



30 juin 2022 Formation doctorale Mulhouse

## Formation doctorale GdR TACT

*Principes physiques de fonctionnement des stimulateurs tactiles*

Anis KACI, Université de Lille, L2EP-IRCICA



TACT: le **T**oucher, **A**nalyses, **C**onnaissance, simula**T**ion

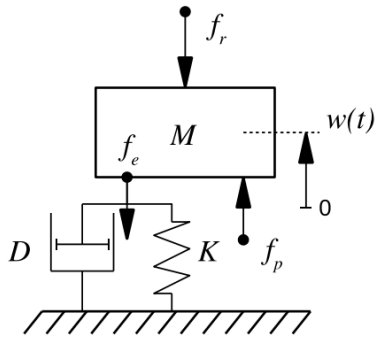
Le toucher: approche pluridisciplinaire

- Sciences du contact
- Neurosciences
- Psychologie cognitive
- Mécatronique

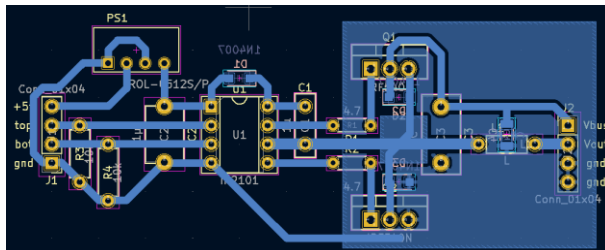
→ Connaissance a minima des domaines connexes

→ Formation pour doctorants, post-docs, dans ce sens

## Mécanique



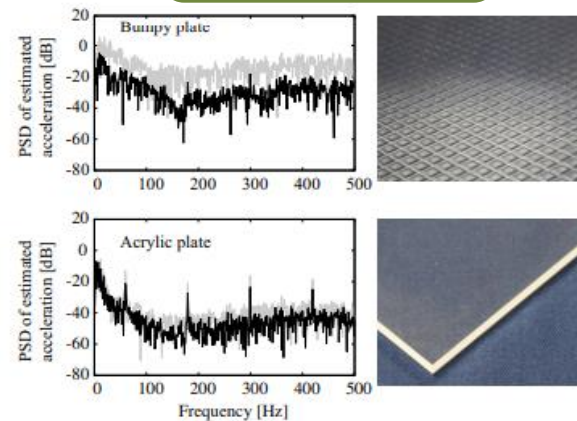
## Electronique



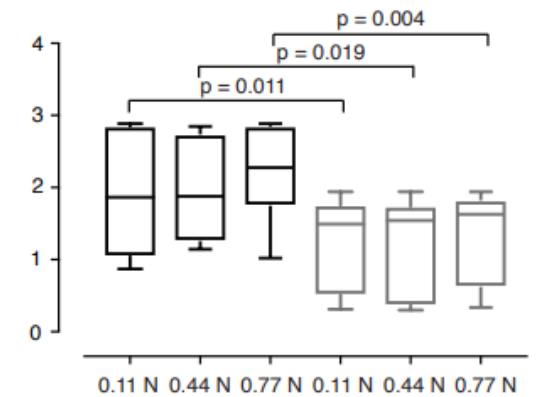
## Informatique



## Traitement de signal



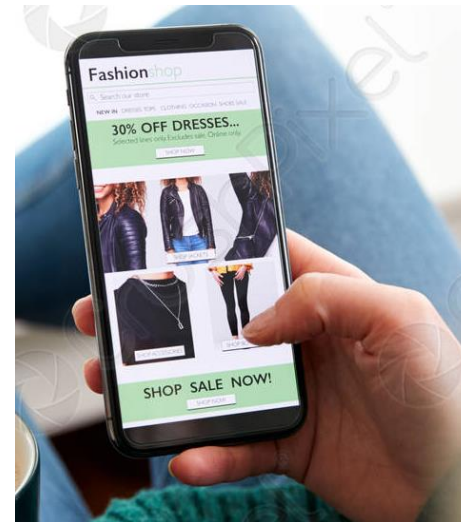
## Statistiques







[Cagatay\_A\_review\_2020]



# 1. Classification des stimulateurs tactiles

.....

## Dispositifs haptiques

- Simuler le retour haptique que procurent les objets
- Classification en retour d'effort et retour tactile

### 1 Retour d'effort (kinesthésique)

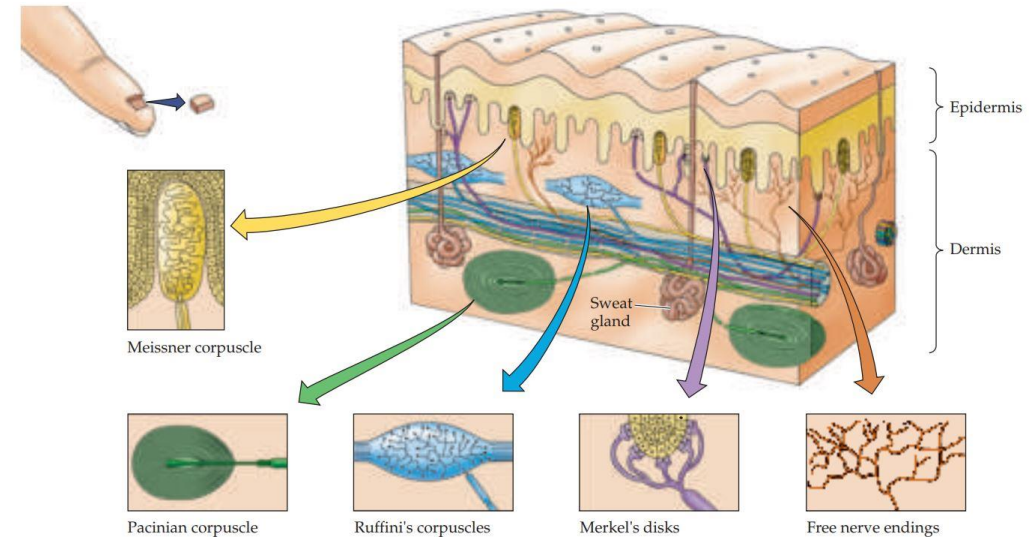
- Lié à la perception de force, de poids, d'élasticité et d'inertie
- Fait intervenir les muscles, les tendons et les articulations

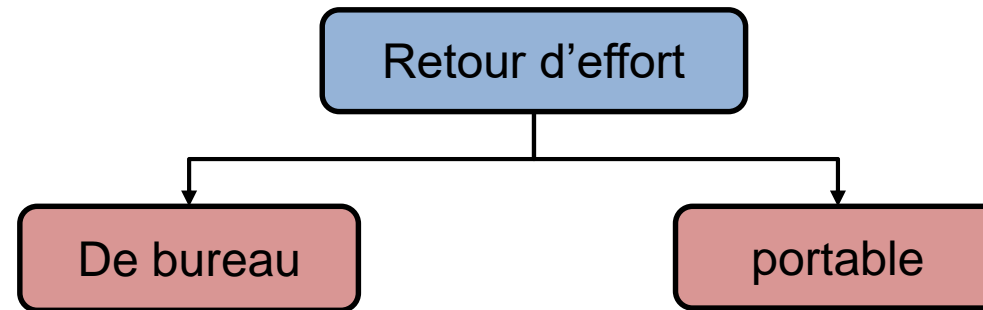
## Mécanorécepteurs

- Corpuscules de Meissner : captent les vibrations de basses fréquence 10-100Hz
- Corpuscules de Pacini : captent les vibrations de hautes fréquences 40-1000Hz
- Corpuscules de Ruffini : sensibles aux cisaillements de la peau
- Disques de Merkel : sensibles aux déformations statiques

### 2 Retour tactile (cutané)

- Lié à des sensations subtiles comme la texture, la rugosité et les vibrations
- Implique les mécanorécepteurs



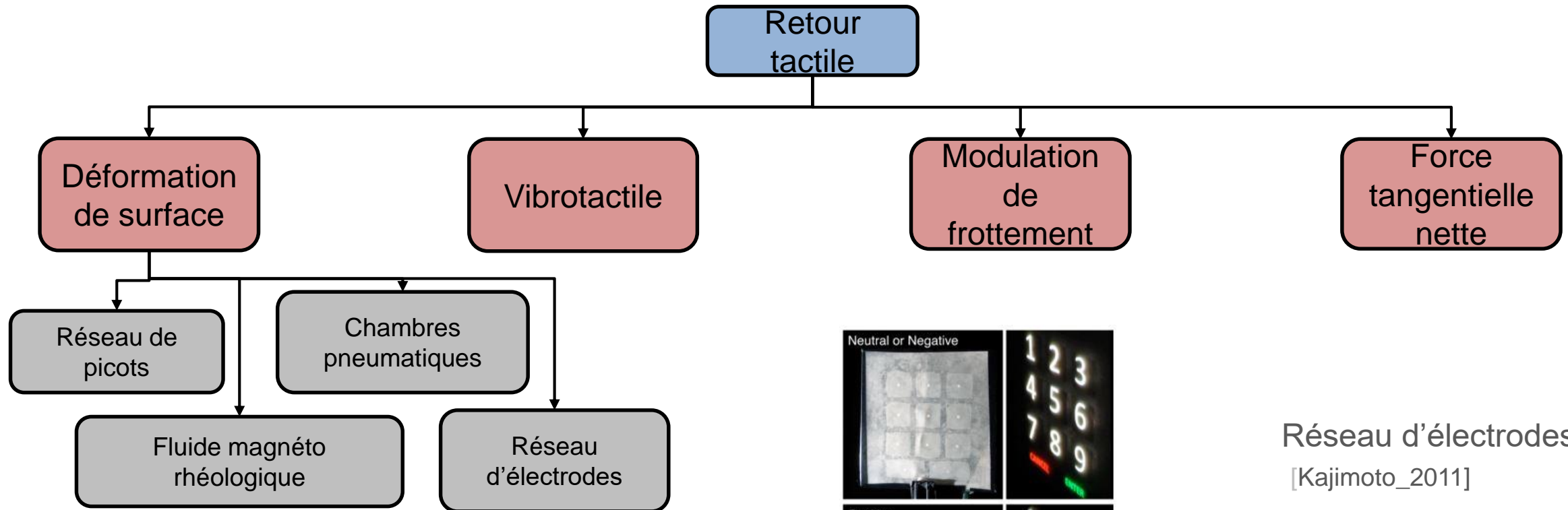


« Force Dimension Inc »

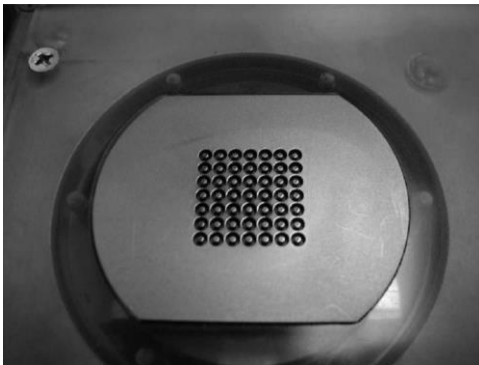


« GotouchVR »

