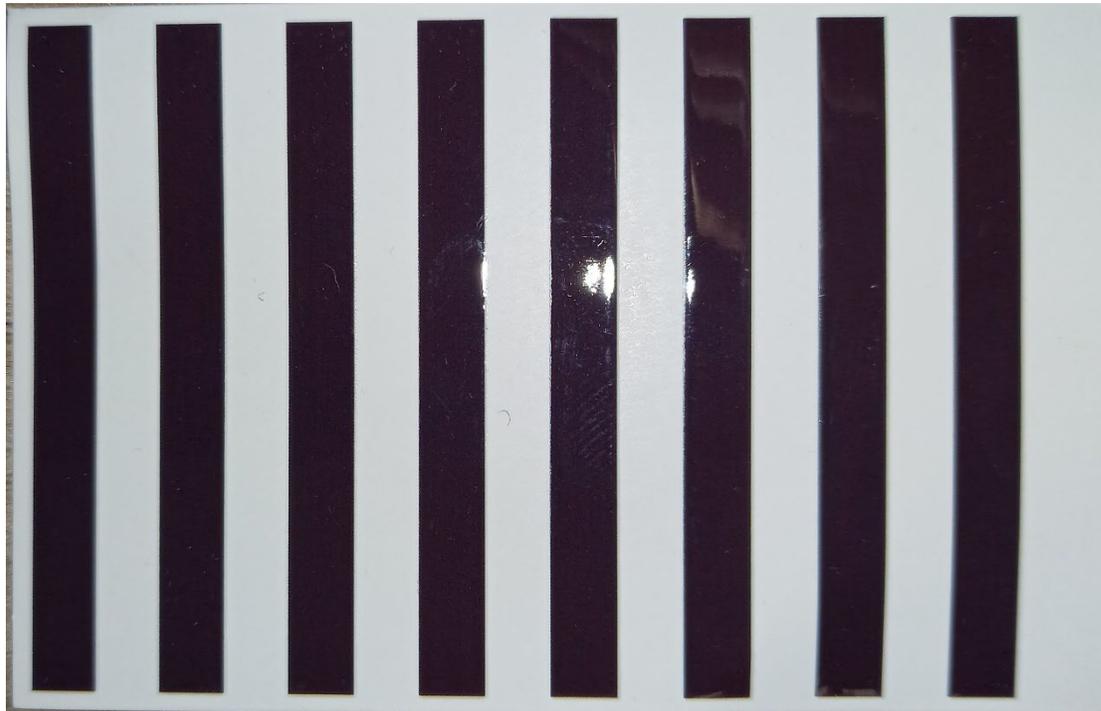


2. Stimulateurs tactiles contrôlant le frottement

.....

Impression de texture



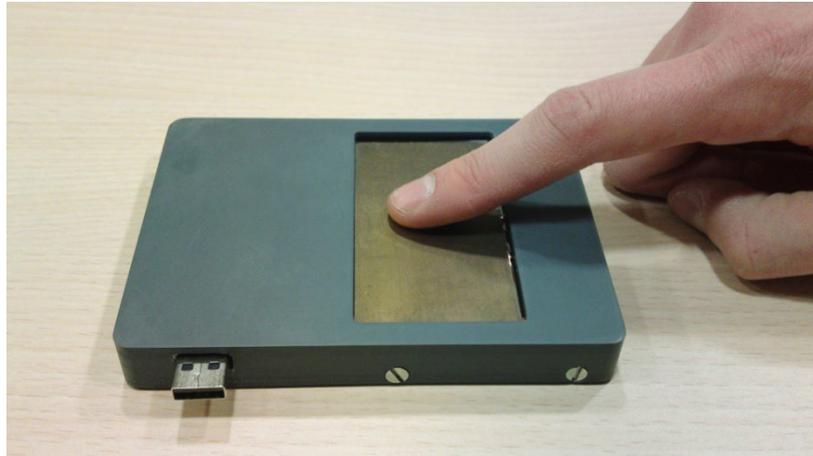
Surface blanche glissante

Surface noire moins glissante



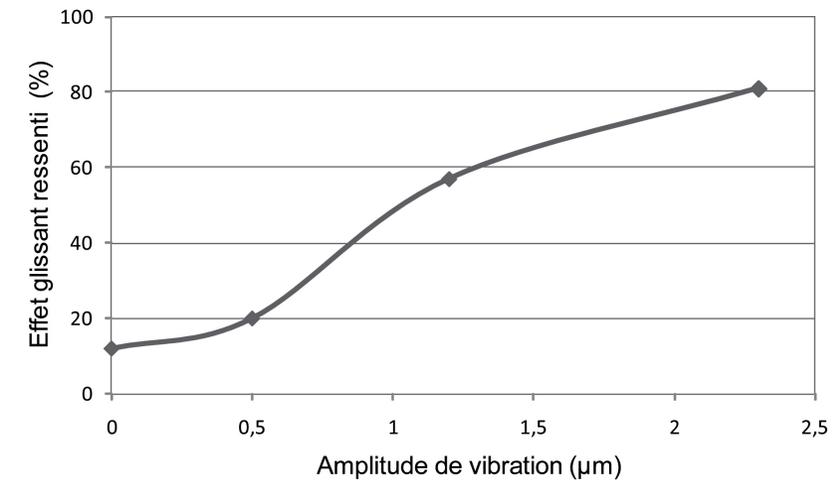
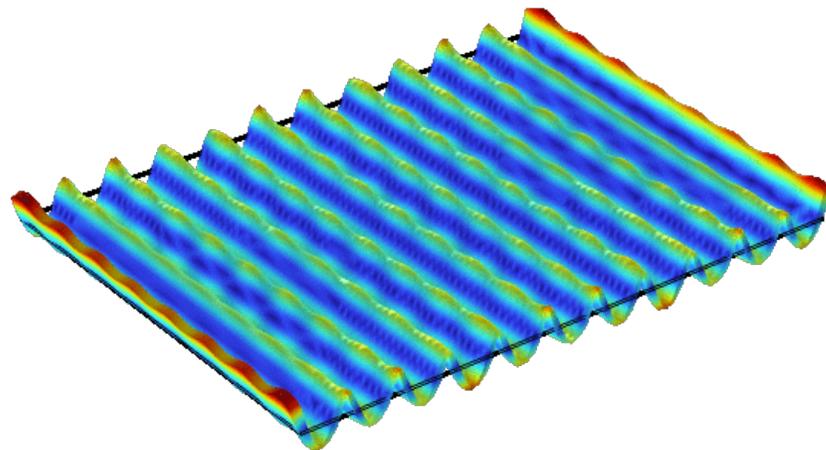
Les stimulateurs tactile à frottement contrôlé créent des illusions tactiles

- Grâce à la lubrification ultrasonique



Vibrations >20kHz (onde stationnaire transverse)

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



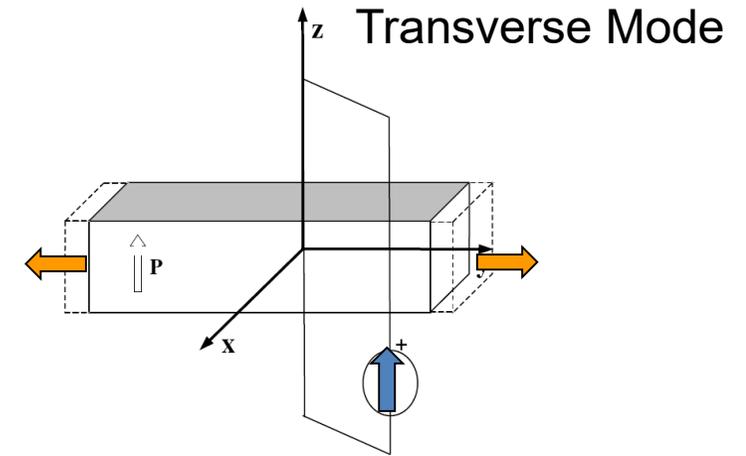
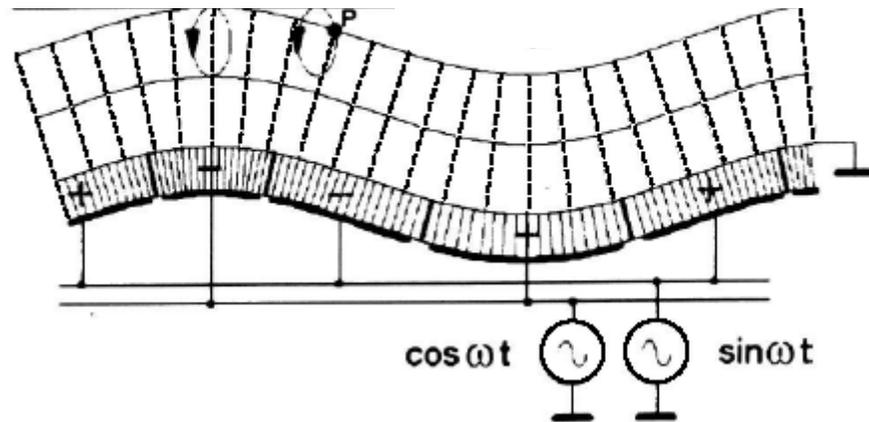
1. Biet M, Giraud F, Lemaire-Semail B. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control.

2. Biet M, Giraud F, Lemaire-semail B., The European Physical of Journal Applied Physics. 2008;43:123-36.

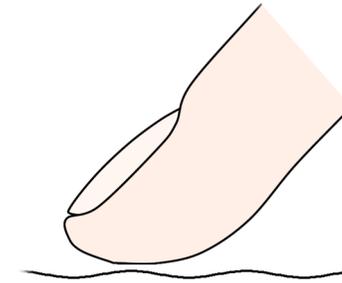
- Grâce à la lubrification ultrasonique

Comment générer ces vibrations transverses?

