

Automatisation du pilotage d'instruments de mesure sous Python pour l'optimisation du nettoyage de surfaces par ultrasons

Jules COCHARD et Claude INSERRA

Journées de la GI EIF 11 et 12 juillet 2024

Contexte : nettoyage de surface par US

Procédé connu et utilisé avec succès depuis longtemps :

- traitement d'objets à géométrie complexe,
- solubilisation des huiles,
- suppression de la rouille,
- désinfecter les surfaces...

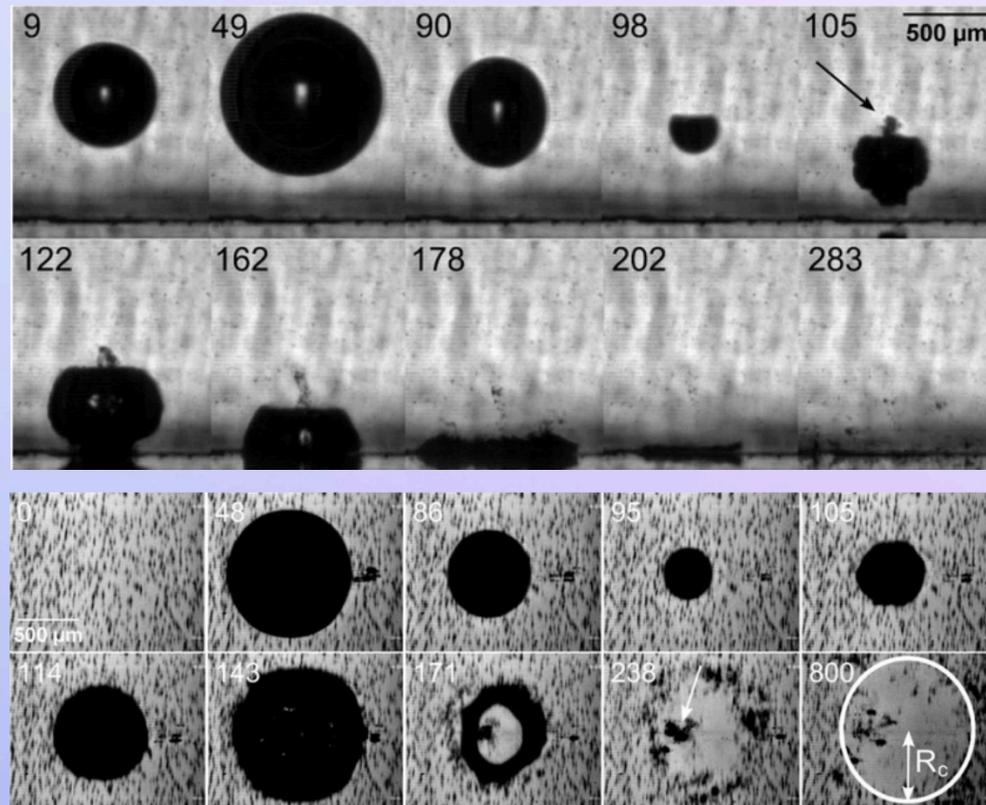


Fig. 1

Reuter, F., & Mettin, R. (2016). Mechanisms of single bubble cleaning. *Ultrasonics sonochemistry*, 29, 550-562



Fig. 2

SinaTec©

Mécanisme physique :

- implosion de bulles de cavitation,
- mécanisme violent conduisant à :
 - l'apparition d'ondes de pression,
 - vitesse locale d'écoulement ≈ 100 m/s
 - Contrainte de cisaillement $\rightarrow 5$ kPa