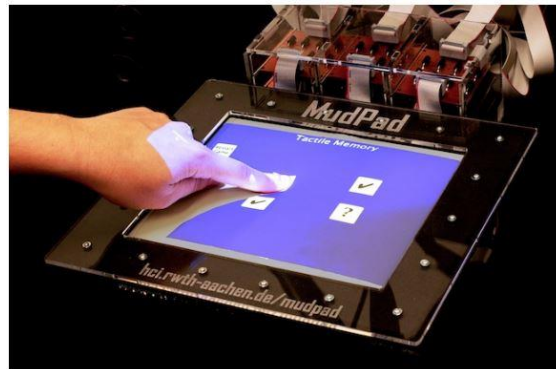




Réseau de picots  
[Shinogara\_1998]

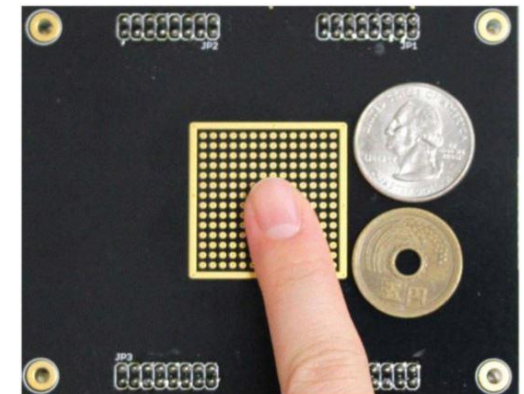


Fluide magnéto rhéologique  
[Jansen\_Mudpad\_2010]

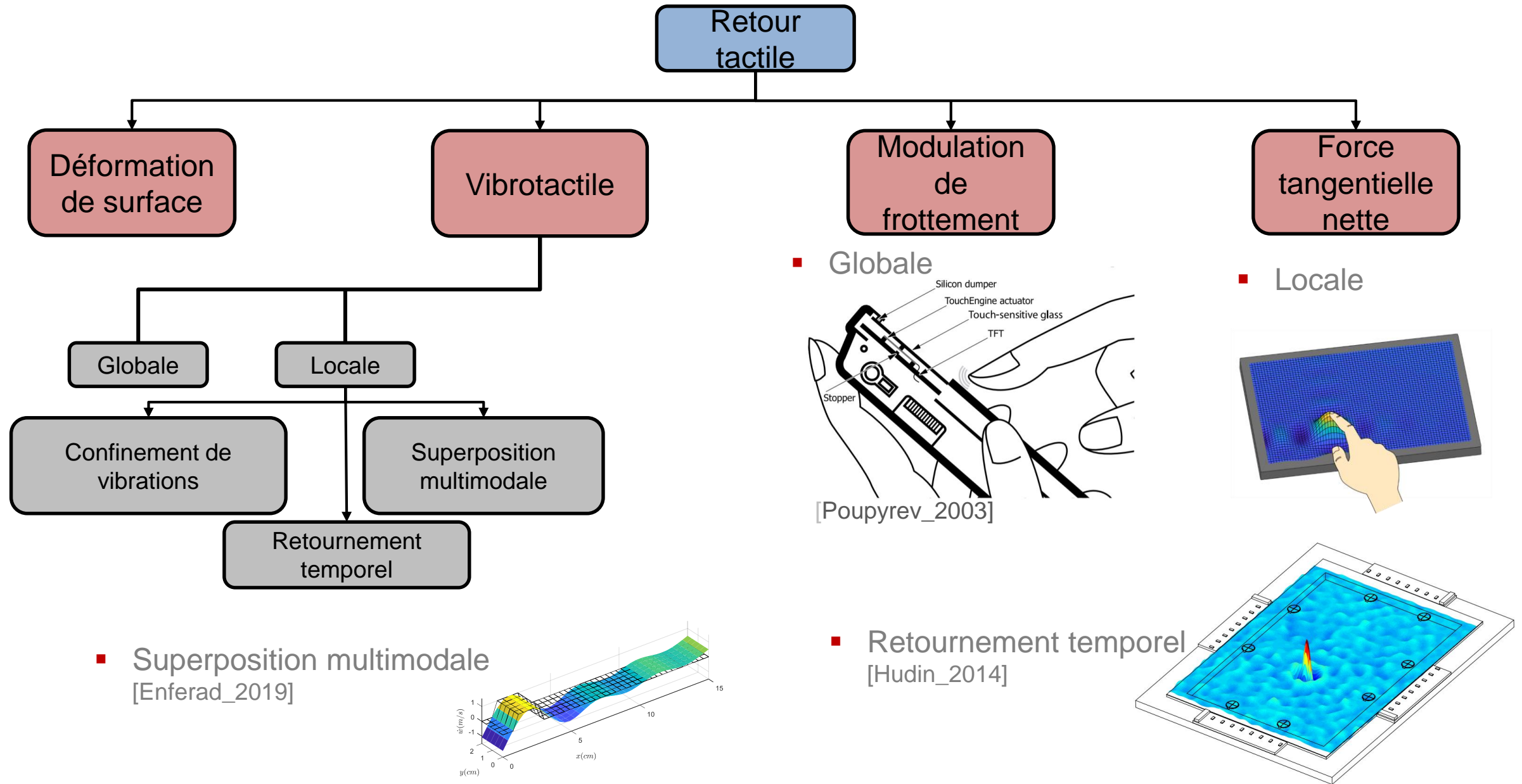


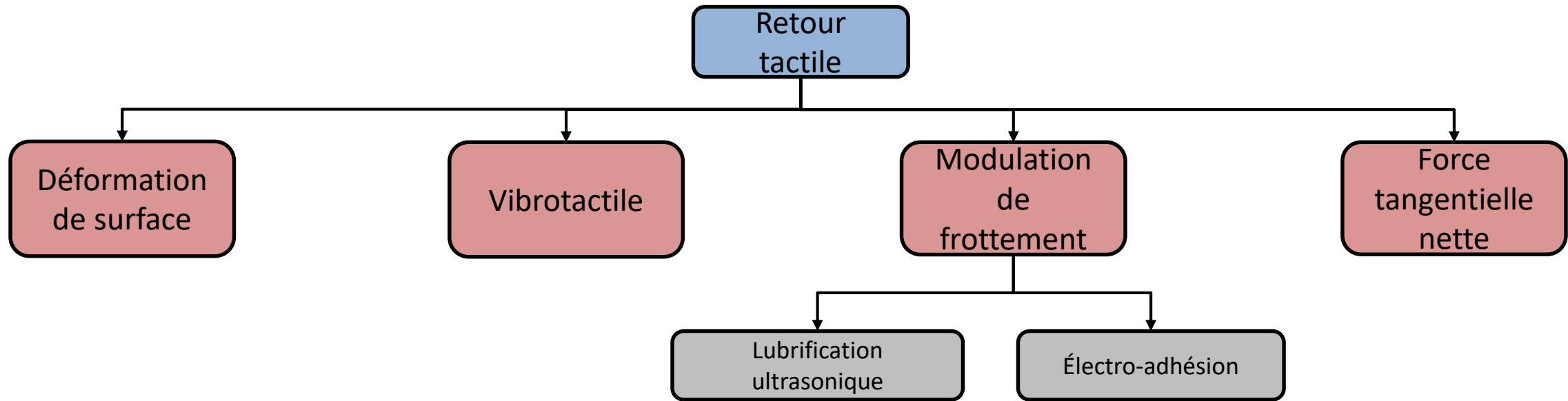
Chambres pneumatiques  
[Harrison\_2009]

Réseau d'électrodes  
[Kajimoto\_2011]

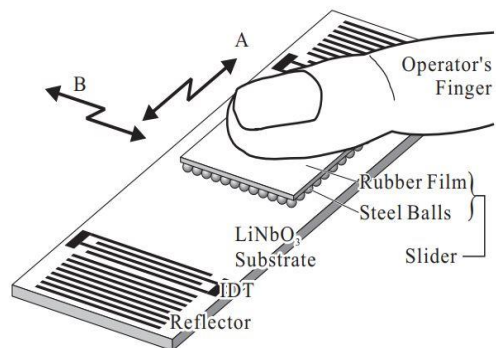




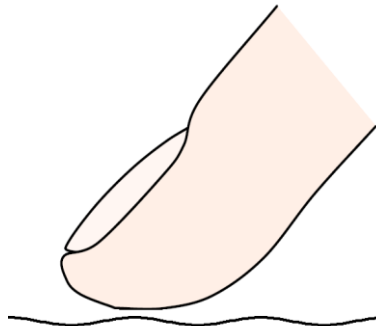




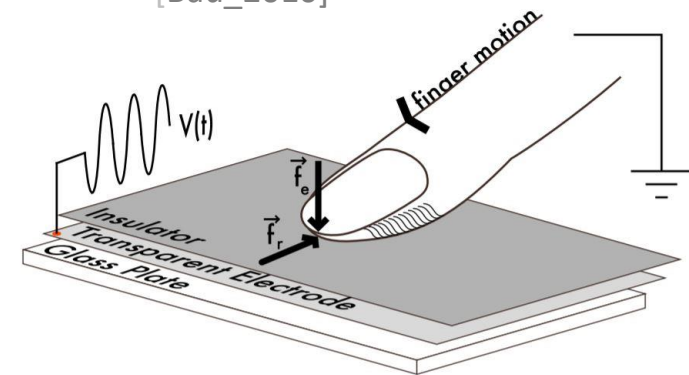
- Lubrification ultrasonique par Ondes acoustiques de surface [Takasaki\_2006]