Céramiques piézo-électriques collées sur un résonateur

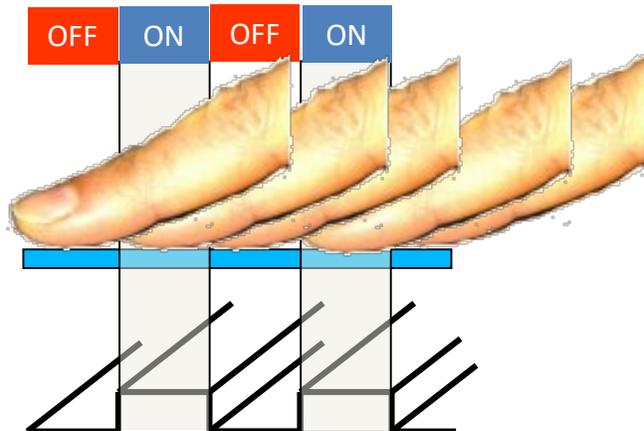


- Création de textures: principe



Plaque non alimentée: frottement "naturel" doigt-surface

Plaque alimentée: création d'une vibration, Frottement atténué, effet "glissant"

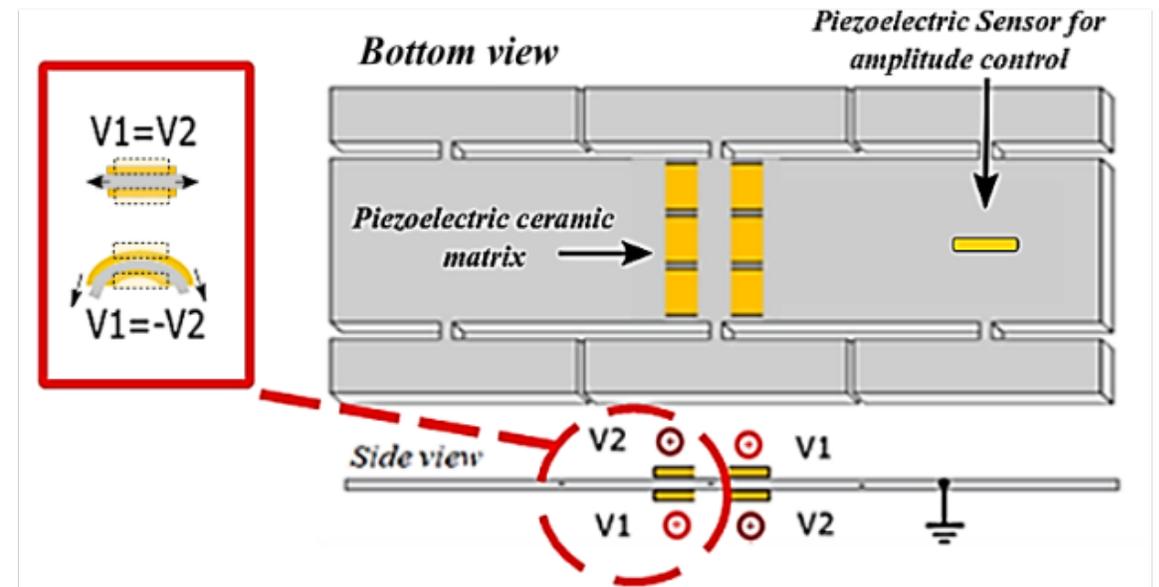
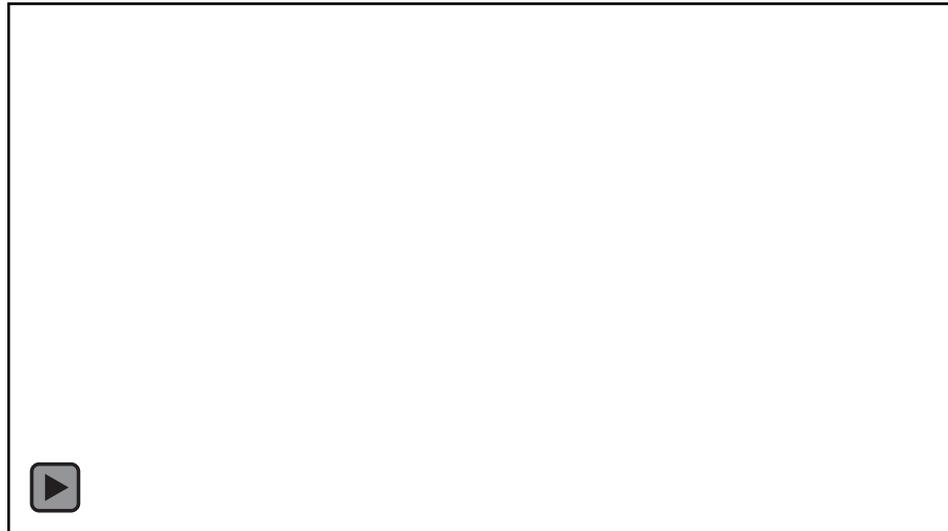


Analogie avec texture crantée

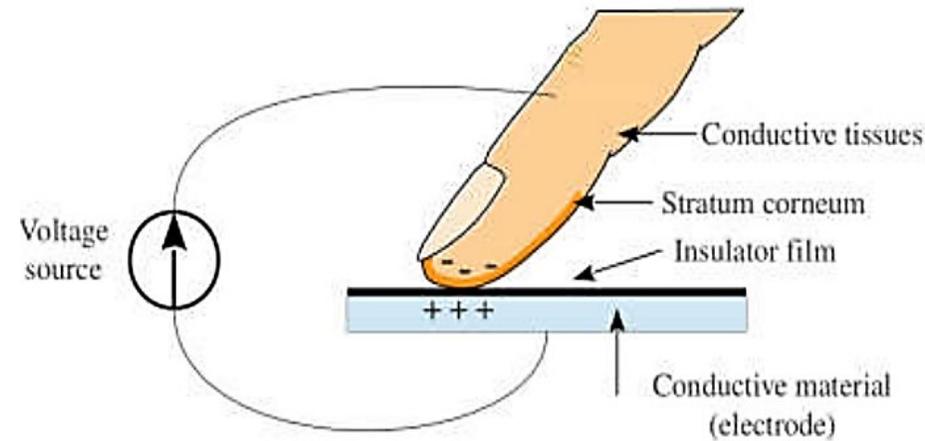
- Lubrification ultrasonique grâce à des ondes stationnaires longitudinales

Vibrations >20kHz (onde stationnaire longitudinale)

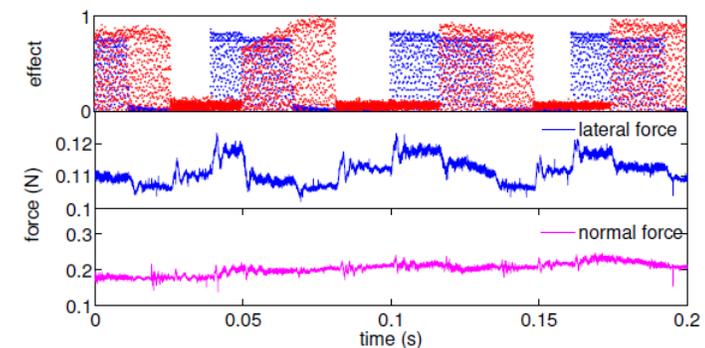
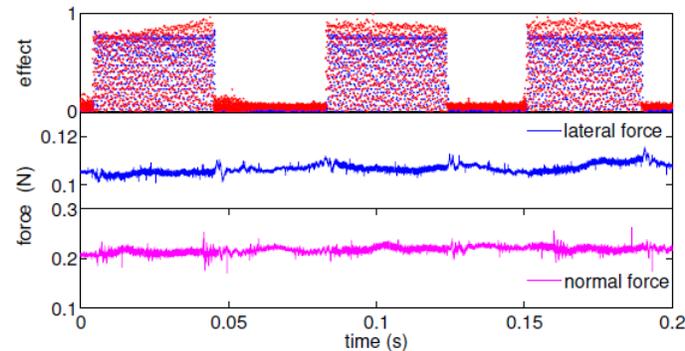
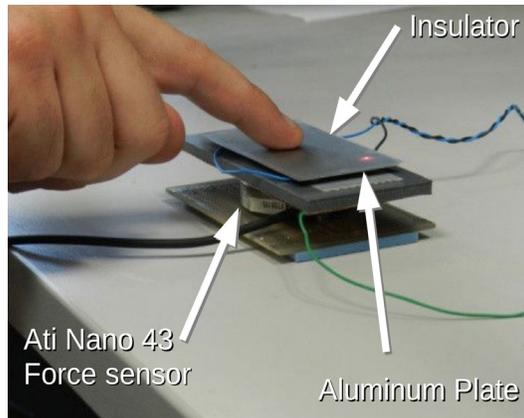
- Non perceptible par la main humaine
- Contact permanent mais séquences d'entraînement et de contre glissement du doigt
- Effet « glissant »



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



Possibilités de couplage ondes acoustiques et électro-adhésion



- Avantages de ces stimulateurs

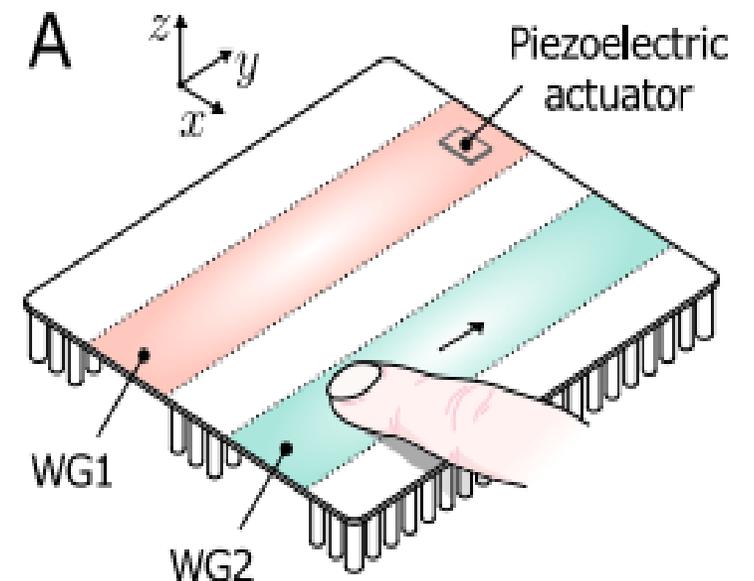
- Possibilités d'atteindre une forte compacité
- Possibilités de mettre en vibration des surfaces transparentes (écrans)
- Contrôle bien maîtrisé, robustesse par rapport au doigt

- Inconvénients:

