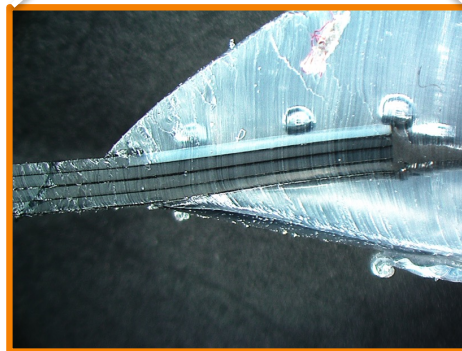
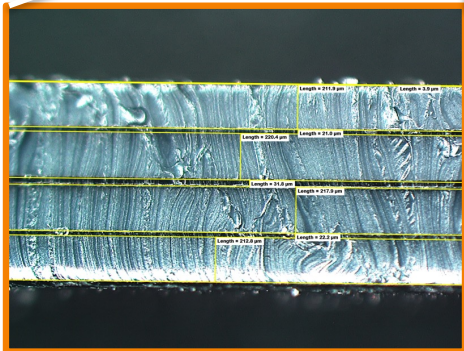
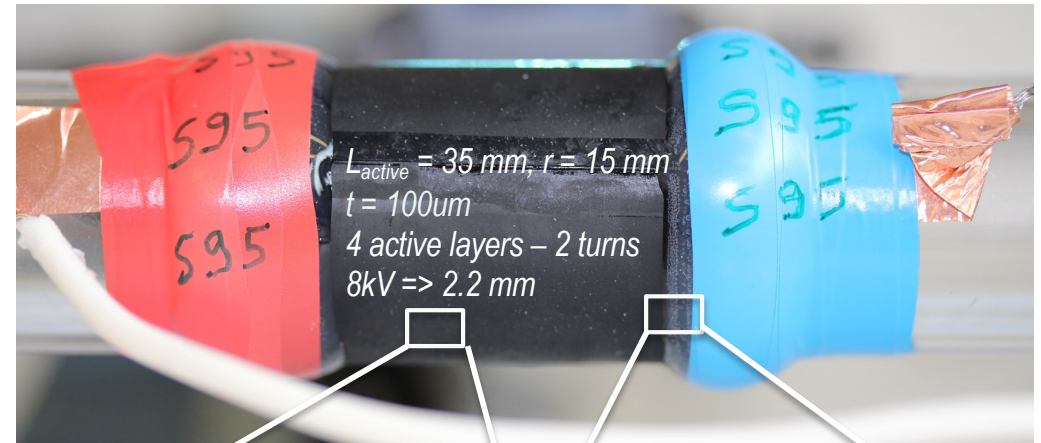
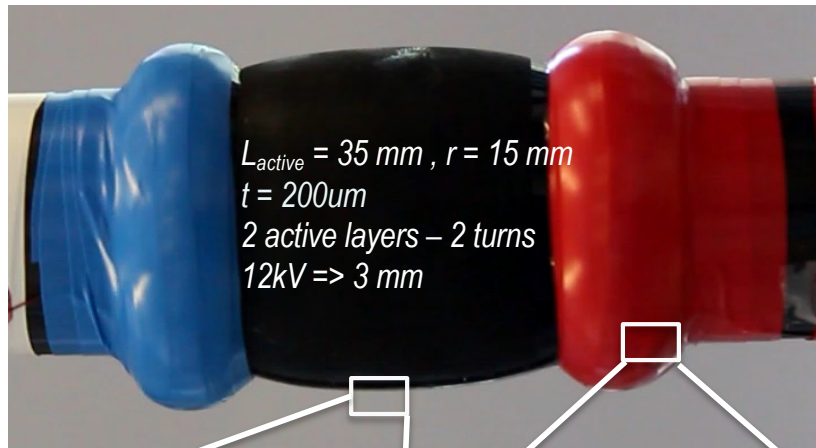


What is a Dielectric Elastomer Actuator (DEA) ?