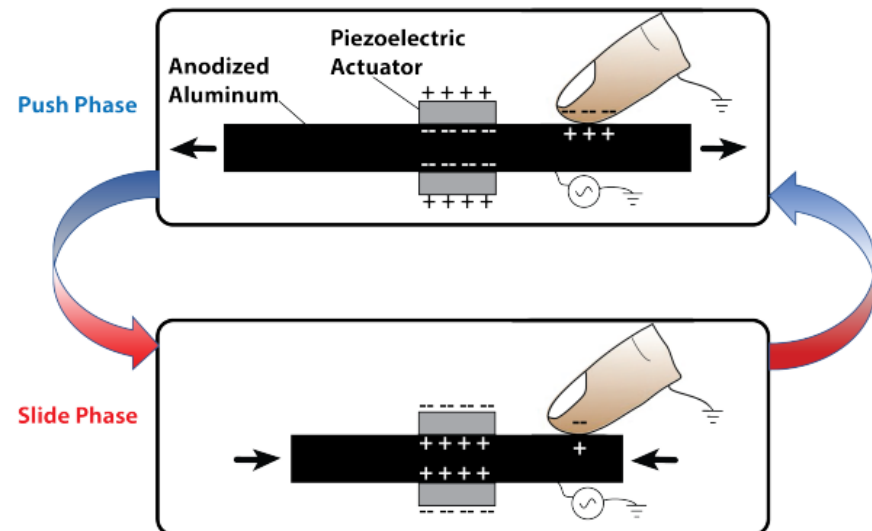
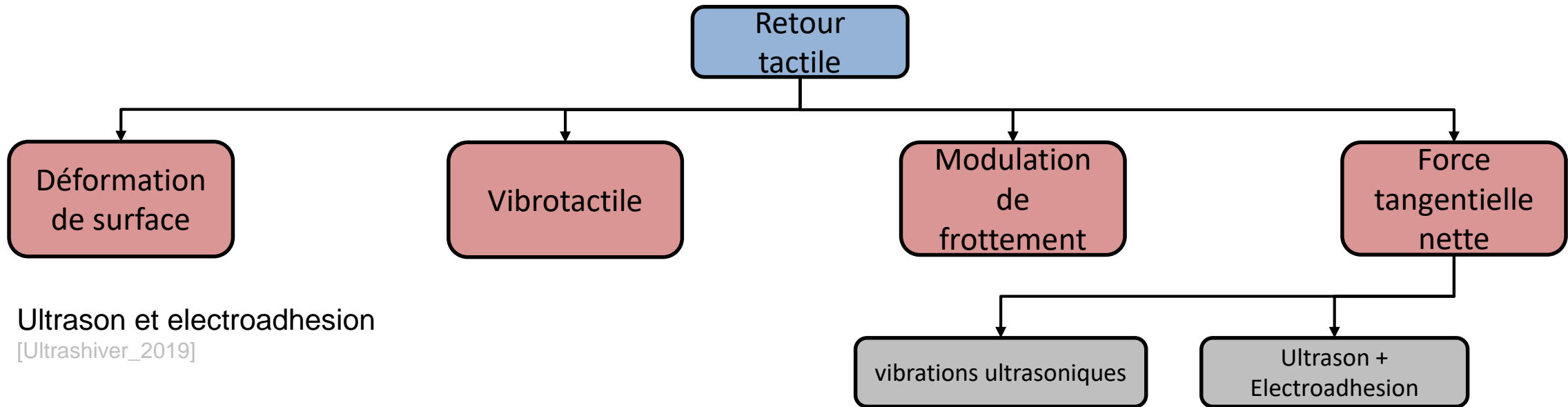


- Lubrification ultrasonique basse fréquence [Watanabe\_1995]



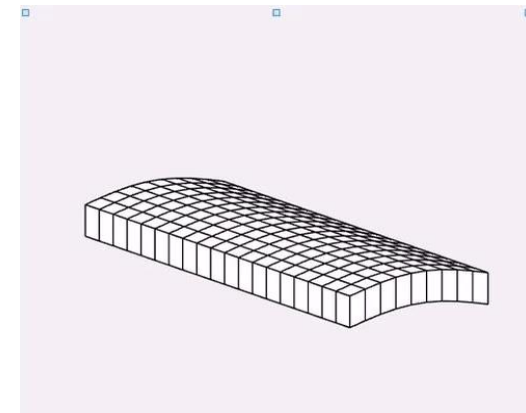
- Électro-adhésion [Bau\_2010]





## Deux modes de vibration ultrasonique

[Garcia\_control\_2022]



## 2. Stimulateurs tactiles contrôlant le frottement

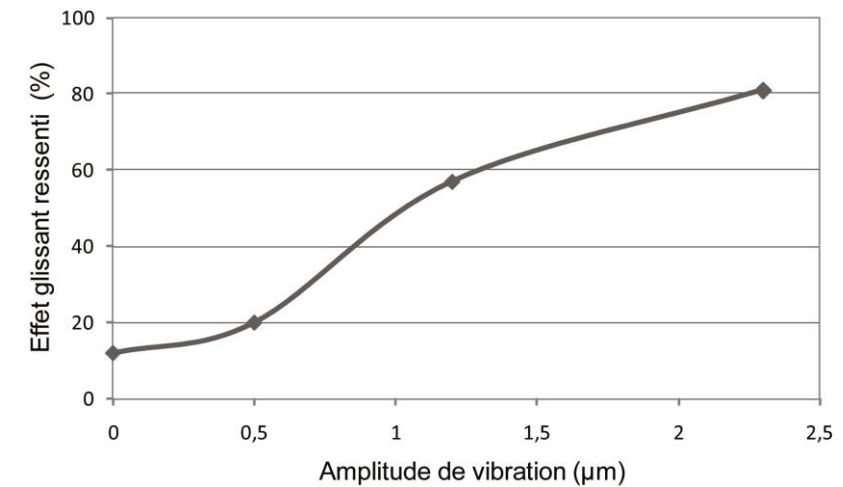
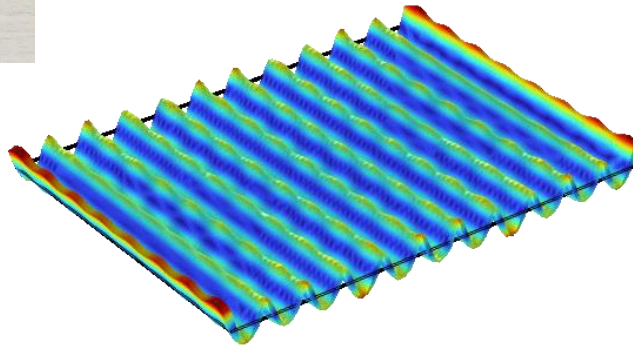
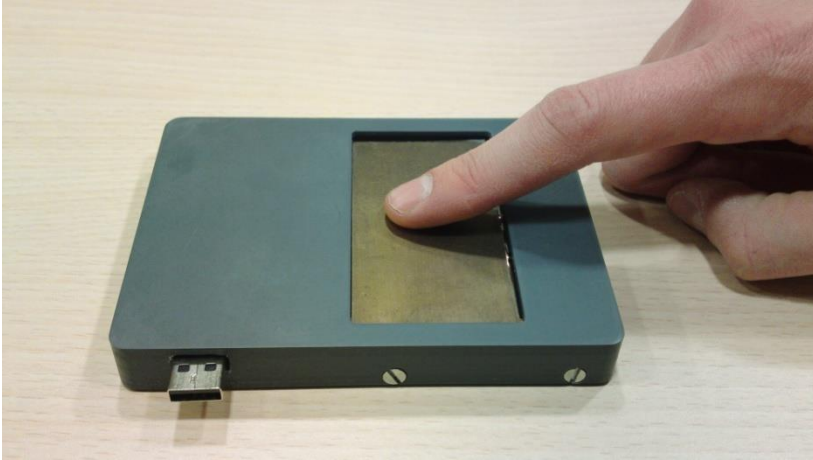
.....



## - Grâce à la lubrification ultrasonique

Vibrations  $>20\text{kHz}$  (onde stationnaire)

- Non perceptible par la main humaine
- Contact intermittent, diminution du frottement
- Effet « glissant »

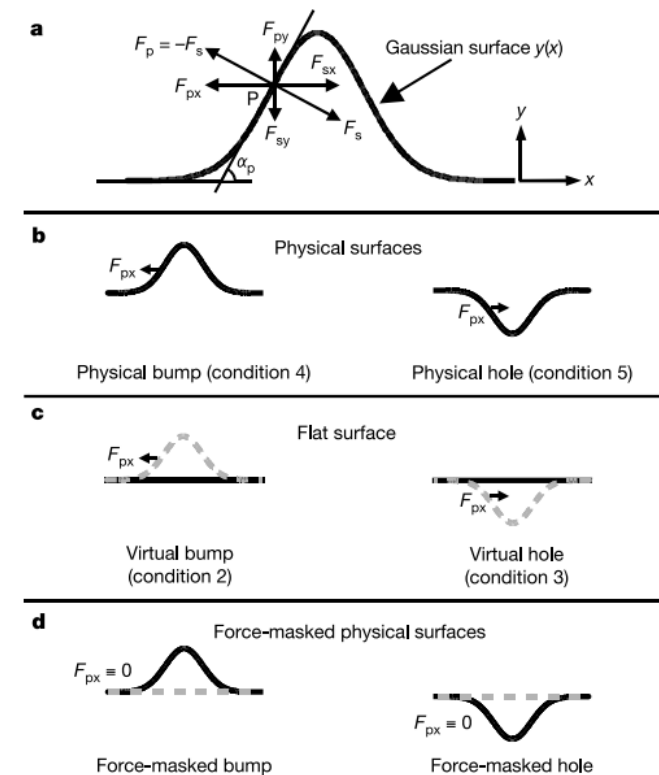
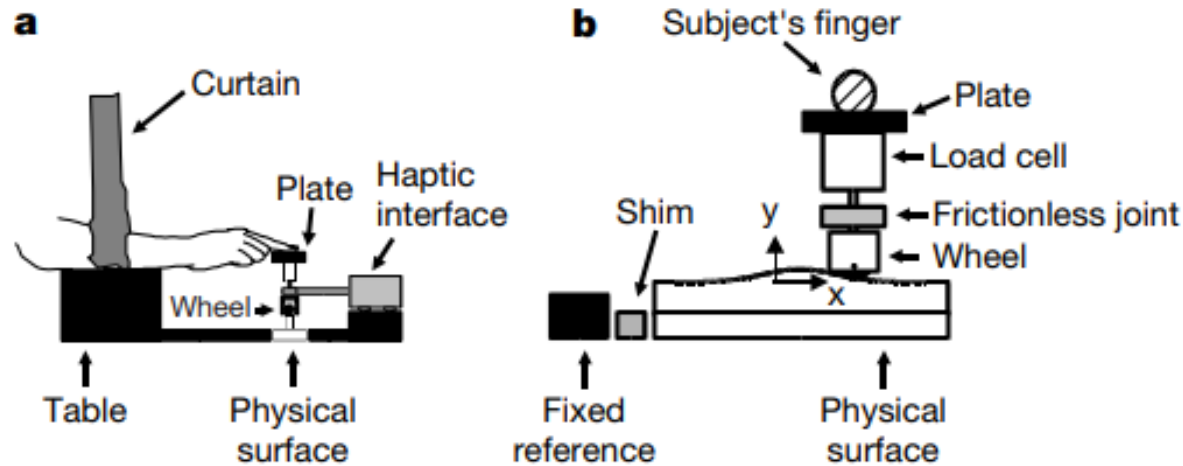


## Force can overcome object geometry in the perception of shape through active touch

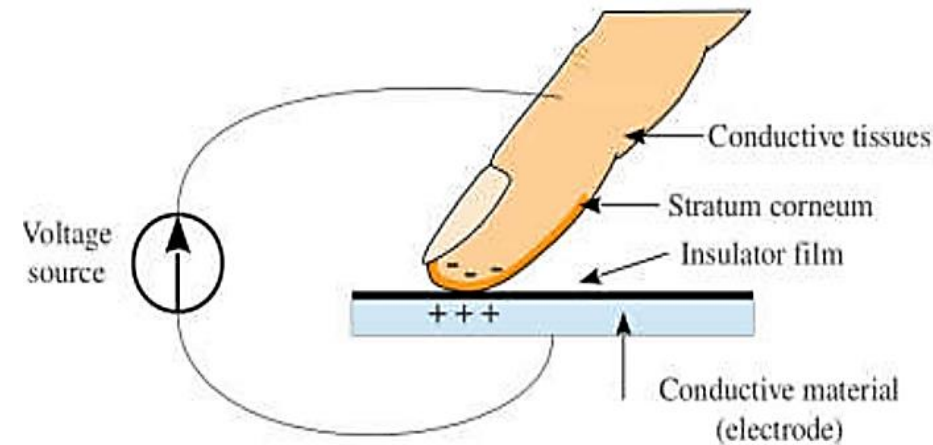
Gabriel Robles-De-La-Torre & Vincent Hayward