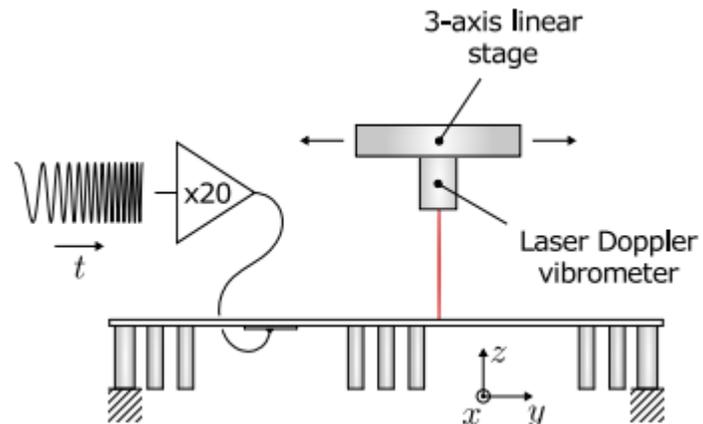
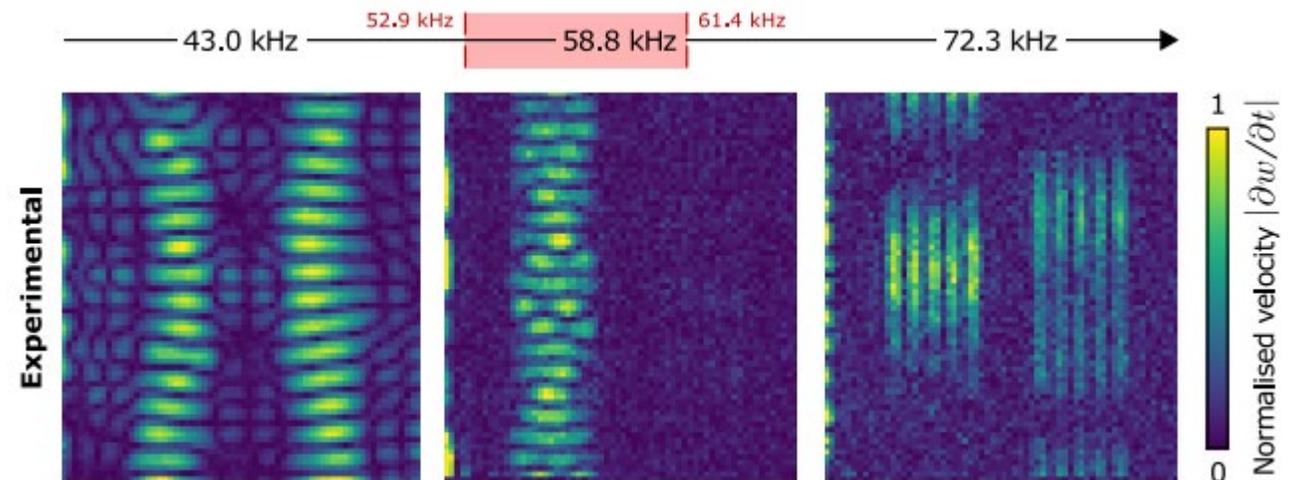
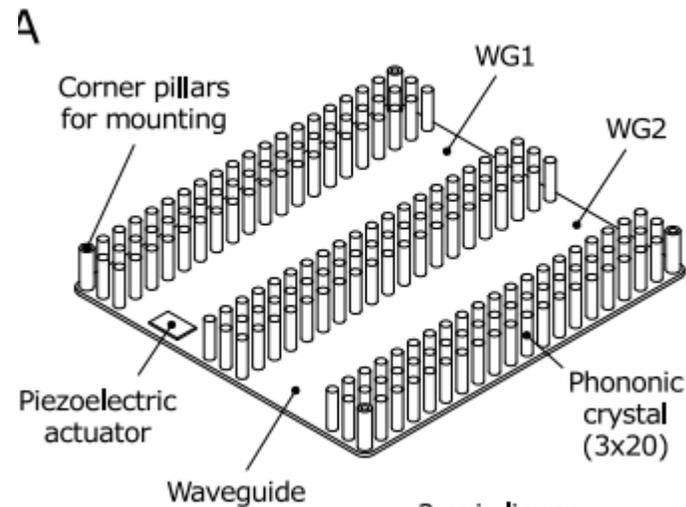
- Pas d'effet tactile doigt statique
- Pas de possibilités de retour multi-doigts



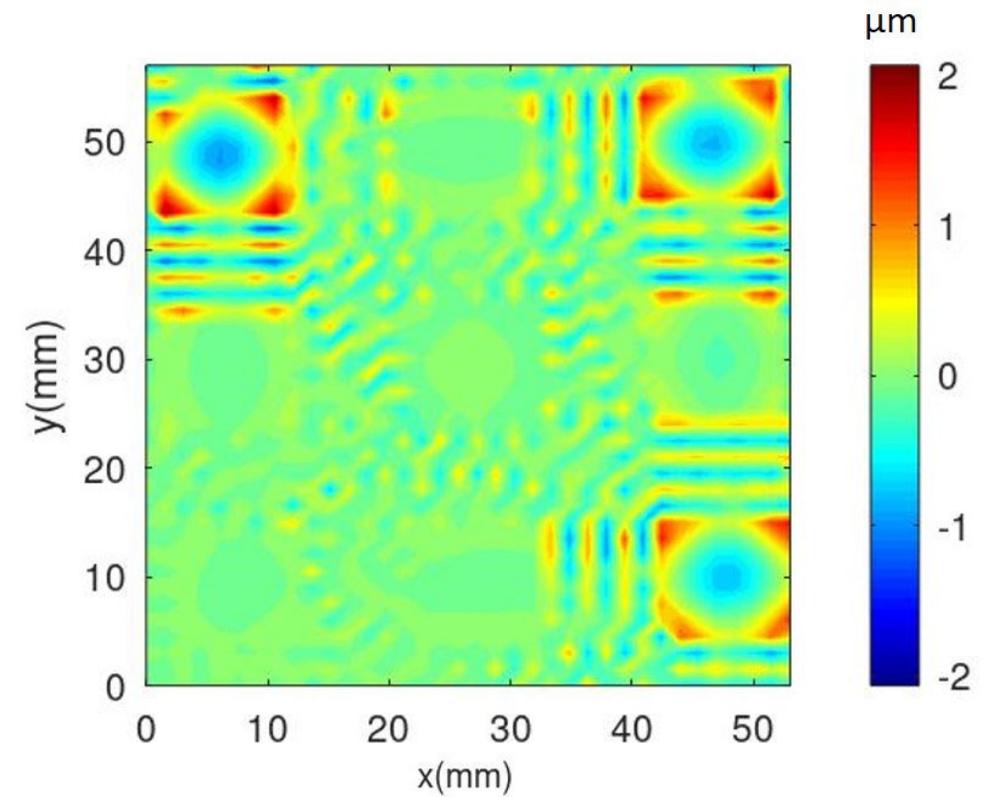
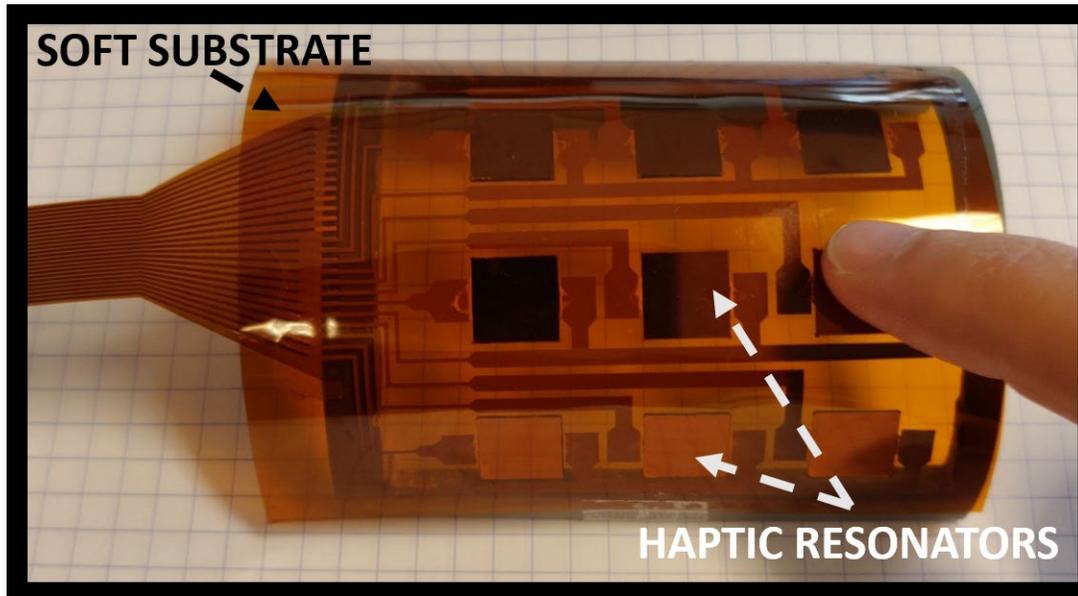
Solution: réaliser des guides d'onde