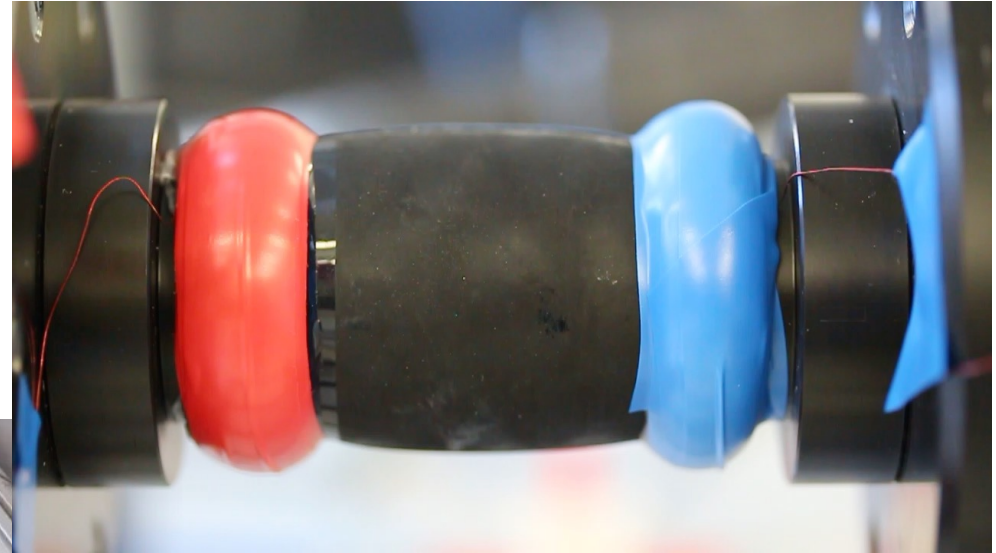
- Polymer: **Soft** membrane as support and insulator
- Compliant **electrodes**
- **High Voltage**