McGill University, Center for Intelligent Machines, Montréal, Canada H3A 2A7

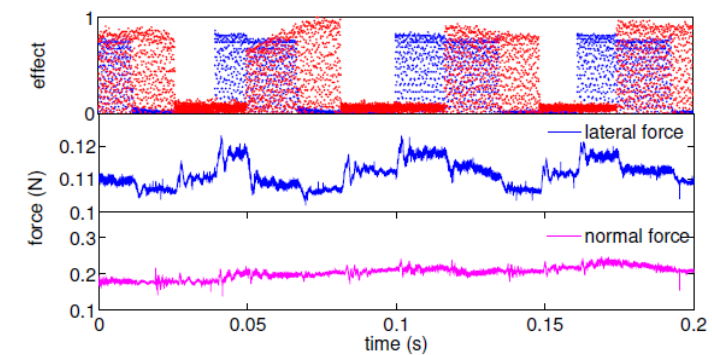
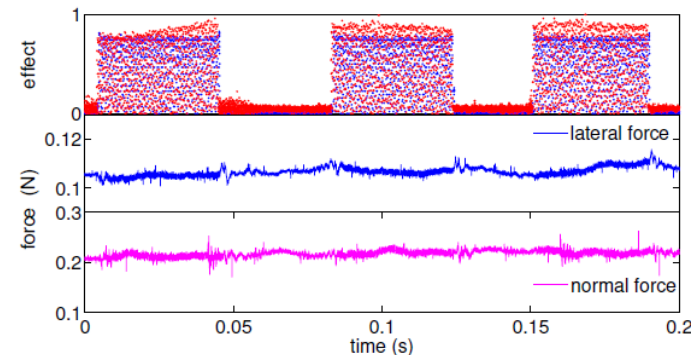
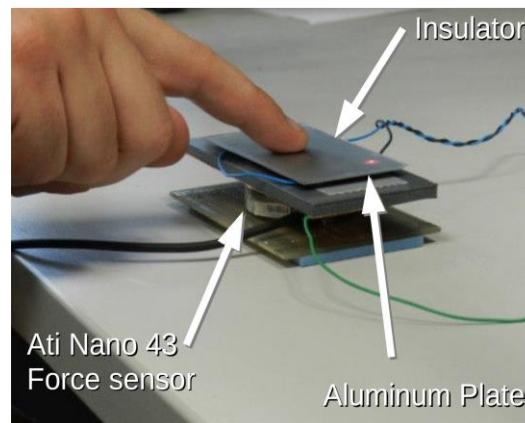
- Simuler une variation de hauteur d'une surface comme une bosse ou un trou
- Reproduire la force latérale due à l'exploration d'un doigt sur ces deux surface



- Grâce à l'électro-adhésion: principe d'augmentation du frottement



## Possibilités de couplage ondes acoustiques et électro-adhésion



## - Avantages de ces stimulateurs

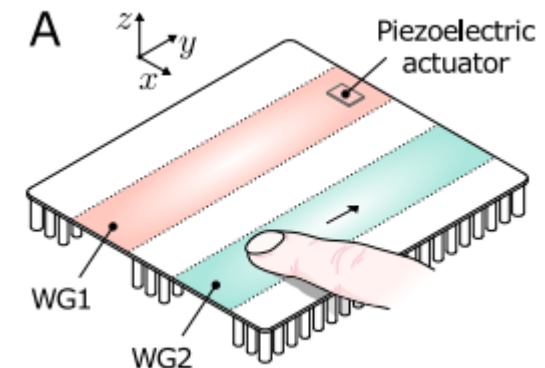
- Possibilités d'atteindre une forte compacité
- Possibilités de mettre en vibration des surfaces transparentes (écrans)
- Contrôle bien maîtrisé, robustesse par rapport au doigt

## - Inconvénients:

- Pas d'effet tactile doigt statique
- Pas de possibilités de retour multi-doigts

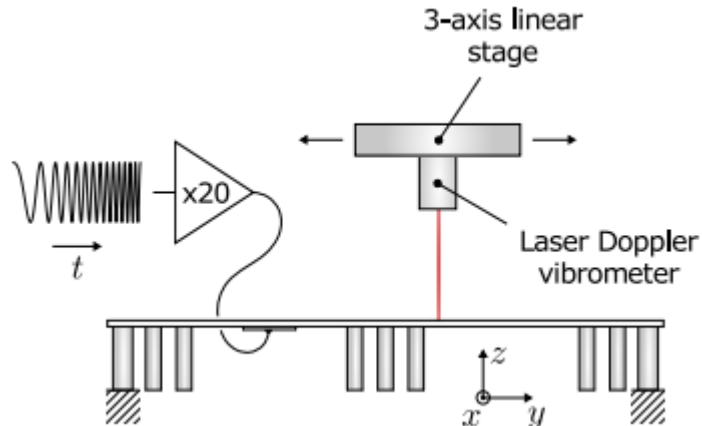
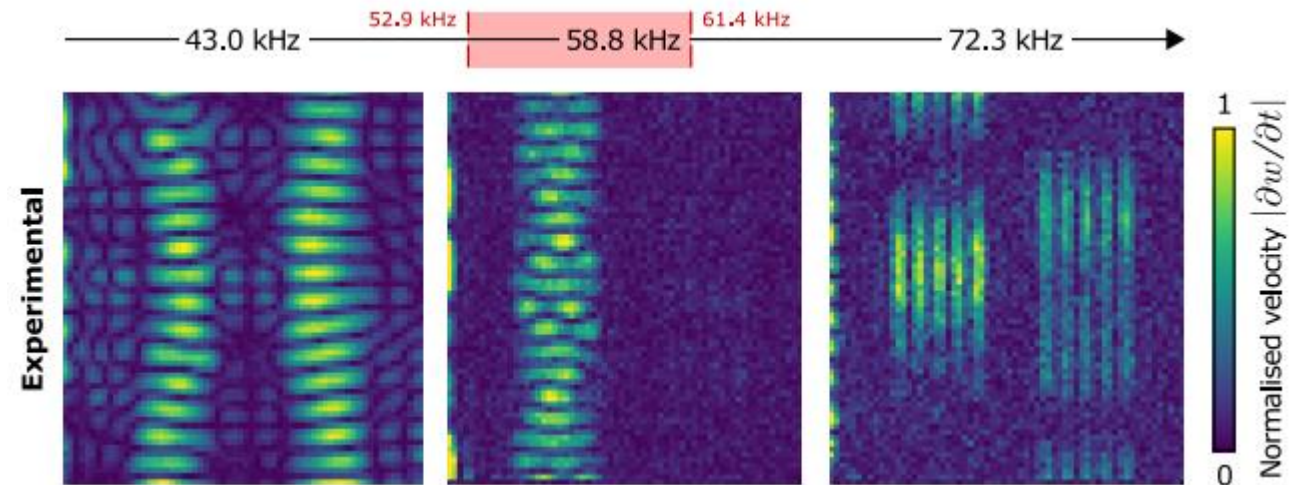
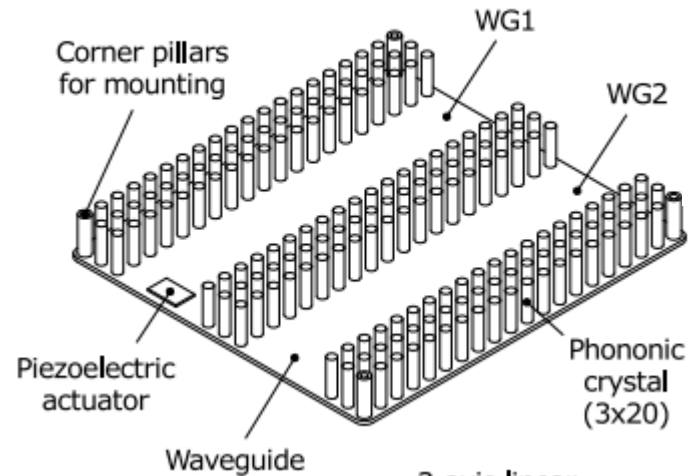