- Exemple de surface équipée de guides d'onde

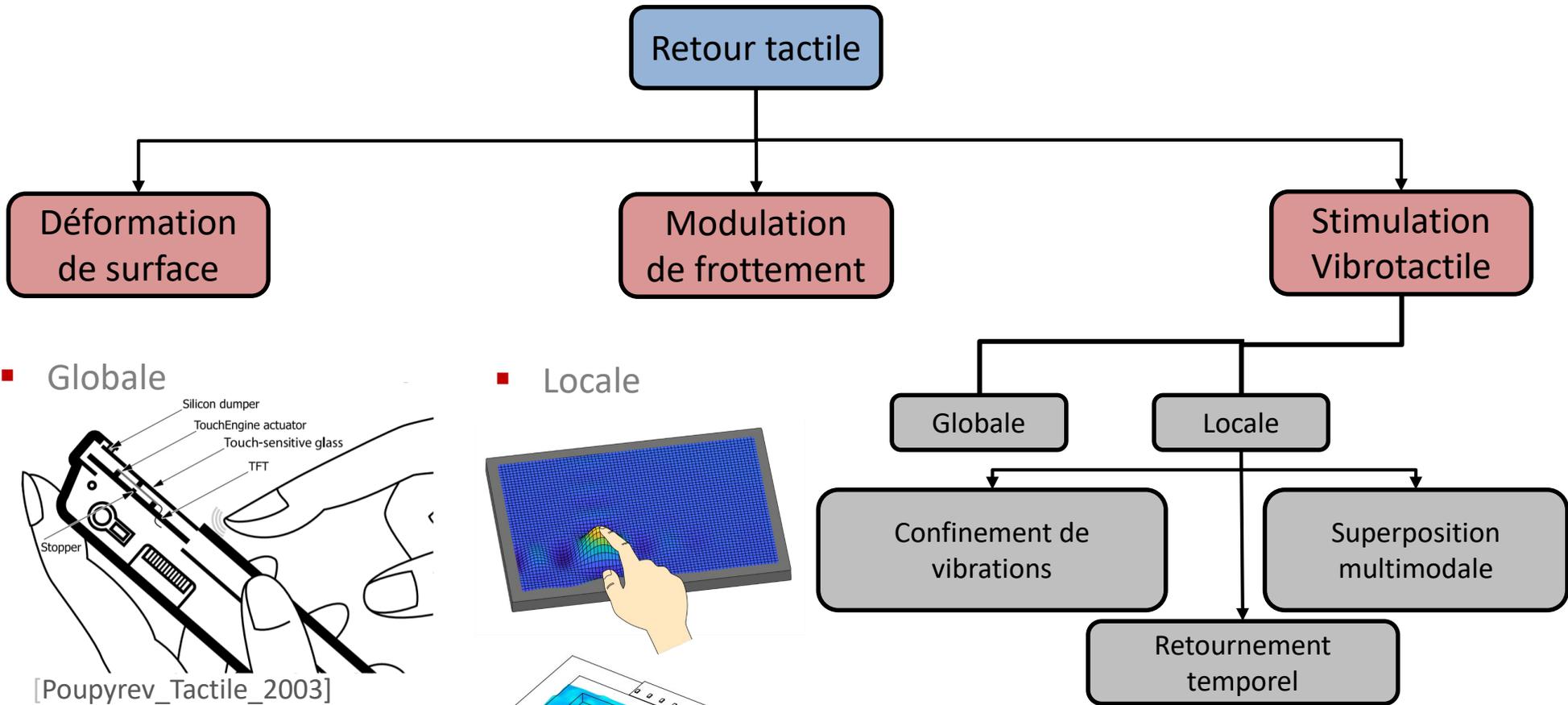


- Exemple de surface flexible équipée d'actionneurs PZT

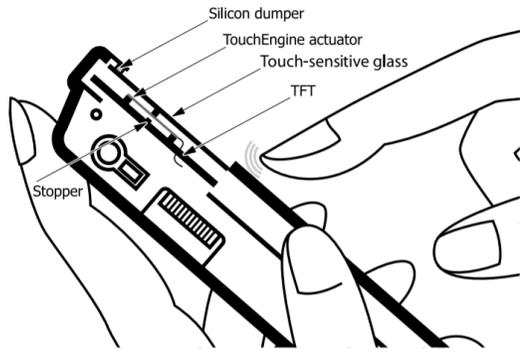


3. Stimulateurs vibrotactiles localisés

.....

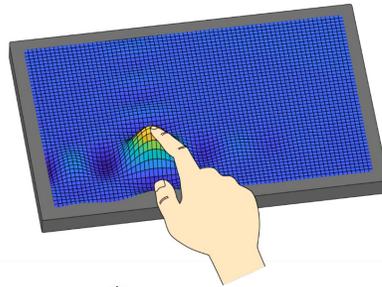


■ Globale

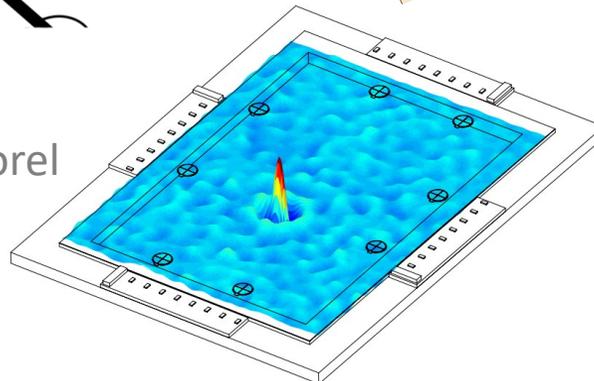


[Poupyrev_Tactile_2003]

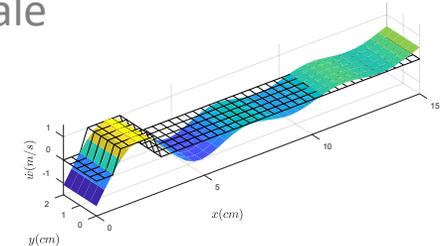
■ Locale



■ Retournement temporel
[Hudin_2014]

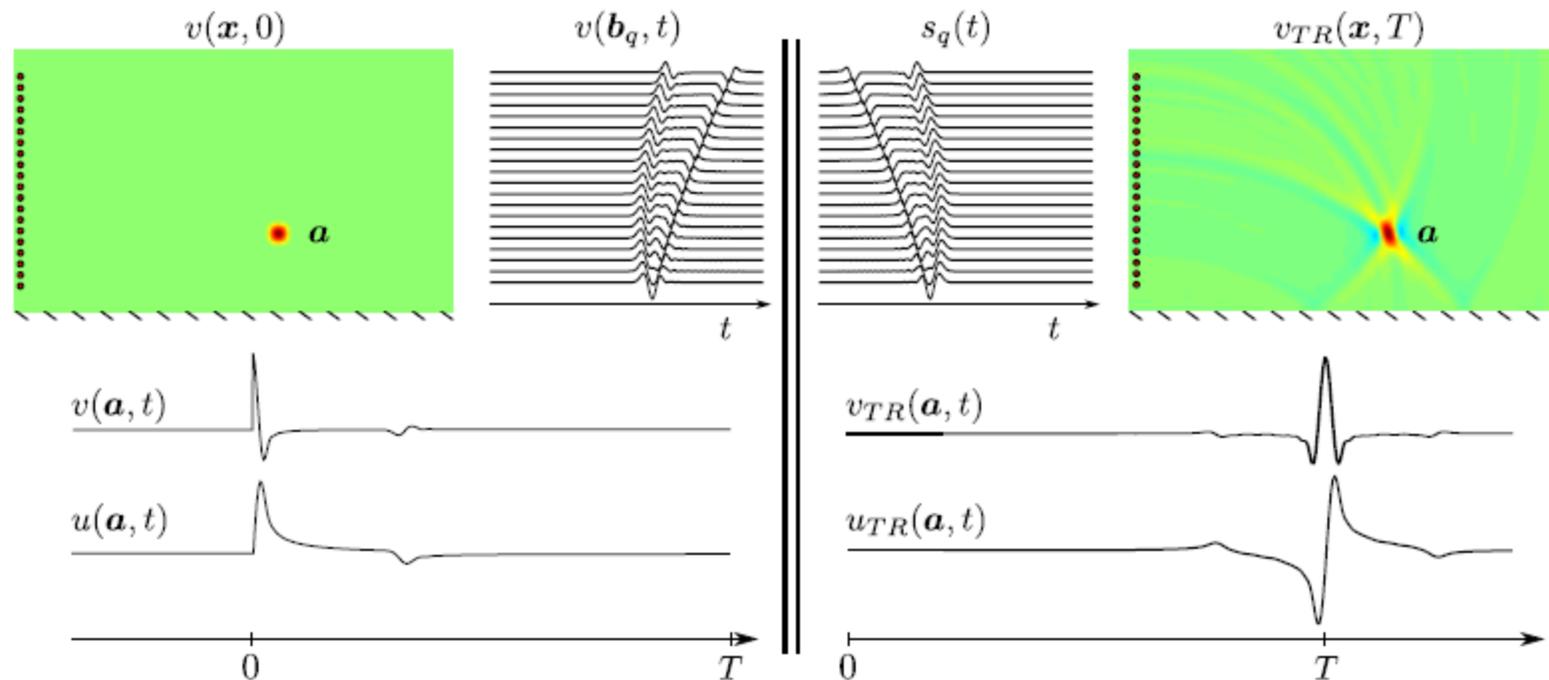


■ Superposition multimodale
[Enferad_2019]

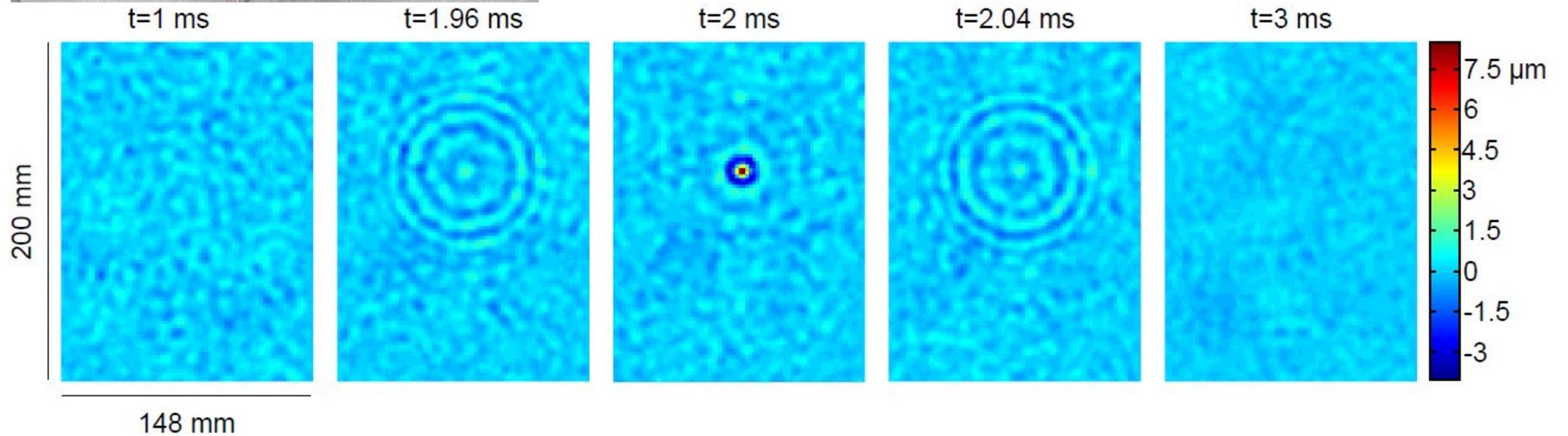
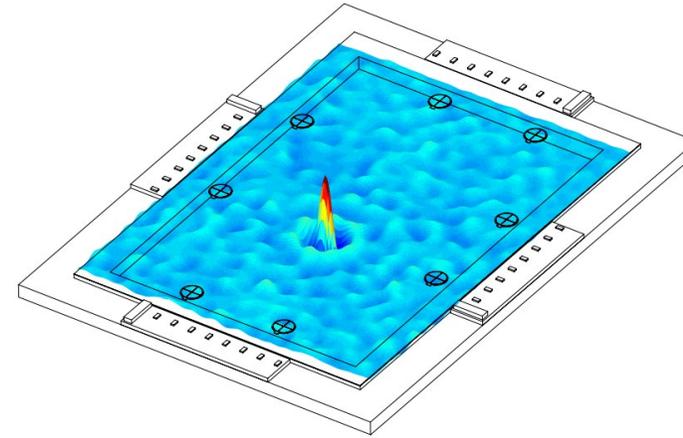
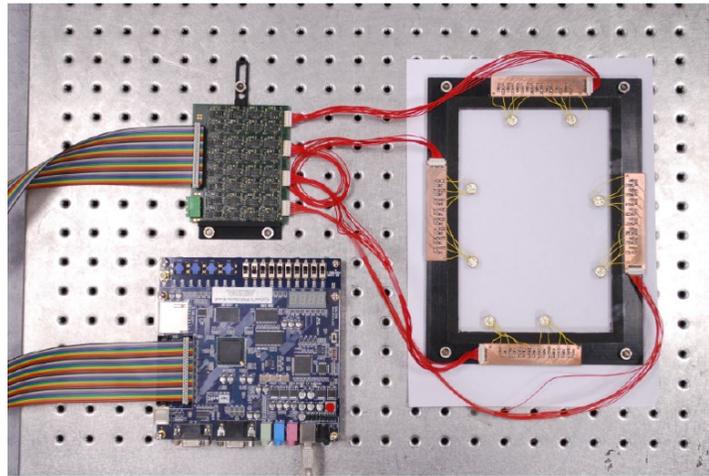