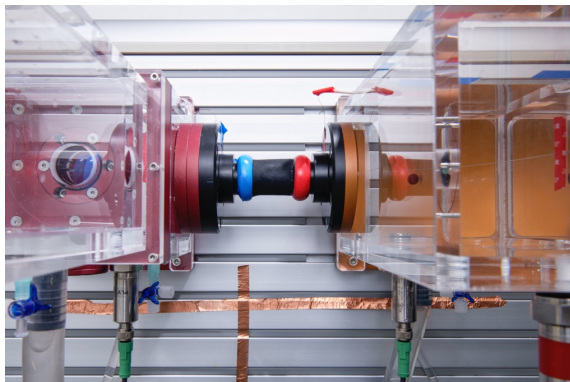
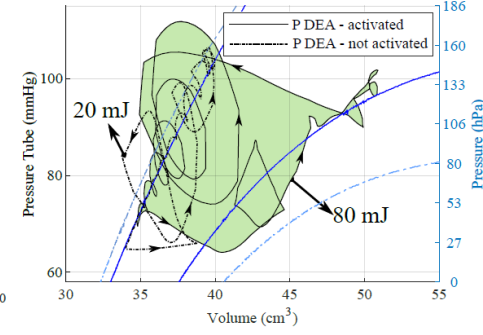
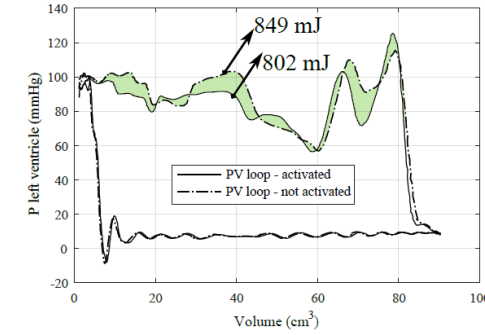
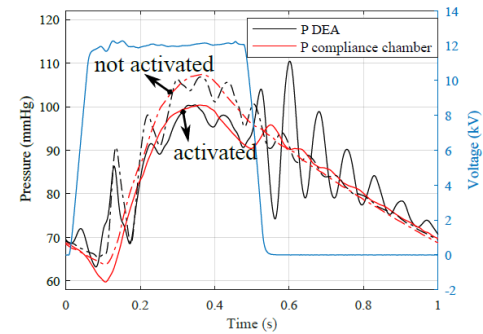
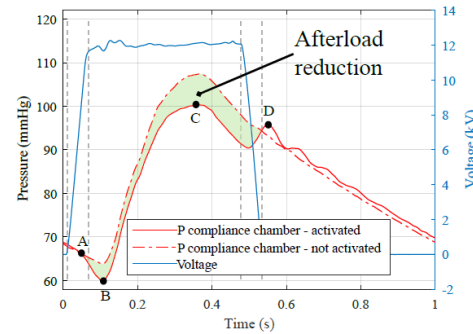
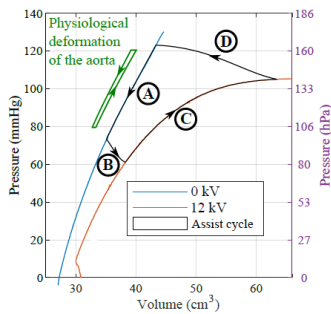
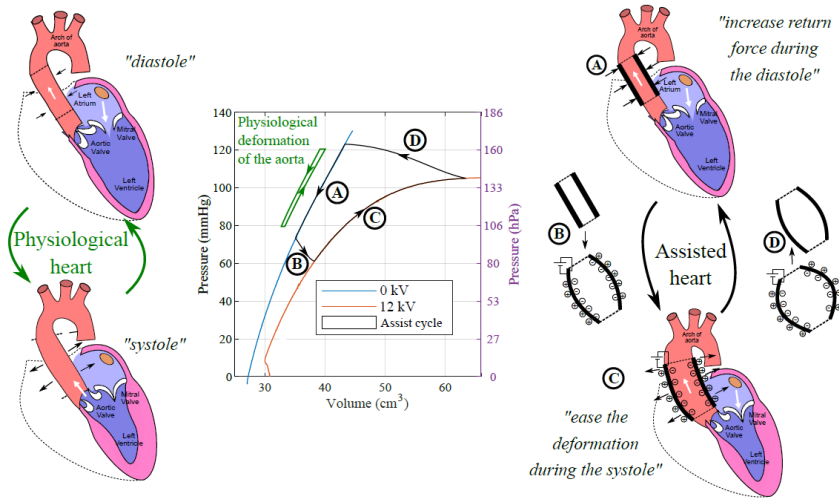
Tubular DEA