Solution: réaliser des guides d'onde



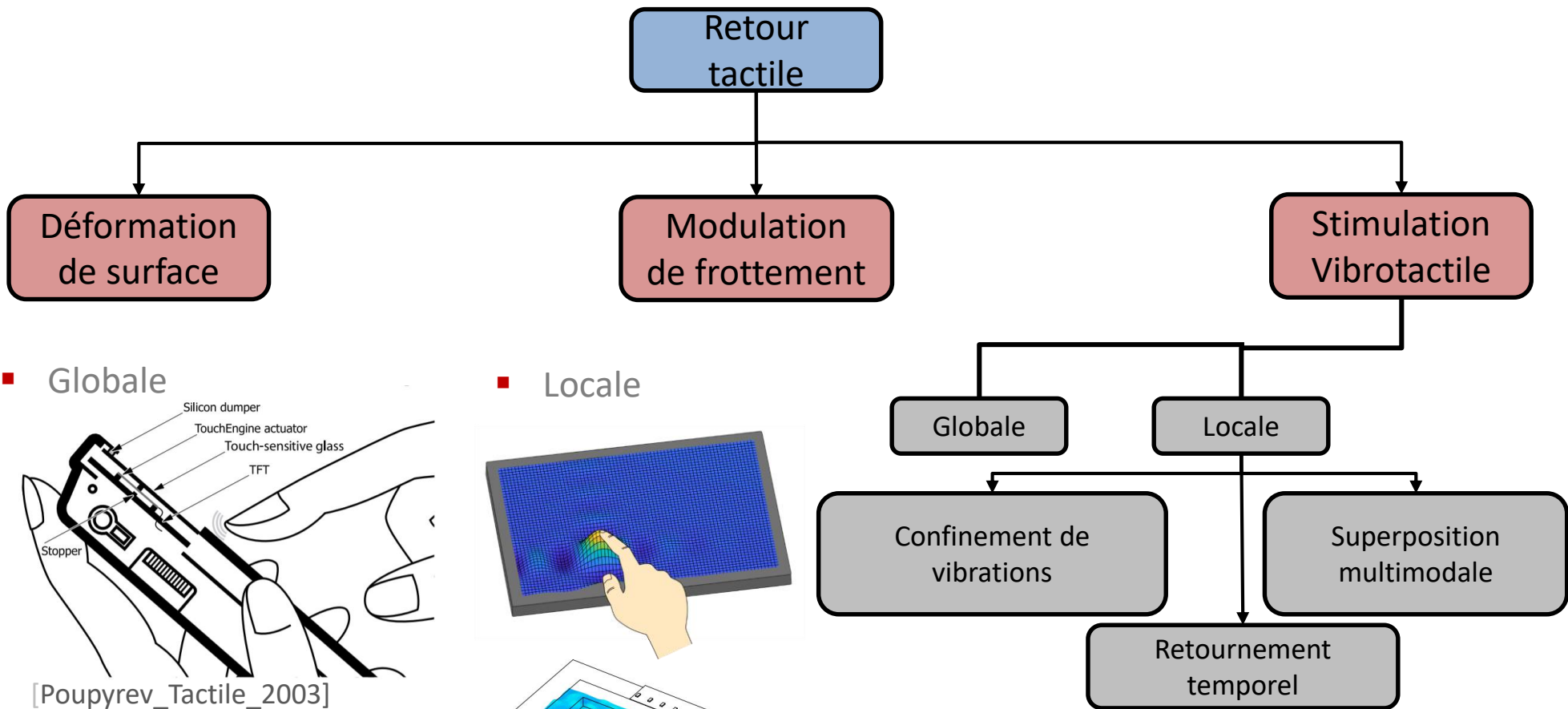


- Exemple de surface équipée de guides d'onde

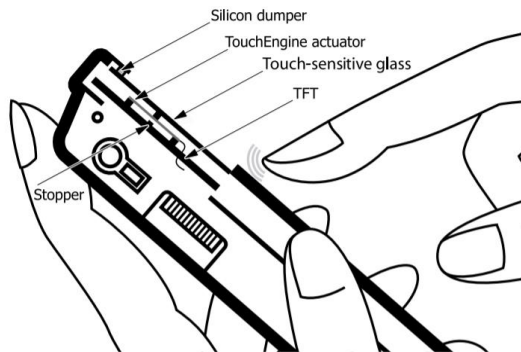


### 3. Stimulateurs vibrotactiles localisés

.....

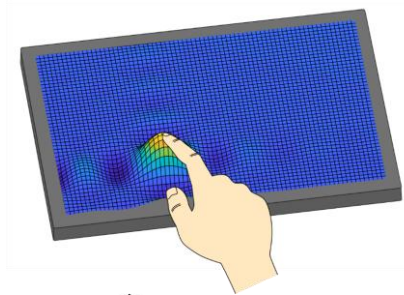


## ■ Globale

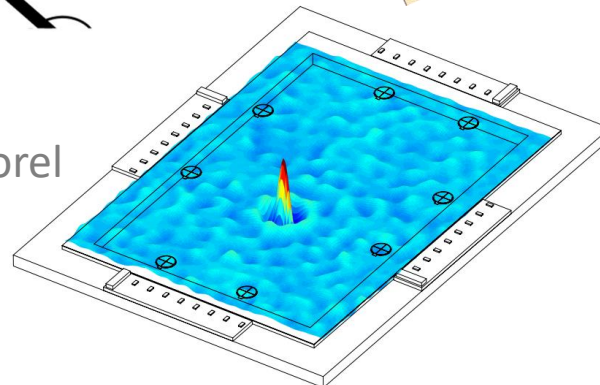


[Poupyrev\_Tactile\_2003]

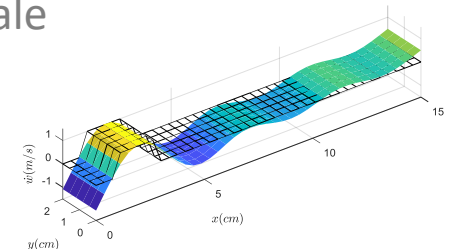
## ■ Locale



## ■ Retournement temporel [Hudin\_2014]

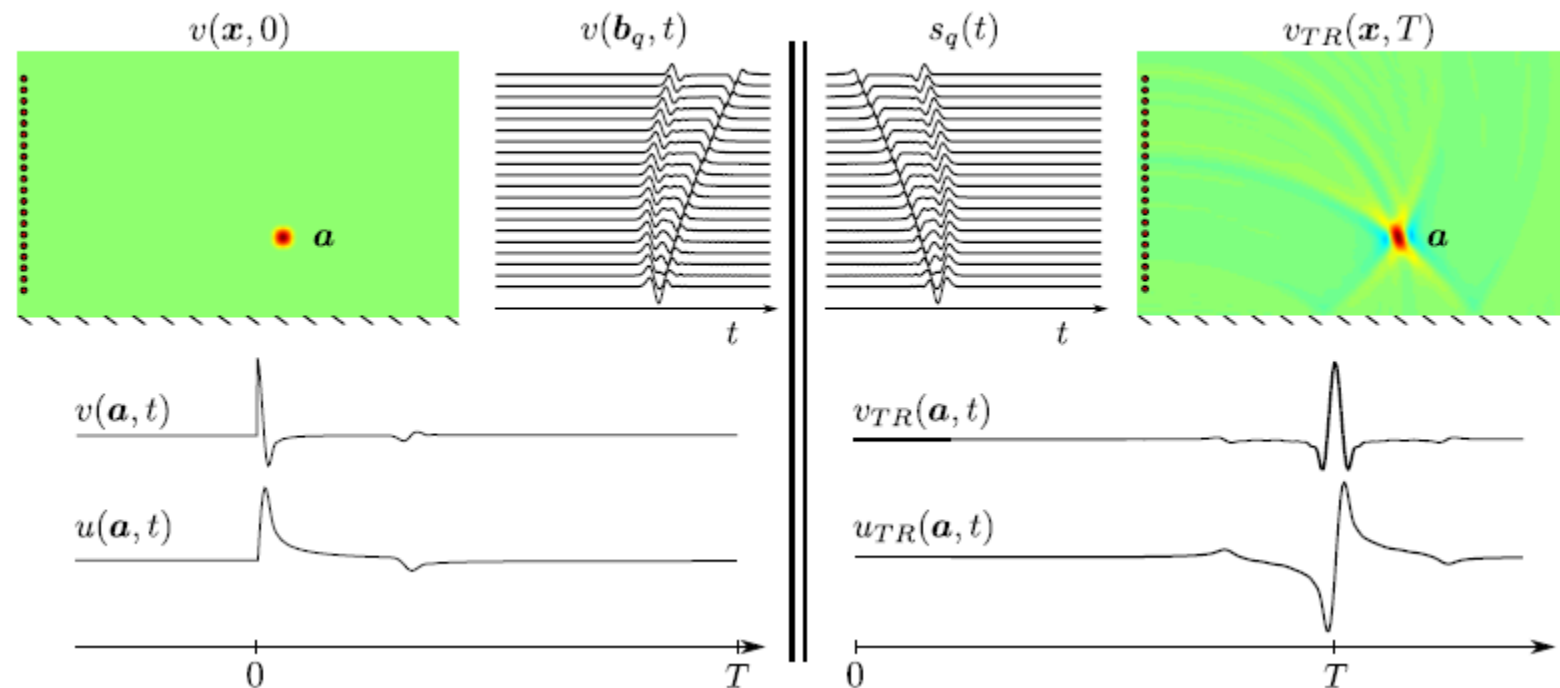


## ■ Superposition multimodale [Enferad\_2019]



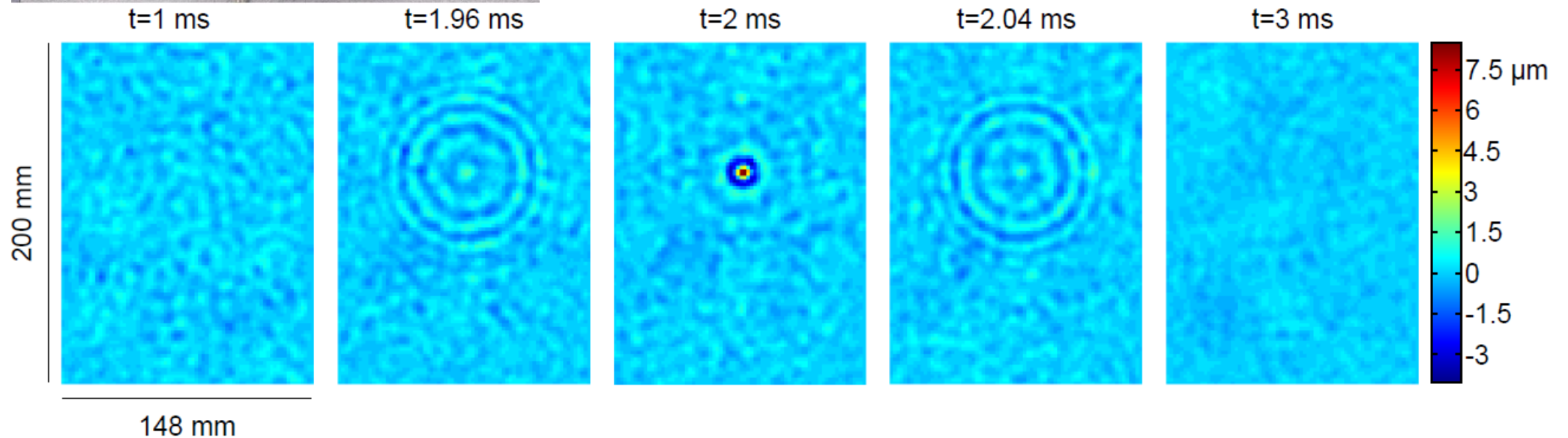
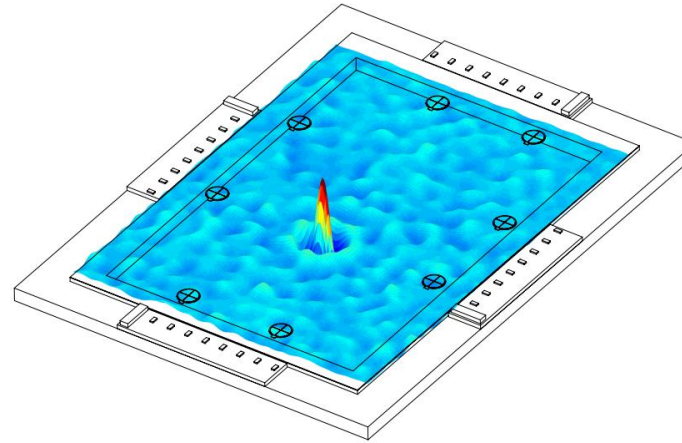
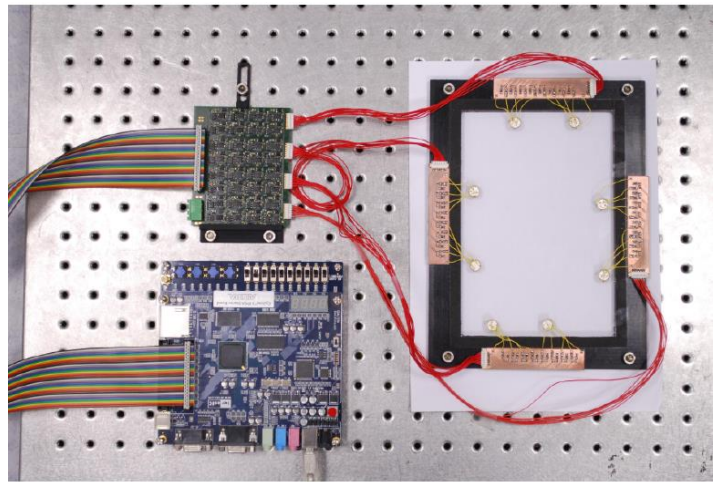
## -Par retournement temporel: principe