-Par retournement temporel: principe

- 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 recrée en a

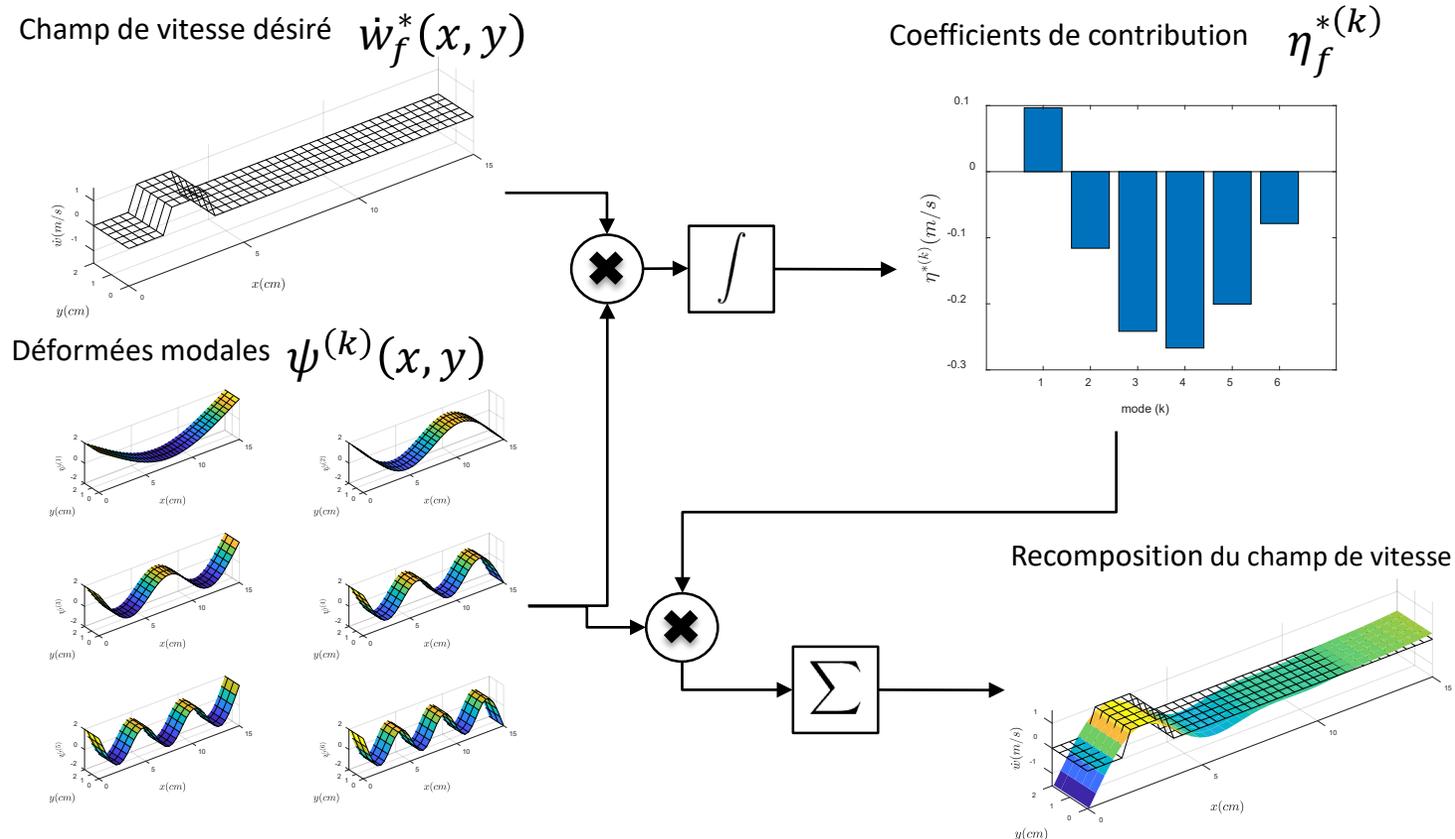


-Par retournement temporel: principe



-Par superposition multi-modale

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

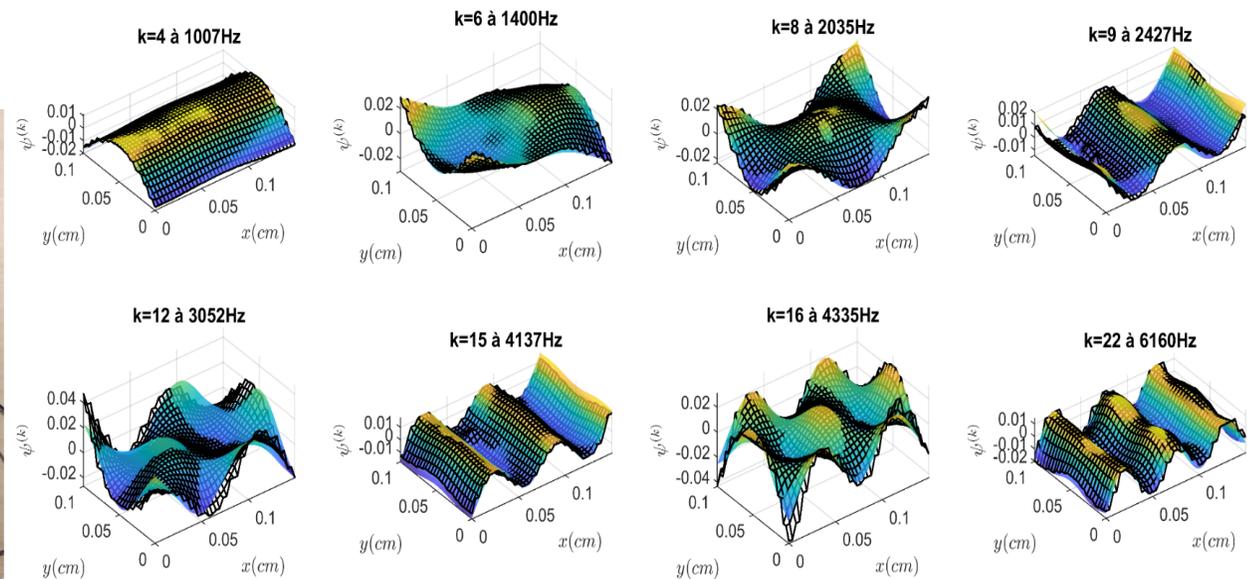
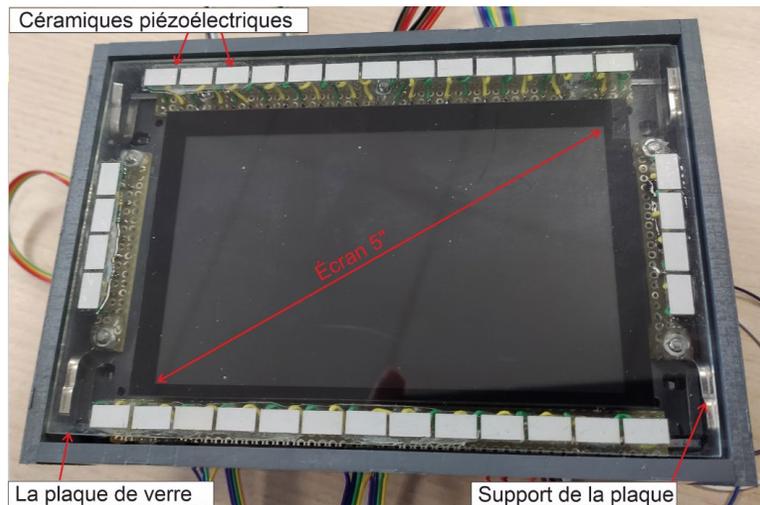