In-vitro test : Flowloop



DEA based assisting device

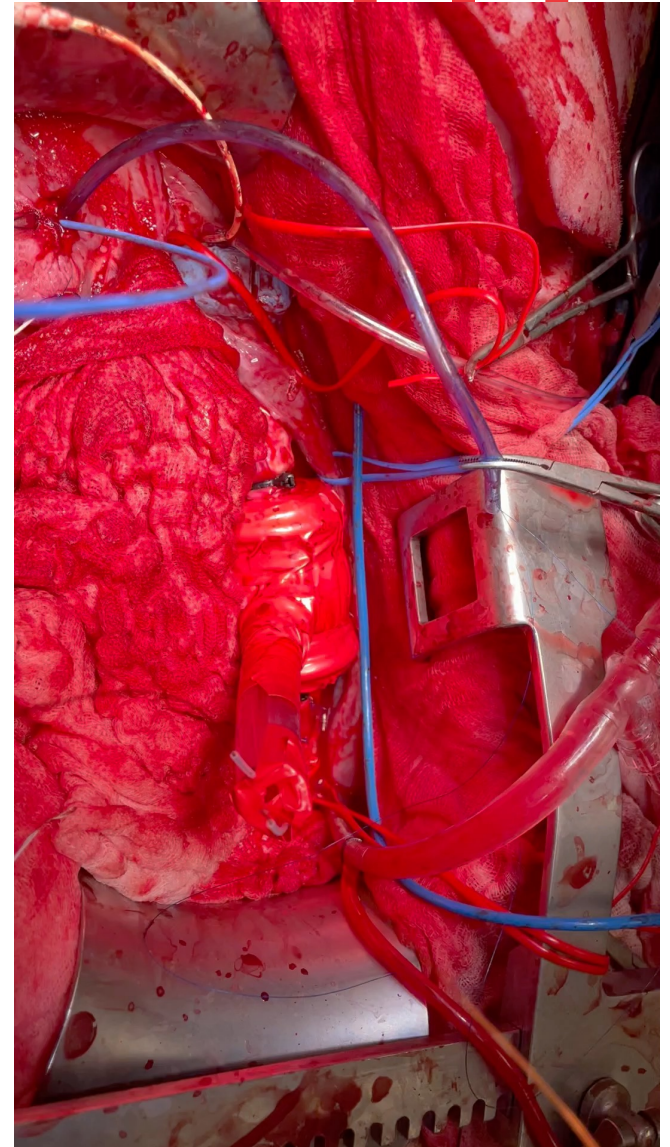
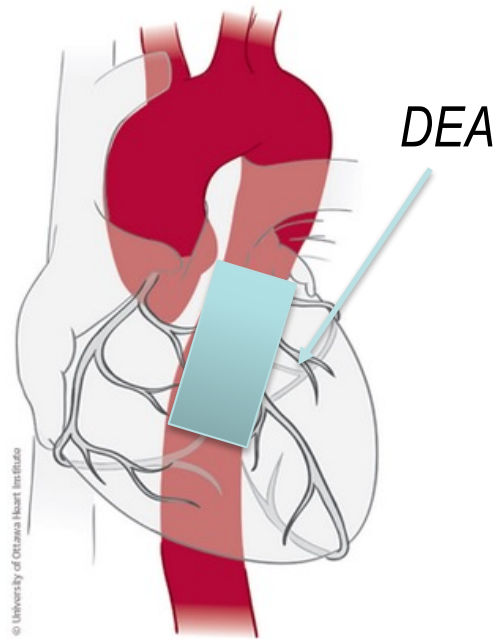


Feasibility of a Dielectric Elastomer Augmented Aorta
 Morgan Almanza, * Francesco Clavica, Jonathan Chavanne, David Moser, Dominik Obrist, Thierry Carrel, Yoan Civet, and Yves Perriard
 Advanced Science. 2021-01-25. Vol. Volume 8, num. Issue 6. DOI : 10.1002/advs.202001974.

In Vivo animal experiments, April 22th, InseI Spital



In Vivo animal experiments



Programme 5^{ème} sem.

- Circuits magnétiques
- Conversion électromécanique
- Aimants permanents
- Comportement dynamique
- Début classification



Programme 6^{ème} sem.

- Fin classification
- Champ tournant
- Moteur à courant continu
- Moteur synchrone et courant continu sans collecteur
- Moteur asynchrone
- Système d'entraînement



Un peu d'histoire ...

- Pendant l'antiquité, deux phénomènes à distance étaient observables et suscitaient beaucoup d'intérêt de questions :
 - celui de l'attraction d'un petit morceau de fer par la pierre d'aimant
 - celui de la paille attiré par un morceau d'ambre frottée



Antiquité

- Ces phénomènes étaient-ils réellement des observations d'action à distance ou bien y avait-il un vecteur invisible ? Dans tous les cas, ils étaient souvent confondus ...