- Impulsion initiale créée en  $a$
- Onde générée se propage et est enregistrée par les transducteurs
- Ces transducteurs rejouent les signaux inversés temporellement
- L'impulsion initiale est recréeée en  $a$



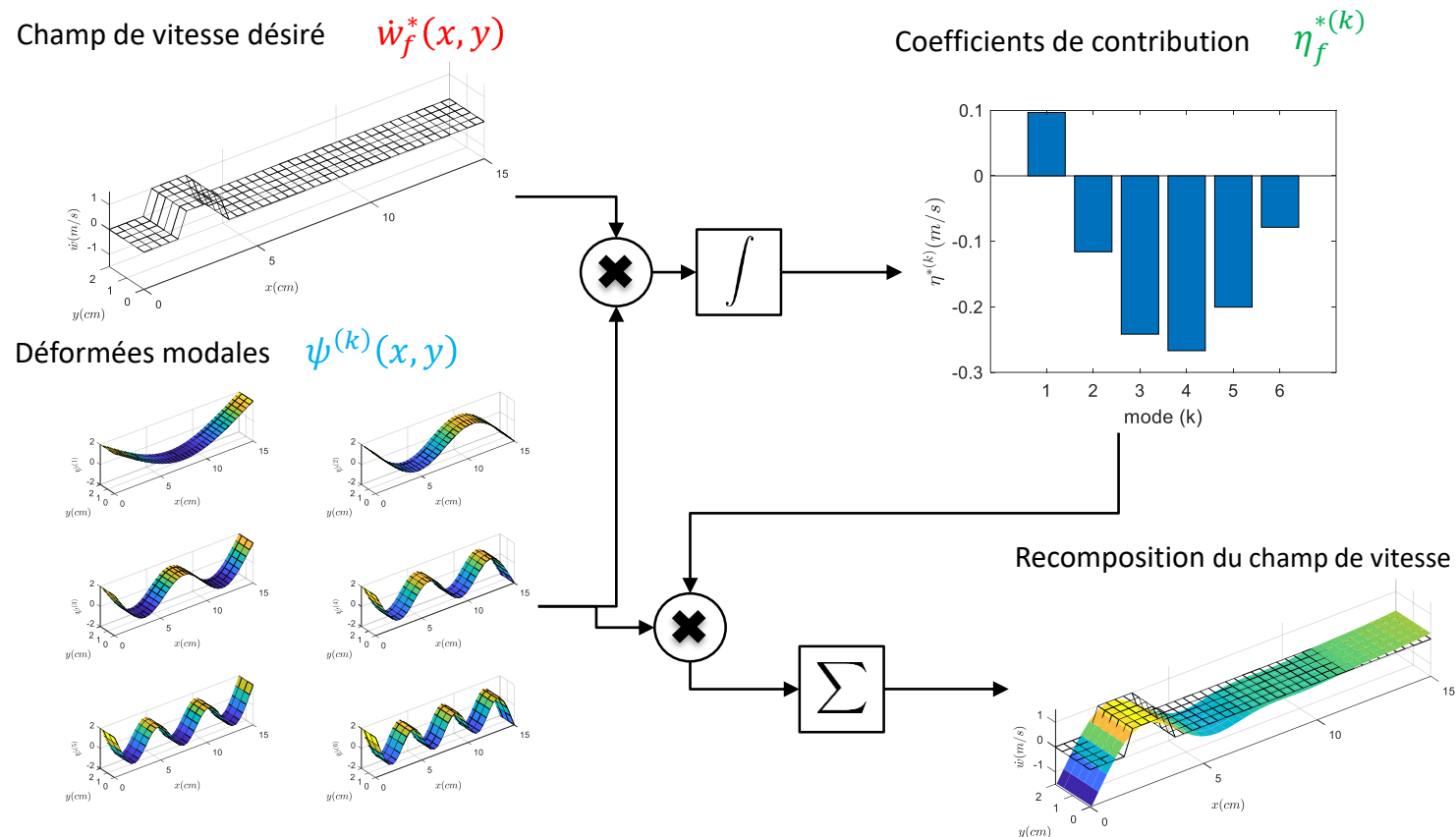


## -Par retournement temporel: principe



## -Par superposition multi-modale

- Créer un effet localisé sans pré-enregistrer les ondes
- Combiner ou superposer des modes de plaque

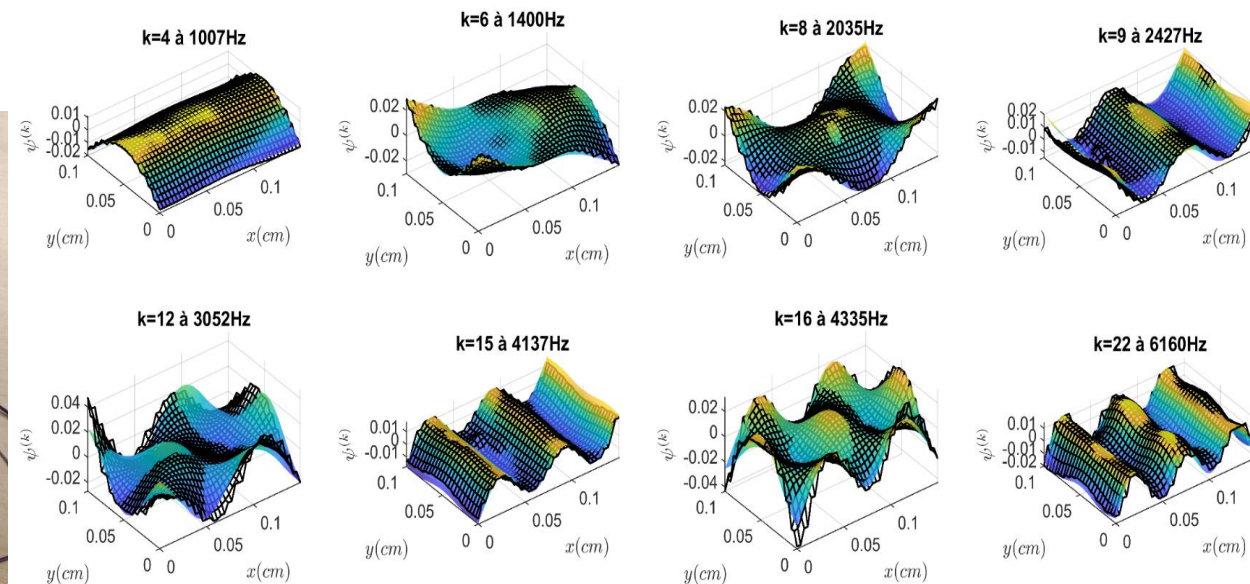
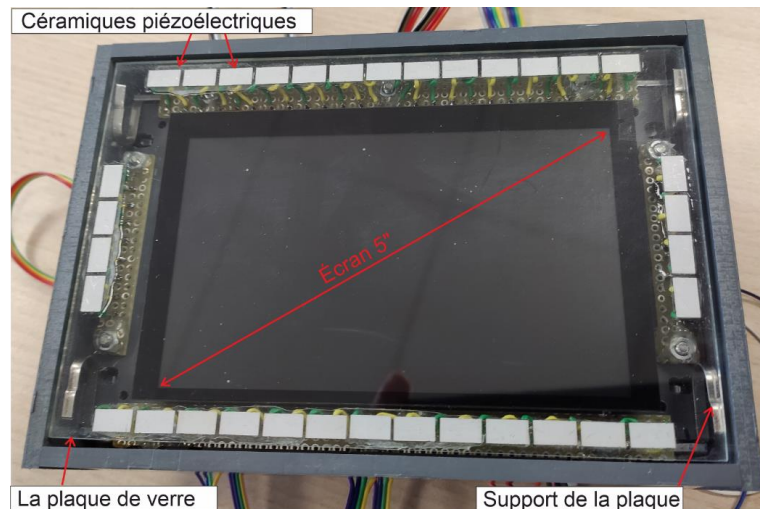


## -Par superposition multi-modale

- Créer un effet localisé sans pré-enregistrer les ondes
- Combiner ou superposer des modes de plaque

### ■ Identification des modes

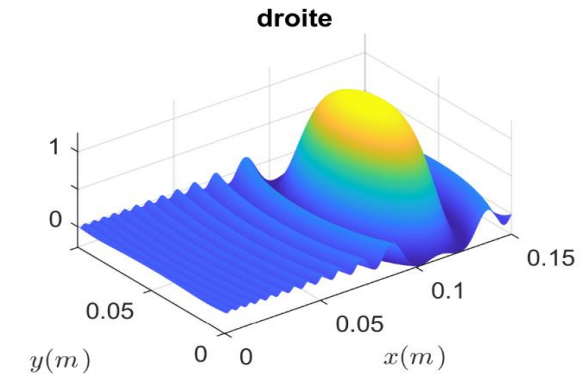
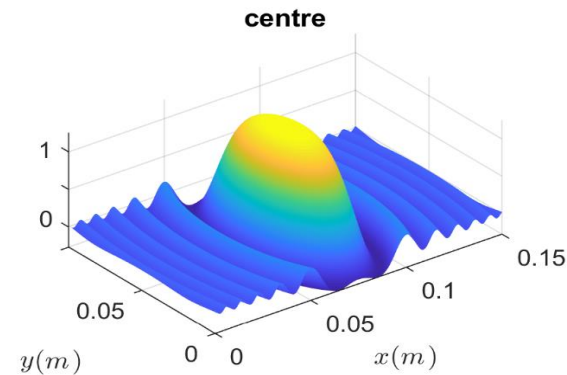
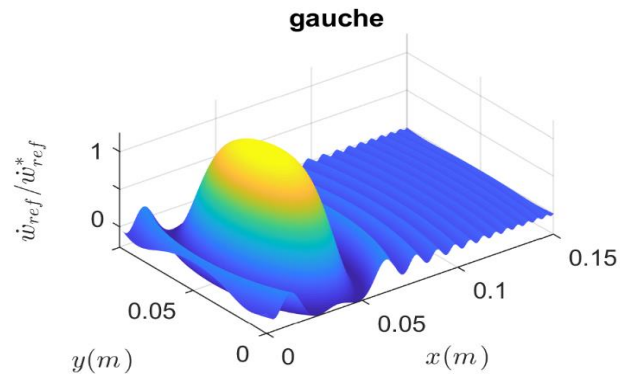
### ■ Mise en œuvre de la plaque