-Par superposition multi-modale

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

■ Identification des modes

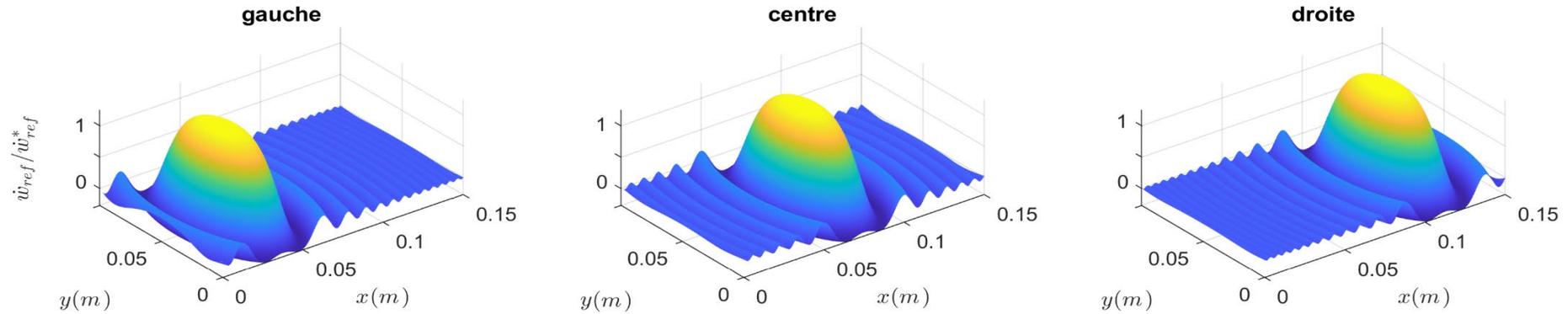
■ Mise en œuvre de la plaque



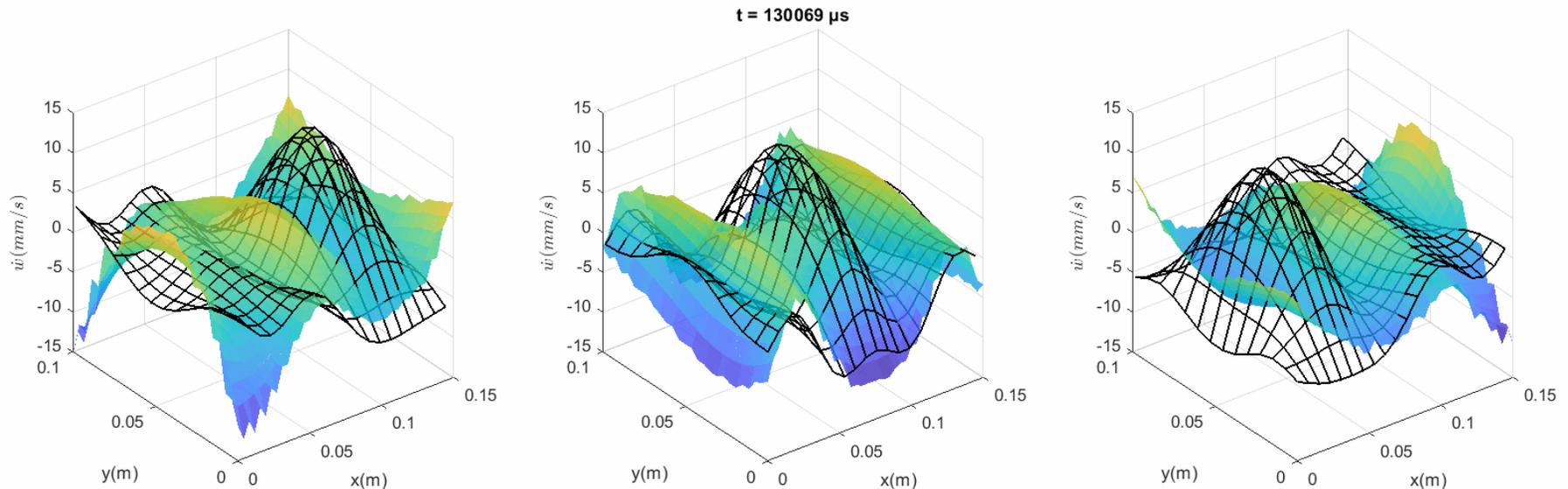
-Par superposition multi-modale

Kaci A. PhD thesis, Université de Lille, 2020

- Champs de vitesse définis comme références

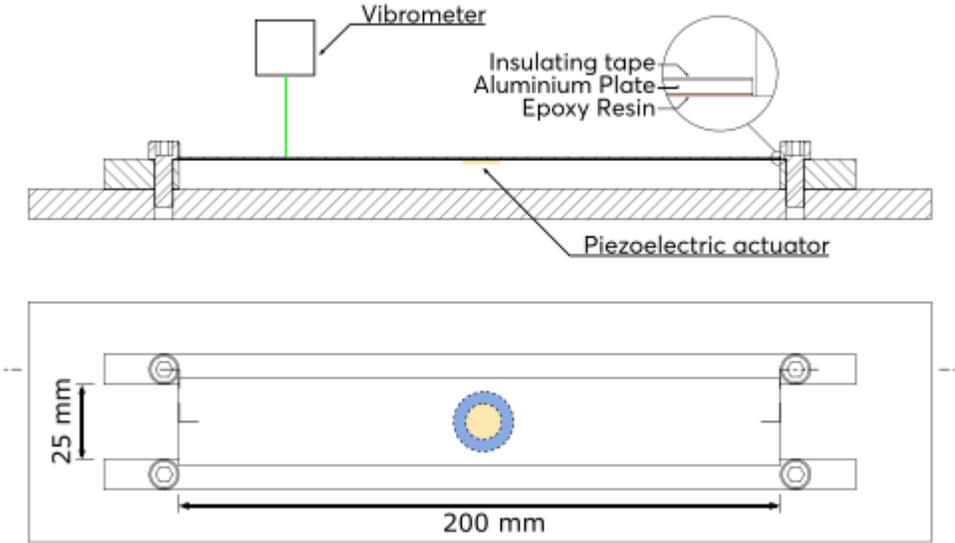
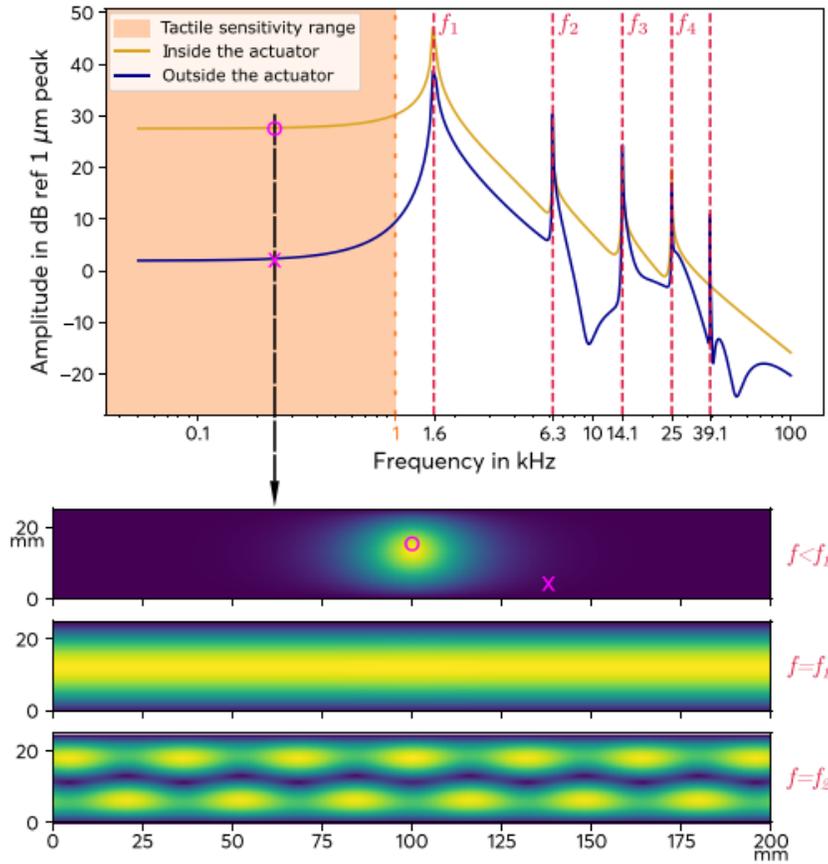


- Champs de vitesse recomposés

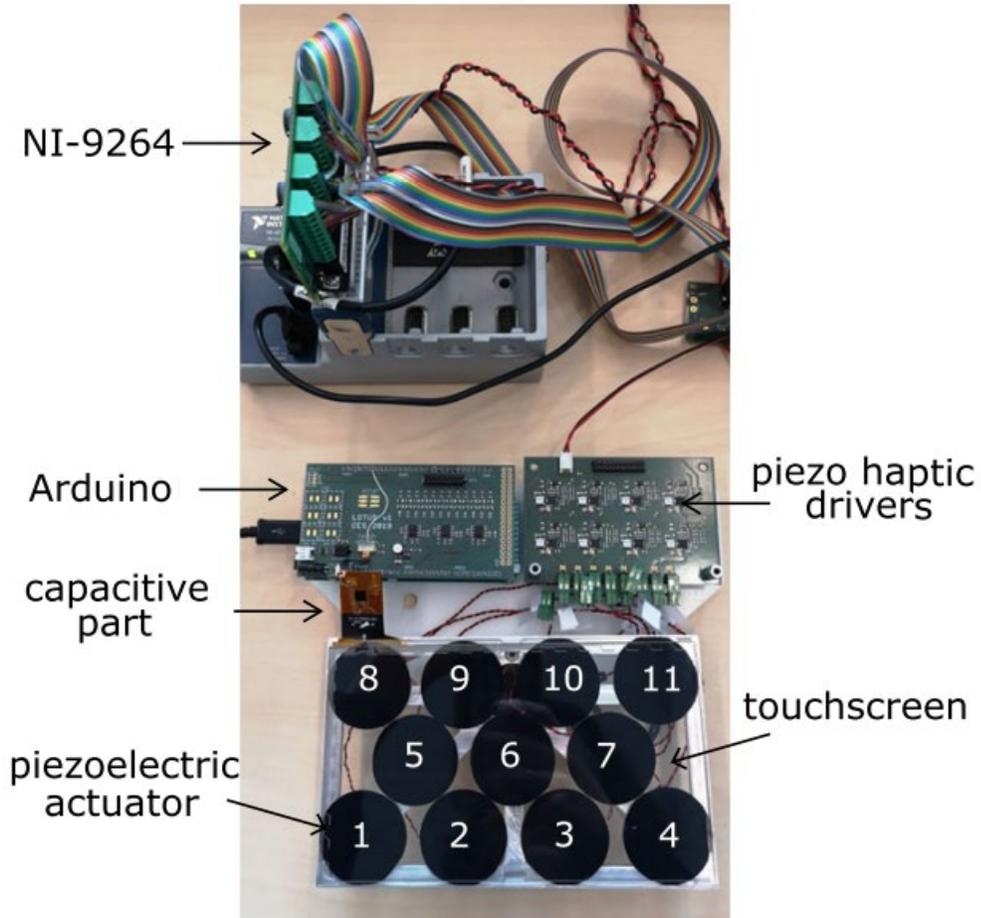


-Par confinement de vibrations

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



-Par filtrage inverse



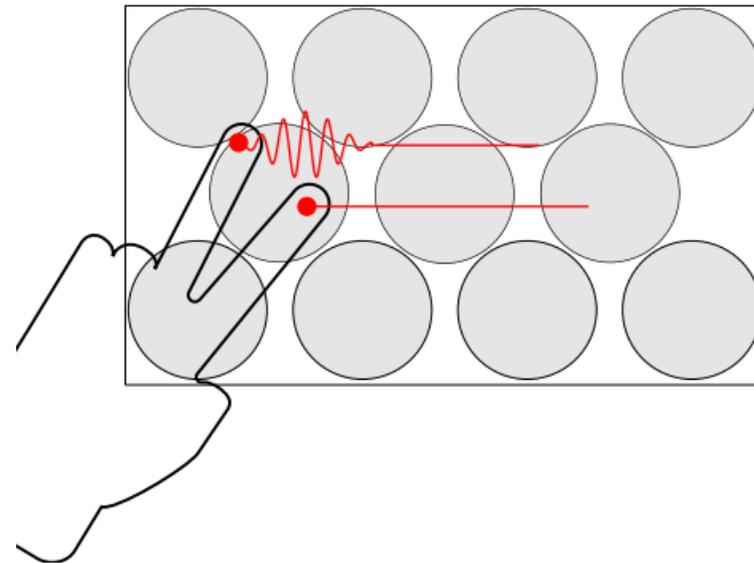
$$\begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_F \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H_{11} & H_{12} & \dots & H_{1Q} \\ H_{21} & H_{22} & \dots & H_{2Q} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{F1} & H_{F2} & \dots & H_{FQ} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \vdots \\ S_Q \end{pmatrix}$$