Magnétite ou « pierre d'aimant »



Source : *histoire de l'électromagnétisme, Julien Geandrot*



Ethymologie

- Le mot électricité provient du mot “elektron” qui signifie ambre en grec. On doit l'invention de ce mot à William Gilbert (16^{ème} siècle) ;
- Le mot magnétisme a été créé à partir de la région de Magnésie (nord de la Grèce). C'est là qu'à l'antiquité on a découvert la pierre qui avait la propriété d'attirer le fer



Ethymologie

- Le mot aimant est apparenté au mot diamant : cela viendrait de “adamas” en grec, qui signifierait inébranlable. On qualifiait les pierres extrêmement dures avec cet adjectif.



Magnésie



Source : wikipedia



Ambre



Source : *histoire de l'électromagnétisme, Julien Geandrot*



Feng shui

Les chinois avait découvert cette magnétite il y a longtemps, cette pierre, trouvée dans la région de Magnésie, s'orientait dans une direction particulière. Alors, croyant en un message des dieux, ils pensaient que cette direction était sacrée.



Feng shui, cuillère boussole



Source : *histoire de l'électromagnétisme, Julien Geandrot*



Premier scientifique

- Pierre de Maricourt, surnommé Pierre le Pèlerin, (Petrus Peregrinus) est un savant du Moyen Âge.
- exposa au 13^{ème} siècle l'existence et la propriété (attraction-répulsion) des pôles magnétiques.
- La dénomination des pôles provient de son observation de la direction Nord-sud prise par l'aimant



Premier traité de physique

William Gilbert (1540-1603) qui publia après de nombreuses années d'expérimentation "De Magnete" ; probablement le premier vrai livre de physique.

Il reprit les expériences de Maricourt, mais exploita aussi de nouvelles expériences. Gilbert faisait très peu appel aux mathématiques.

Il n'accordait que peu de crédit aux formules ! Il n'a donc rien formulé mathématiquement ...



TRACTATVS

Siue
PHYSIOLOGIA NOVA
DE MAGNETE,
MAGNETICISQVE CORPO-
RIBVS ET MAGNO MAGNETE
tellure Sex libris comprehensus

à
Guilielmo Gilberto Colcestrensi,
Medico Londinensi.

*In quibus ea, quæ ad hanc materiam spectant pluri-
mis & argumentis ac experimentis exactissime
absolutissimeq; tractantur et explicantur.*

Omnia nunc diligenter recognita & emen-
datus quam antè in lucem edita, aucta & figu-
ris illustrata opera & studio

Wolfgangi Coehmans / I. U. D.
& Mathematici:

*Ad calcem libri adjunctus est Index Capi-
tum Rerum et Verborum locupletissimus*

EXCVSVS SEDINI
Typis Gôtzianis Sumptibus
Joh: Hallervordij.
Anno M. DC. XXVIII.

Pet. Rollos fecit.

So. Reg. Lond.



Invention du paratonnerre

- Benjamin Franklin (1706-1790) a laissé sa trace dans l'histoire avec l'invention du paratonnerre mais aussi avec l'invention des termes conducteur, charge électrique, électricité positive et négative.
- Il postule que l'électricité est un fluide qui imprègne tous les corps, le frottement ne fait passer ce fluide que d'un corps vers un autre.



Principales découvertes

- Aimantation Thalès de Milet 600 av JC
- Découvertes pôles Peregrinus 1269 ap JC
- Champ mag. Terrestre William Gilbert 1544-1603
- Paratonnerre Benjamin Franklin 1706-1790
- Piles chimiques Alexandre Volta 1740-1827
- Loi d'Ampère André-Marie Ampère 1775-1836
- Résistance Georg Simon Ohm 1789-1854
- Expérience de Faraday Michael Faraday 1791-1836



160 après, que reste-t-il ? EPFL

Il laisse :

- 20 équations unifiées, regroupant toutes les lois électriques et magnétiques
- C'est la seconde réunification (1^{ère} : méca-nique terrestre et céleste de Newton)