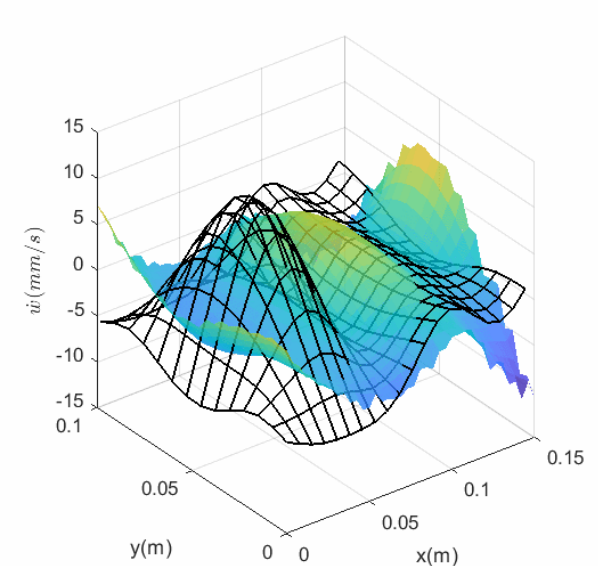
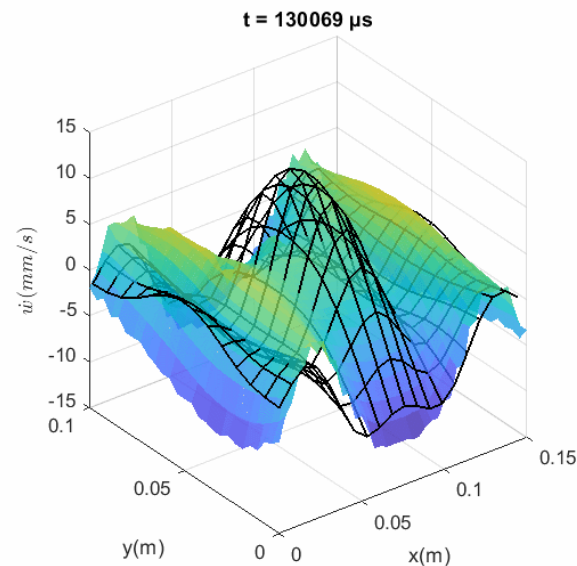
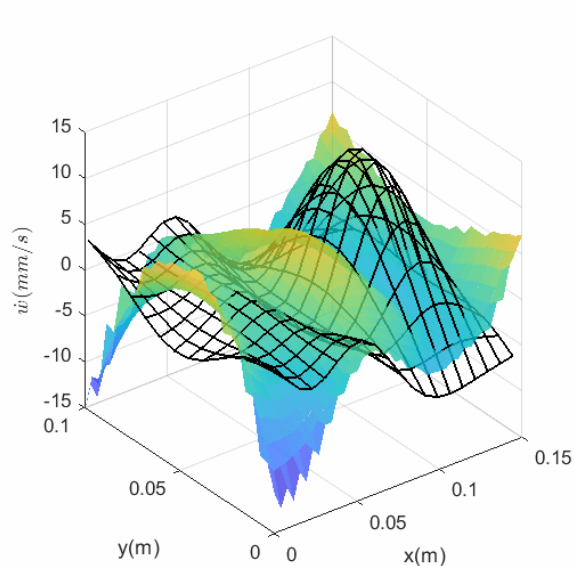
## -Par superposition multi-modale

Kaci A. PhD thesis, Université de Lille, 2020

- Champs de vitesse définis comme références



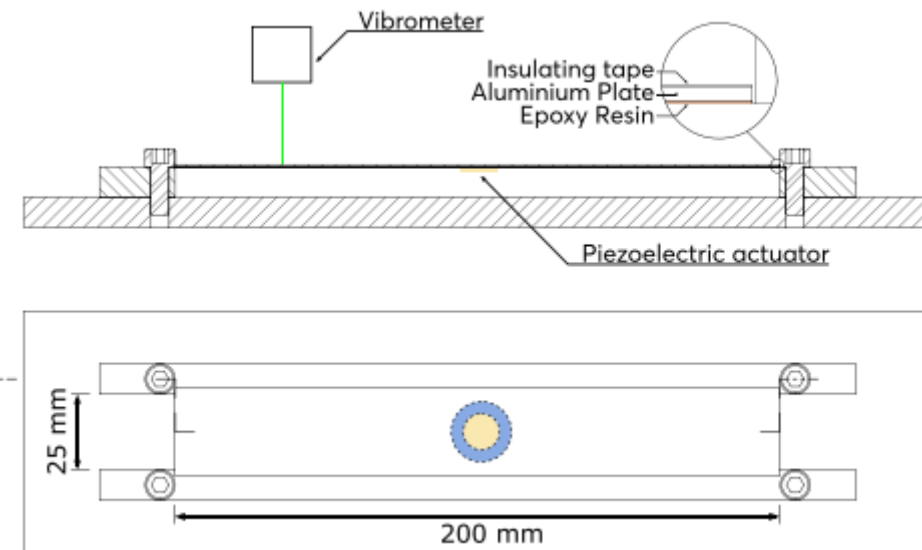
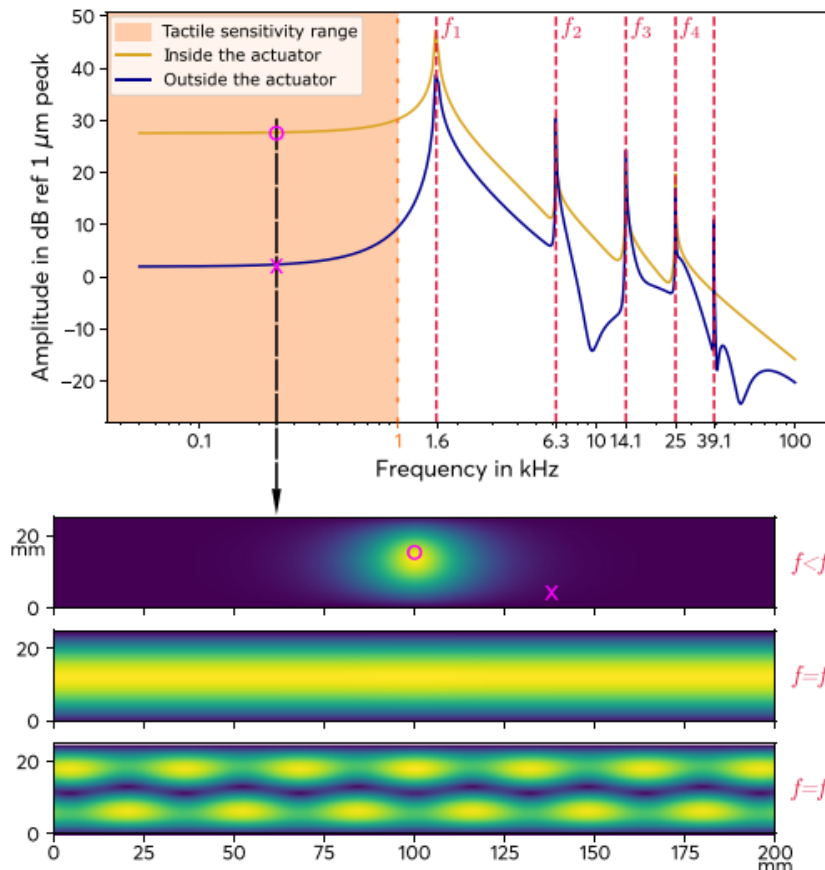
- Champs de vitesse recomposés



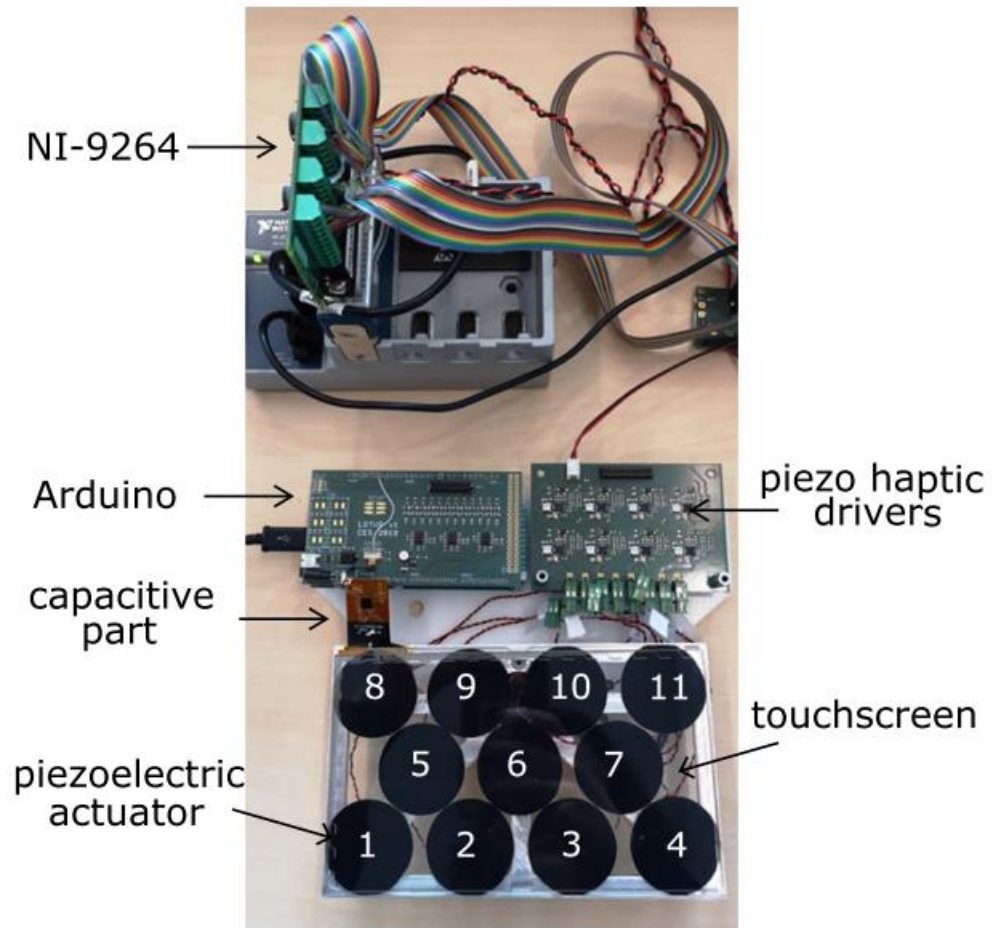


## -Par confinement de vibrations

- Travail à des fréquences qui ne génèrent pas des modes de vibrations (ondes évanescentes)
- Vibration localisée sur l'actionneur