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

$$\downarrow \text{IFFT}$$

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

Multitouch Feedback

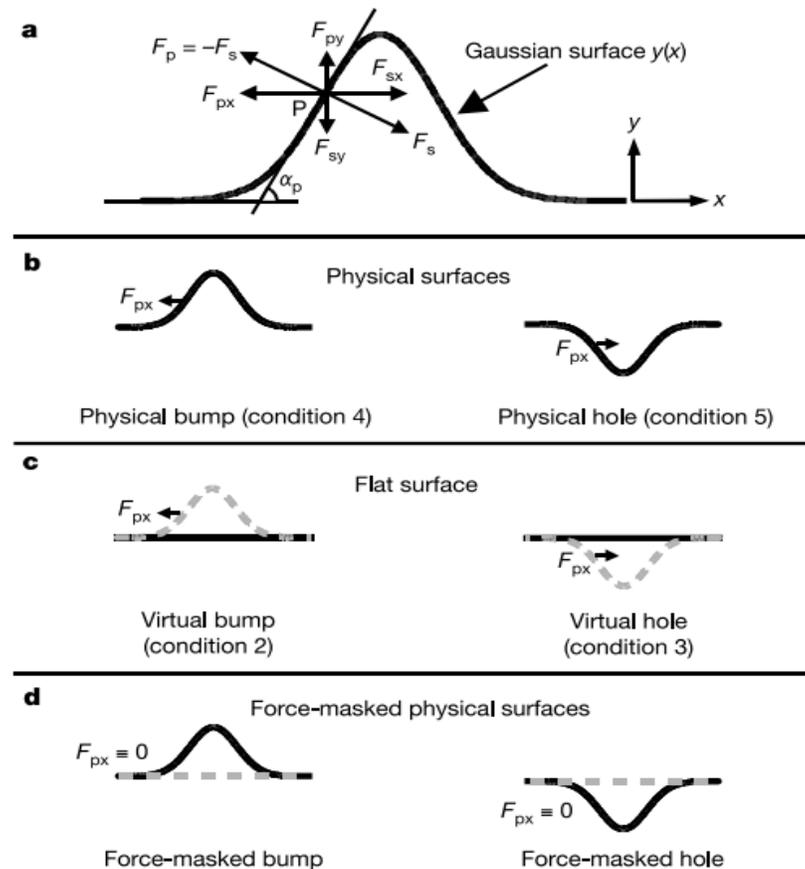


3. Stimulateurs par force tangentielle nette

.....

-La simulation de bosses et de creux

- D'après une étude de G Robles de la Torre et V. Hayward
- Illusion créée par la reproduction de la force latérale due à l'exploration de la surface

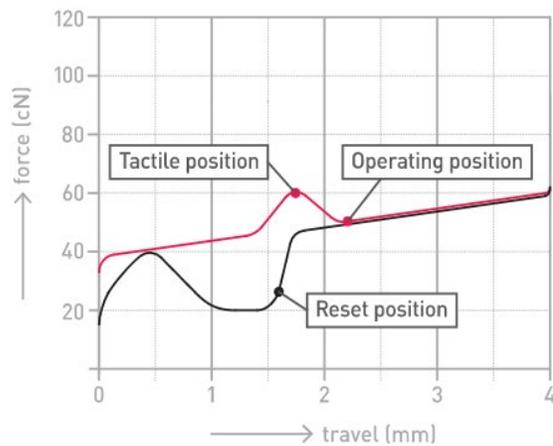
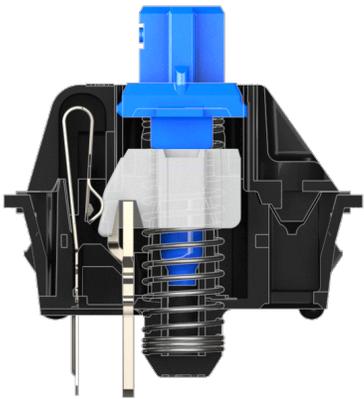


Force can overcome object geometry in the perception of shape through active touch

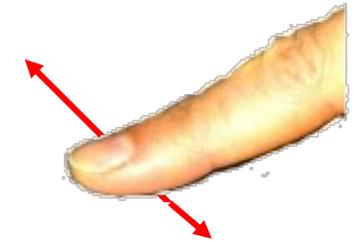
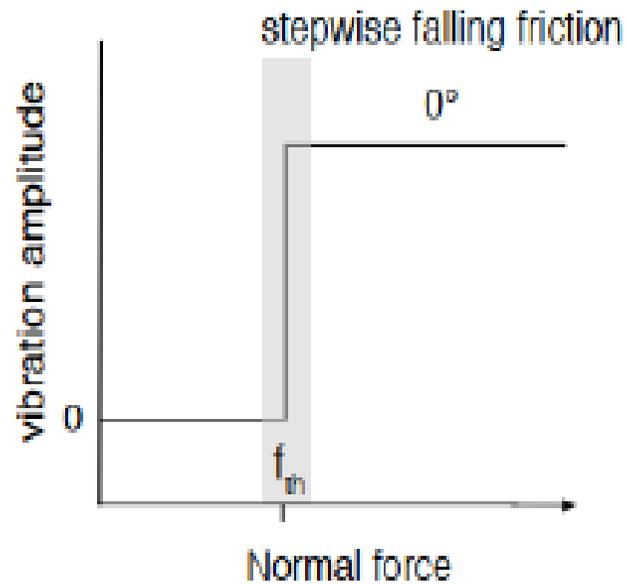
Gabriel Robles-De-La-Torre & Vincent Hayward

-La simulation d'effet « clic » (stimulation doigt statique)

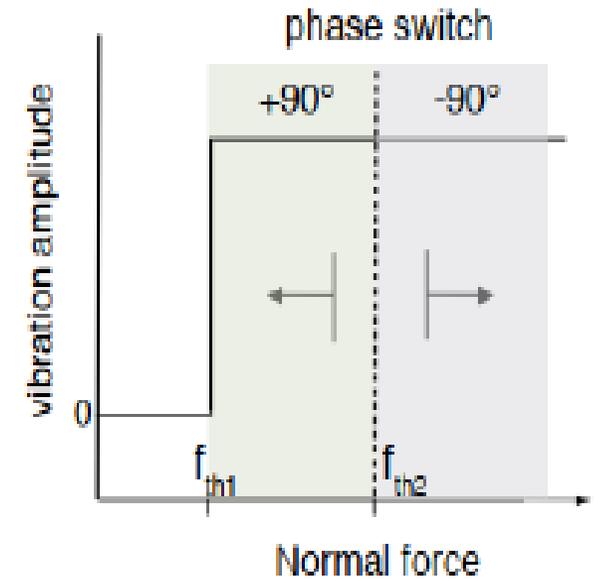
- Par retournement rapide de la force sous le doigt



Sans force nette
(avec un stimulateur à
frottement contrôlé)

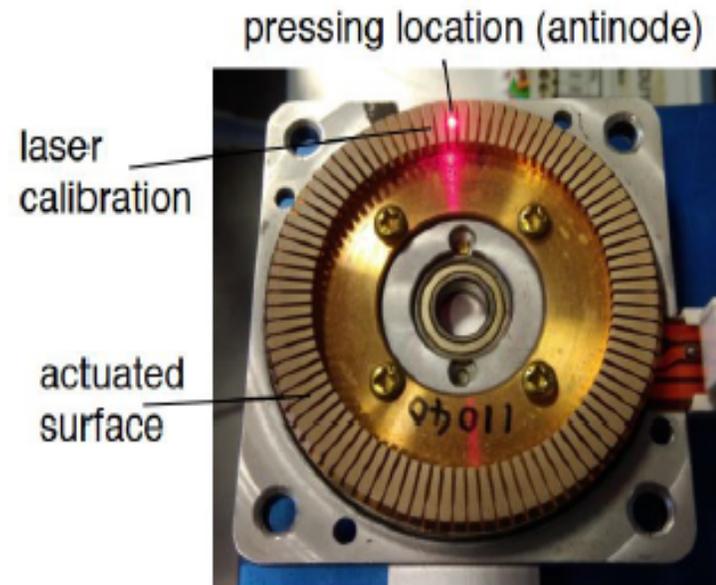
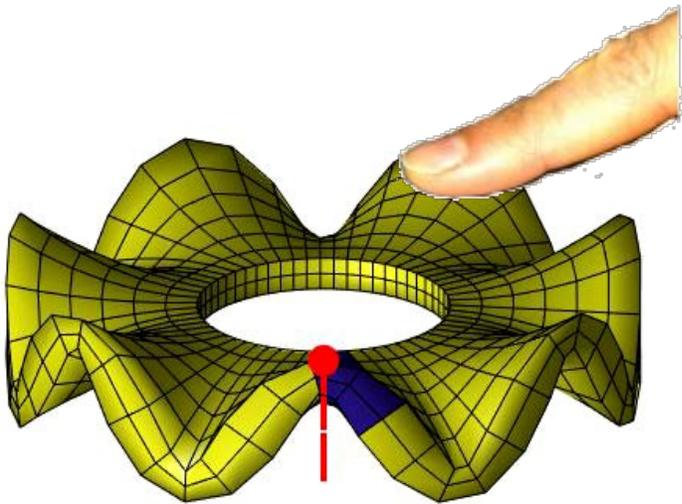


Avec force nette



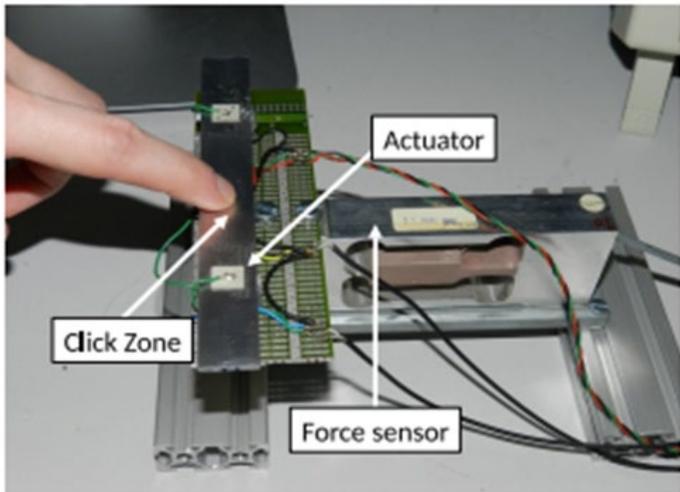
-La simulation d'effet « clic » (stimulation doigt statique)