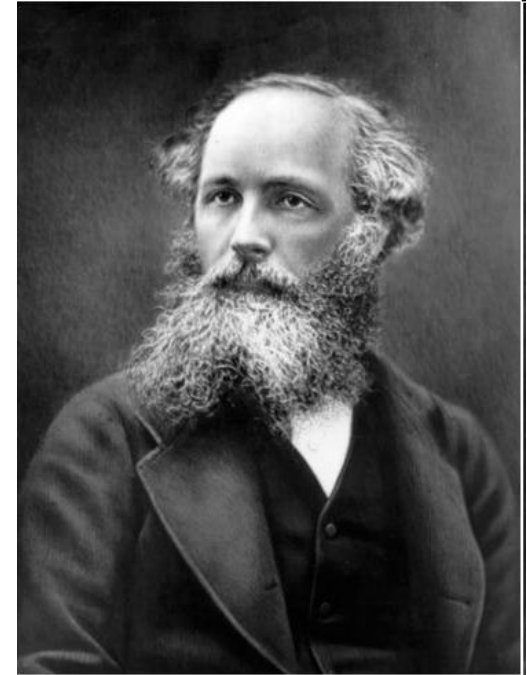
Avec les opérateurs vectoriels :

- *Il ne reste plus que 4 équations linéaires*
- *Théorie de Maxwell encore jamais mise en défaut*



Les équations de Maxwell **EPFL**

$$\begin{aligned}\nabla \times \vec{H} &= \vec{J} + \varepsilon \left(\partial / \partial t \right) \vec{E} \\ \nabla \times \vec{E} &= -\mu \left(\partial / \partial t \right) \vec{H}\end{aligned}$$



Les courants électriques variant dans *l'espace* et dans *le temps*
et agissant au sein d'un *milieu spécifique* créent
des *champs électromagnétiques*

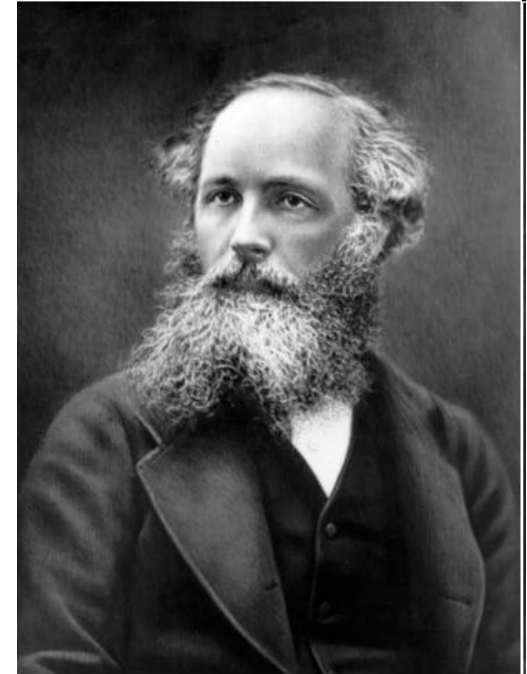
Les équations de Maxwell **EPFL**

$$\text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{J}$$

$$\text{rot } \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\text{div } \mathbf{B} = 0$$