## -Par filtrage inverse



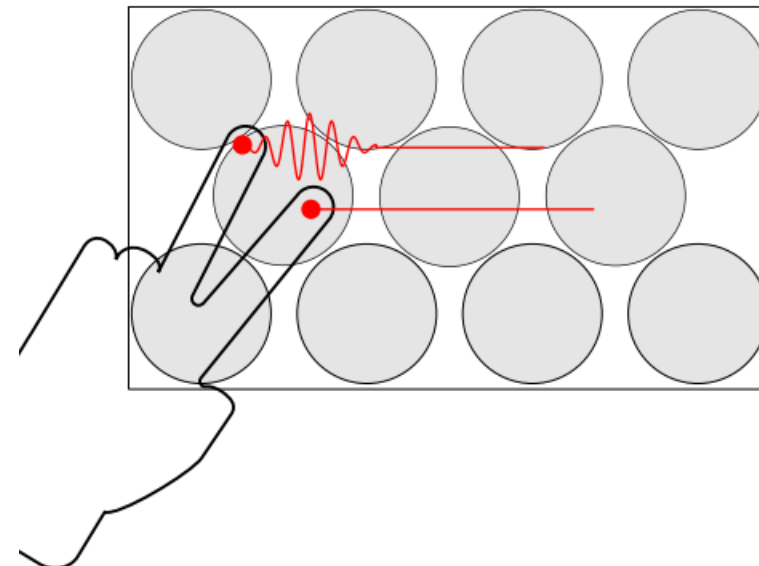
$$\begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_F \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H_{11} & H_{12} & \dots & H_{1Q} \\ H_{21} & H_{22} & \dots & H_{2Q} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{F1} & H_{F2} & \dots & H_{FQ} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \vdots \\ S_Q \end{pmatrix}$$

$$S[Q, N_s] = H^{-1}[Q, F, N_s] \cdot U[F, N_s]$$

$$\downarrow \text{IFFT}$$

$$s(t) [Q, N_s]$$

**Multitouch Feedback**

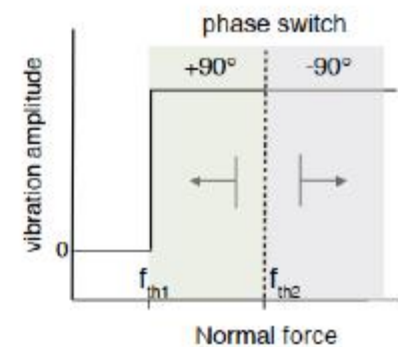
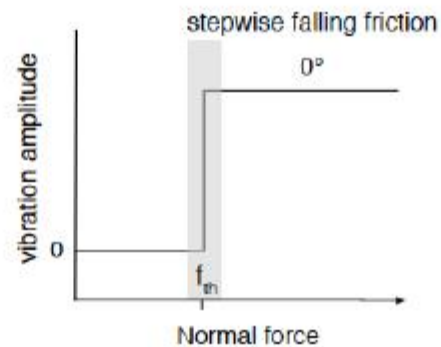
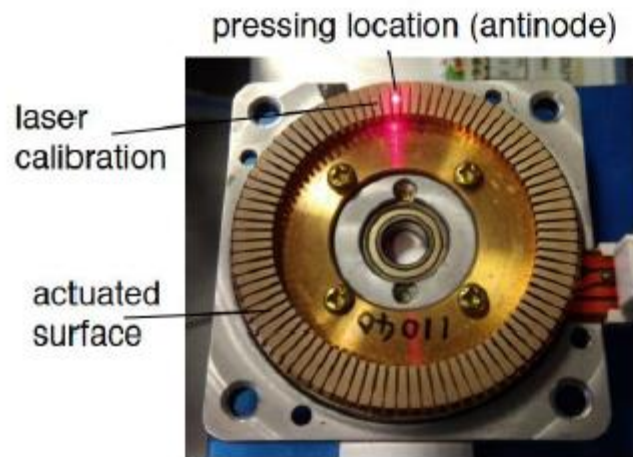


### 3. Stimulateurs par force tangentielle nette

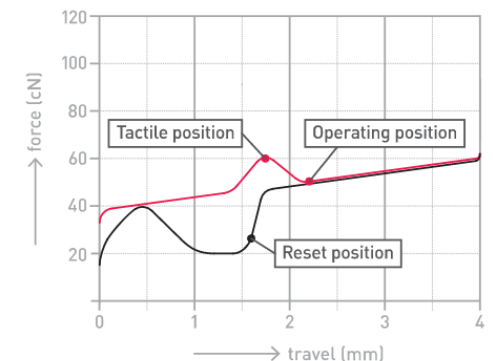
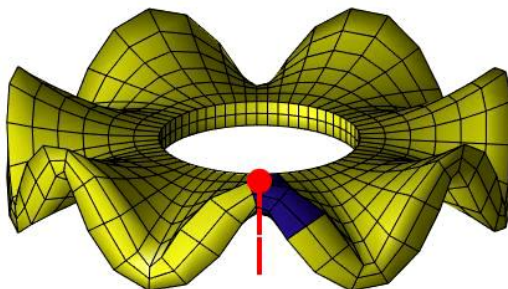
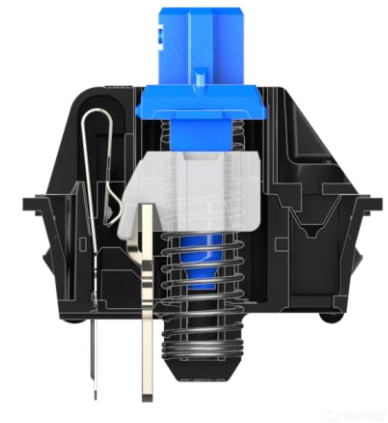
.....

## -Par superposition de deux modes ultrasoniques

- Utilisation d'ondes progressives ou de modes couplés
- Changement de phase (inversion de sens) lors de la pression du doigt

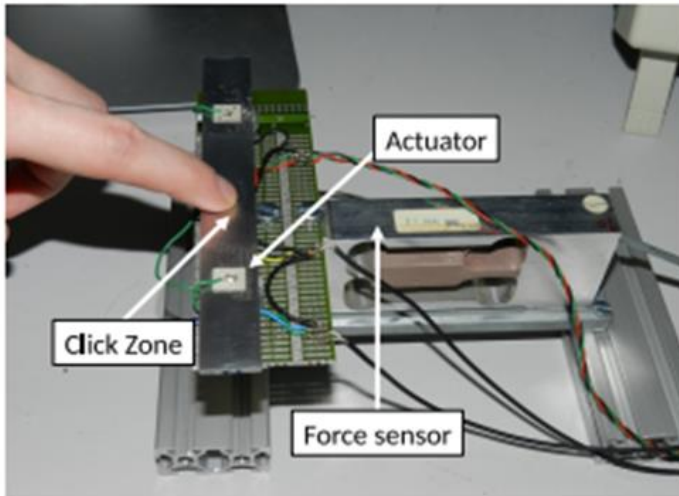


Touche de clavier

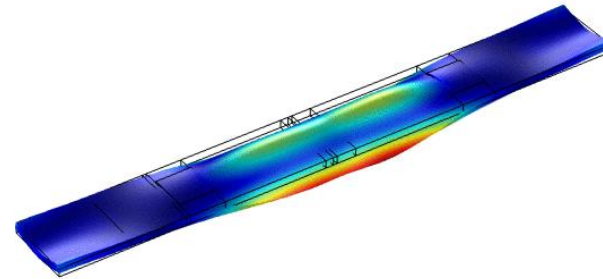


## -Par changement de direction d'onde

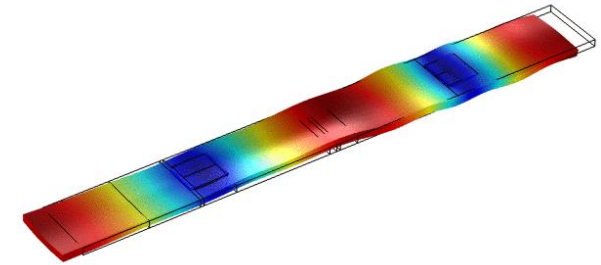
- Exemple de réalisation d'une stimulation localisée avec modes couplés



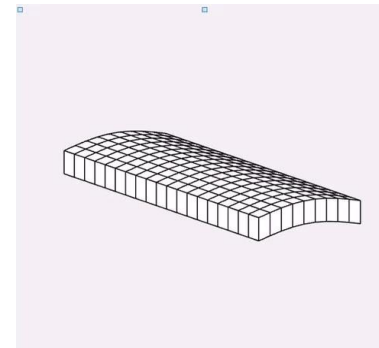
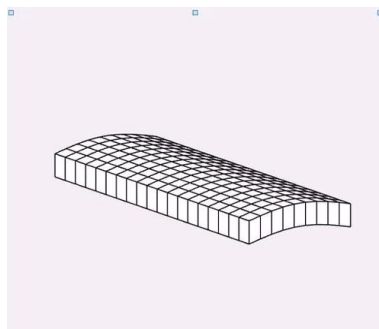
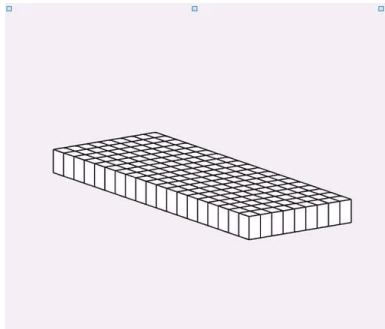
Stimulateur



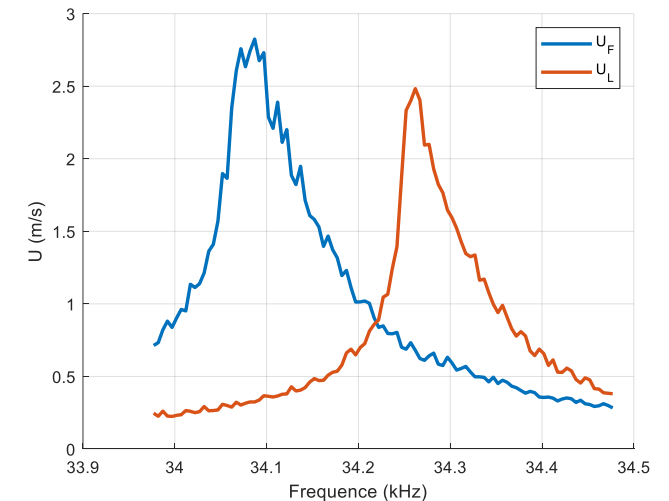
Mode de flexion 34 539 Hz



Mode Longitudinal 34 645 Hz



Garcia et Al 2020







30 juin 2022 Formation doctorale Mulhouse

## Merci pour votre attention

- [1] C. Basdogan, F. Giraud, V. Levesque, and S. Choi, '**A Review of Surface Haptics: Enabling Tactile Effects on Touch Surfaces**', *IEEE Transactions on Haptics*, pp. 1–1, 2020.
- [2] D. Wang, Y. Guo, S. Liu, Y. Zhang, W. Xu, and J. Xiao, '**Haptic display for virtual reality: progress and challenges**', *Virtual Reality & Intelligent Hardware*, vol. 1, no. 2, pp. 136–162, Apr. 2019.