- Par retournement rapide de la force sous le doigt
- Utilisation d'ondes progressives
- Changement de phase (inversion de sens) lors de la pression du doigt

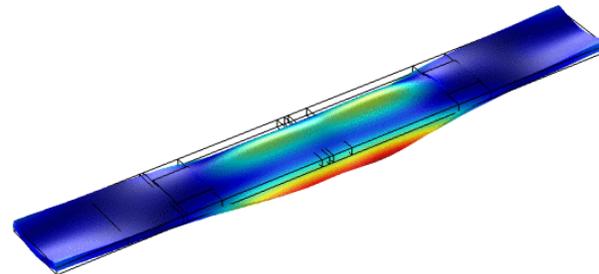


-La simulation d'effet « clic » (stimulation doigt statique)

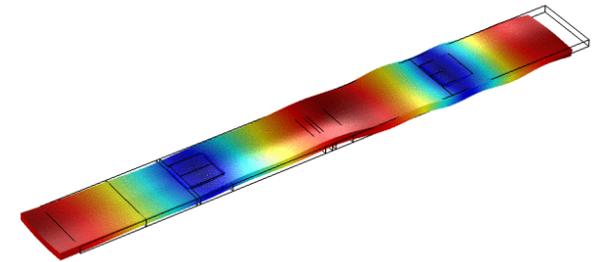
- Utilisation de modes couplés
- Changement de phase (inversion de sens) lors de la pression du doigt



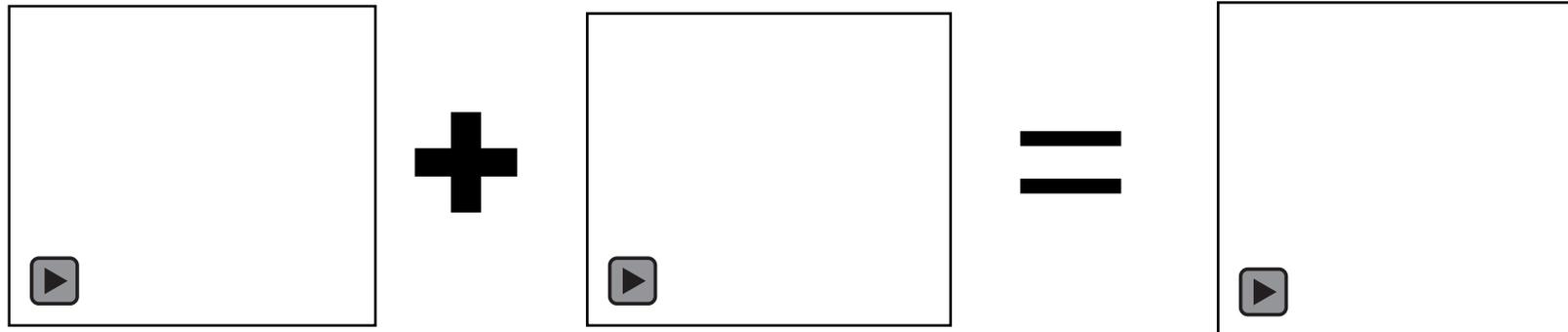
Stimulateur



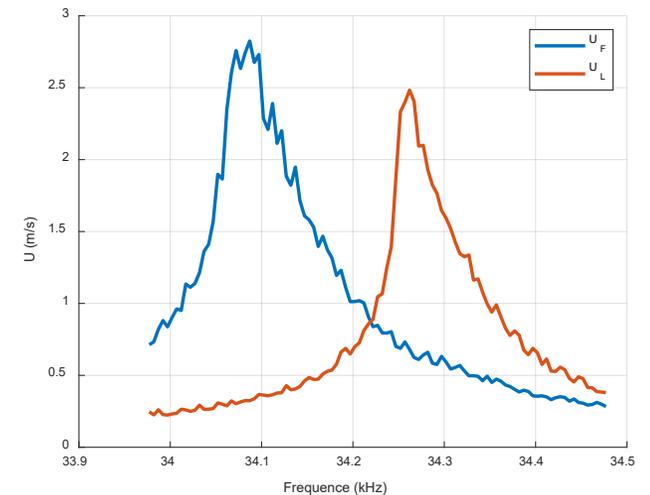
Mode de flexion 34 539 Hz



Mode Longitudinal 34 645 Hz

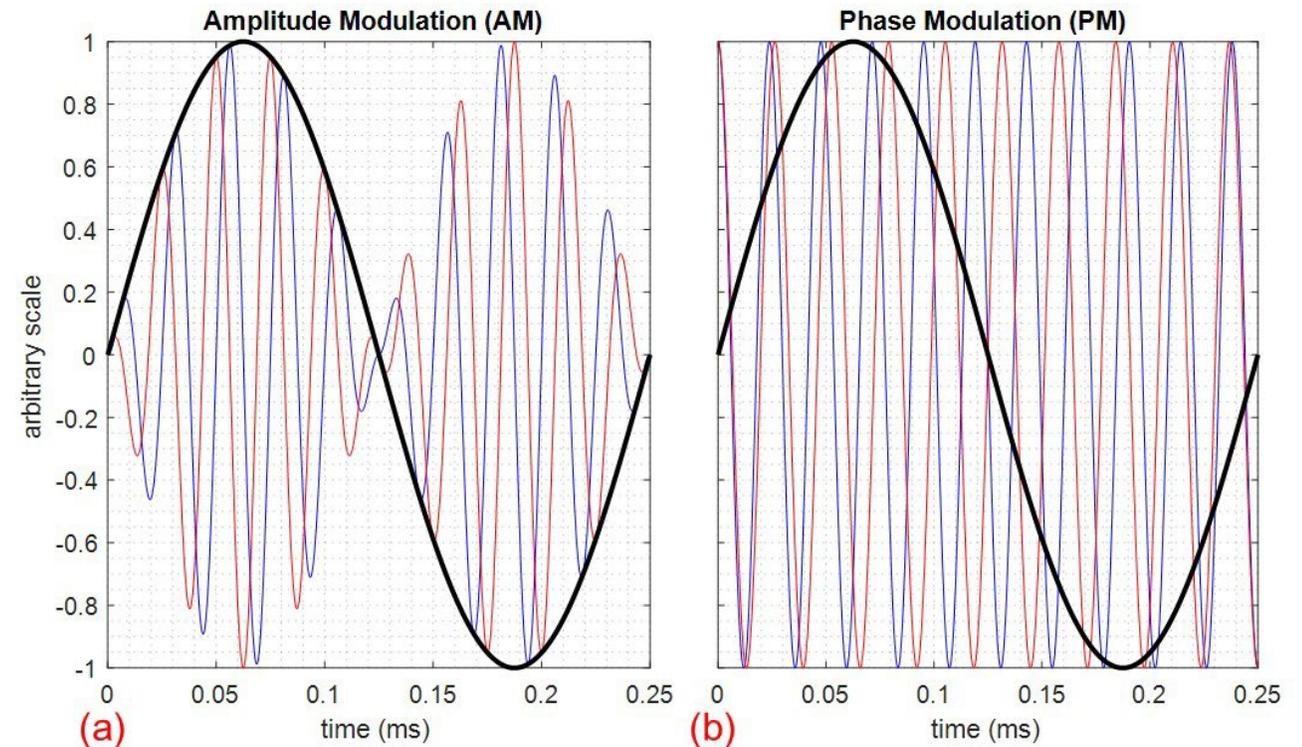
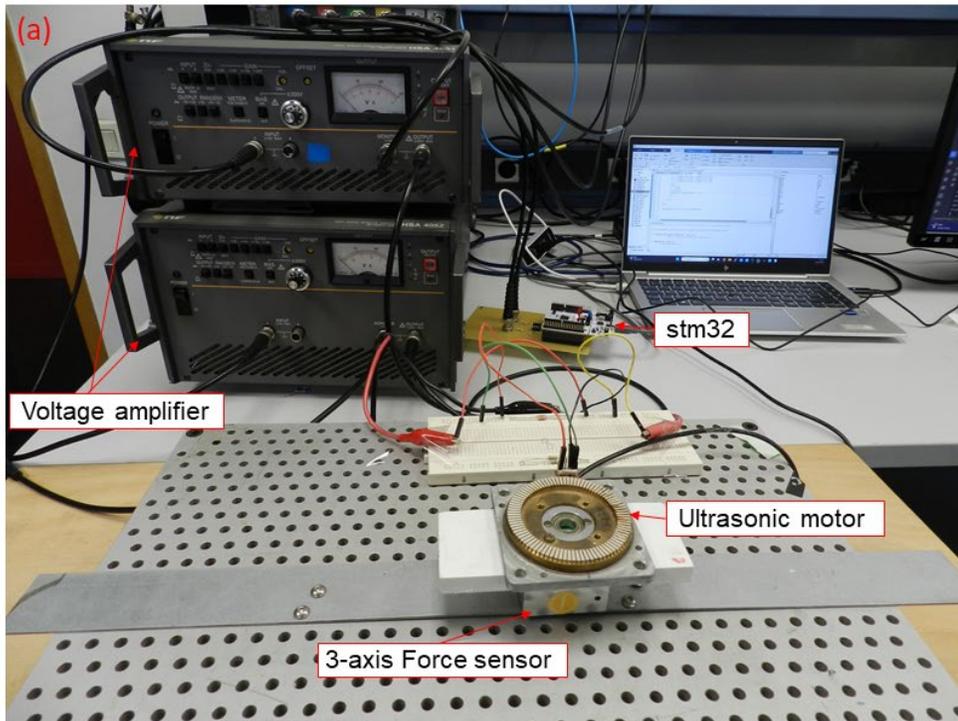


Garcia et Al 2020



-La simulation d'électrovibration (stimulation doigt statique)

- Par retournement continu de l'onde
- Modulation de phase ou modulation d'amplitude





6 juin 2024 Formation doctorale Marseille

Merci pour votre attention

Merci aux collègues du L2EP/IRCICA



F. Giraud



Ch. Giraud-Audine



A. Kaci



M. Amberg