$$\text{div } \mathbf{D} = \rho$$



Les courants électriques variant dans **l'espace** et dans **le temps**

et agissant au sein d'un **milieu spécifique** créent

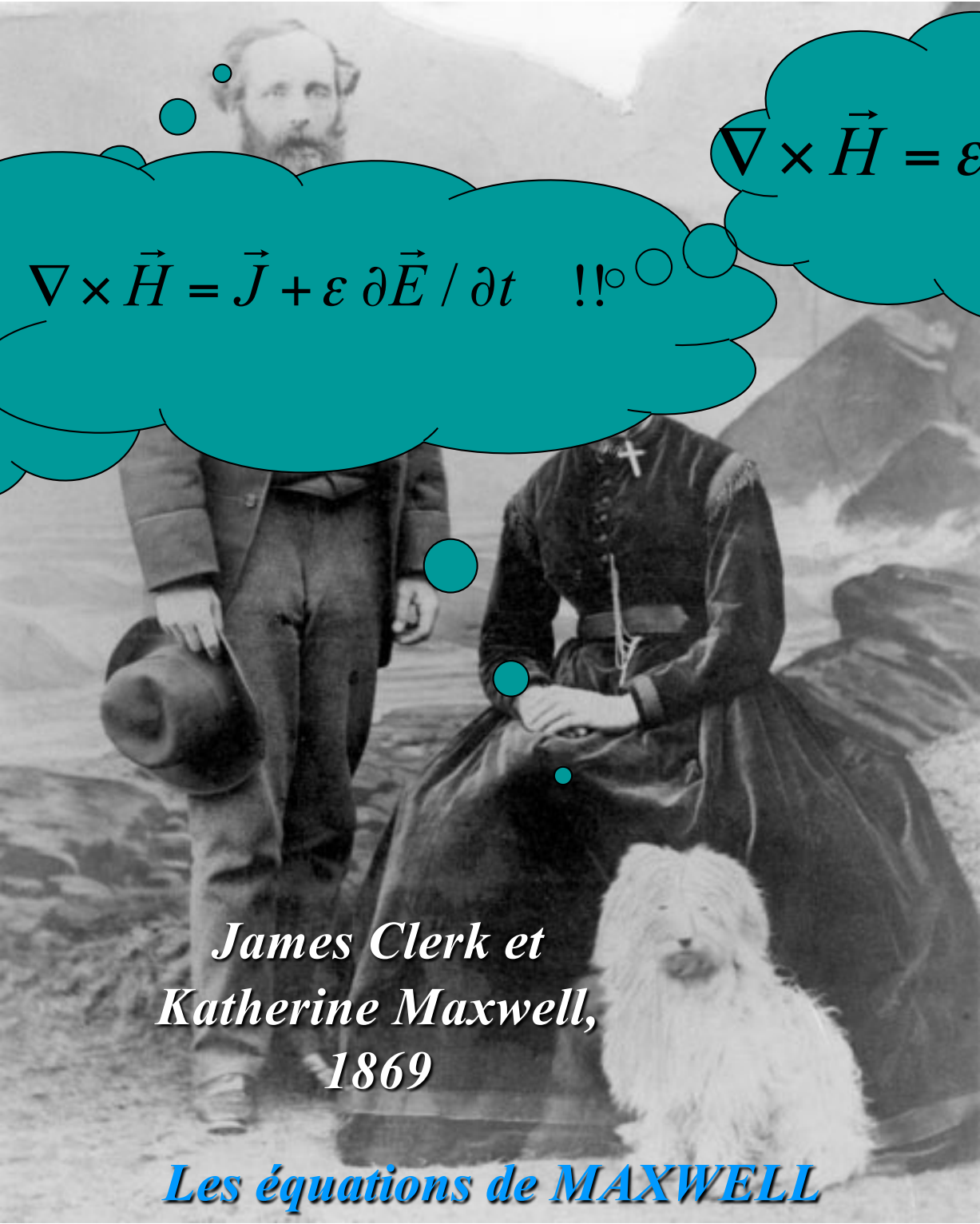
des **champs électromagnétiques**

Grâce à Maxwell :

James Clerk Maxwell (1831-1879)

- On peut formuler la conversion Electro-mécanique
- Cette conversion définit le passage de l'énergie électrique en énergie mécanique (ou inversement) en passant par l'énergie magnétique !





$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \epsilon \partial \vec{E} / \partial t$!!

$\nabla \times \vec{H} = \epsilon \partial \vec{E} / \partial t$??

*James Clerk et
Katherine Maxwell,
1869*

Les équations de MAXWELL

Maxwell n'a pas eu de chance



vraiment



Maxwell qualité filtre...