Banc expérimental : le dispositif

Expériences contrôlées d'acoustofluidique

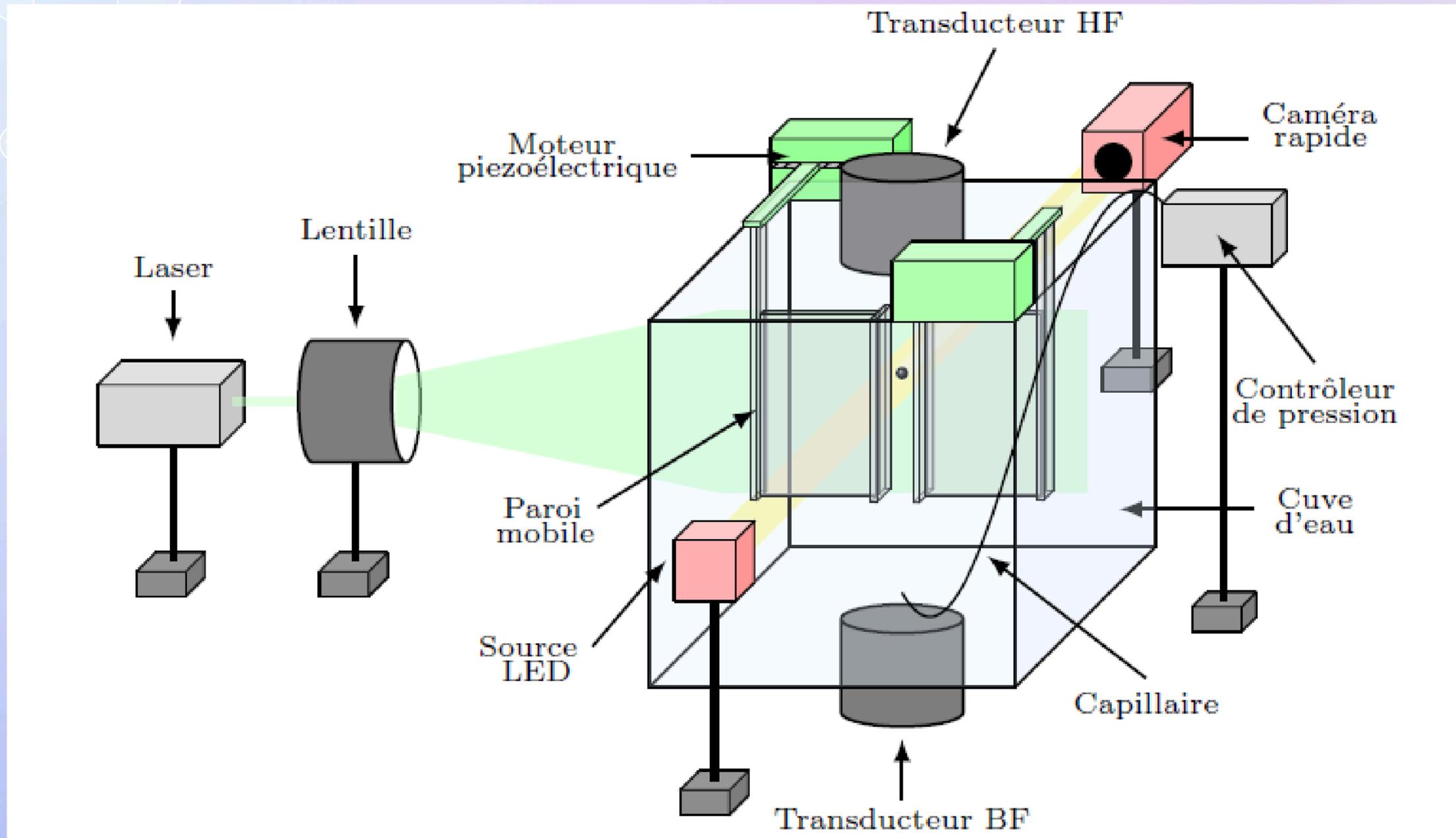


Fig. 3 - Description schématique du banc de mesure

Pilotage de :
Partie Acoustique / Dynamique
de Bulle

- générateur de fonction
- Oscilloscope
- Caméra rapide

Partie Fluide / Génération de
bulles – écoulements induits

- Caméra rapide
- Contrôleur de pression

Déplacement des parois
mobiles

- Platine piézo-électrique de déplacement

Castafiore et résonances



La Castafiore...



Comment casse-t-elle ce verre?



Pourquoi cette corde de guitare fait ce son là, et pas un autre?



Une histoire de vibrations....

Modes de vibration, notion de système

Mode 1
(fondamentale)

Mode 2

Mode 3

Mode 4

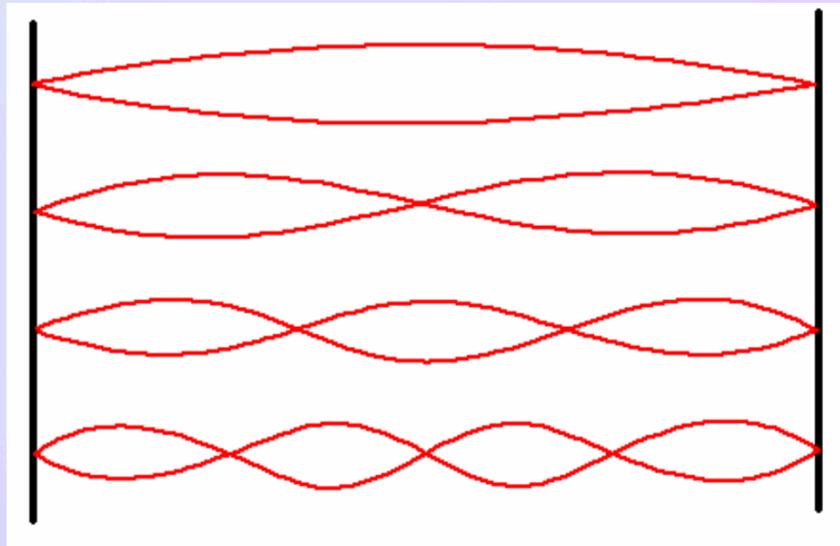


Fig. 4 - Différents modes d'une corde vibrante

Chaque système est unique

Mais?! pour
une bulle alors?

**Toutes les fréquences ne
"survivent" pas de la même manière**

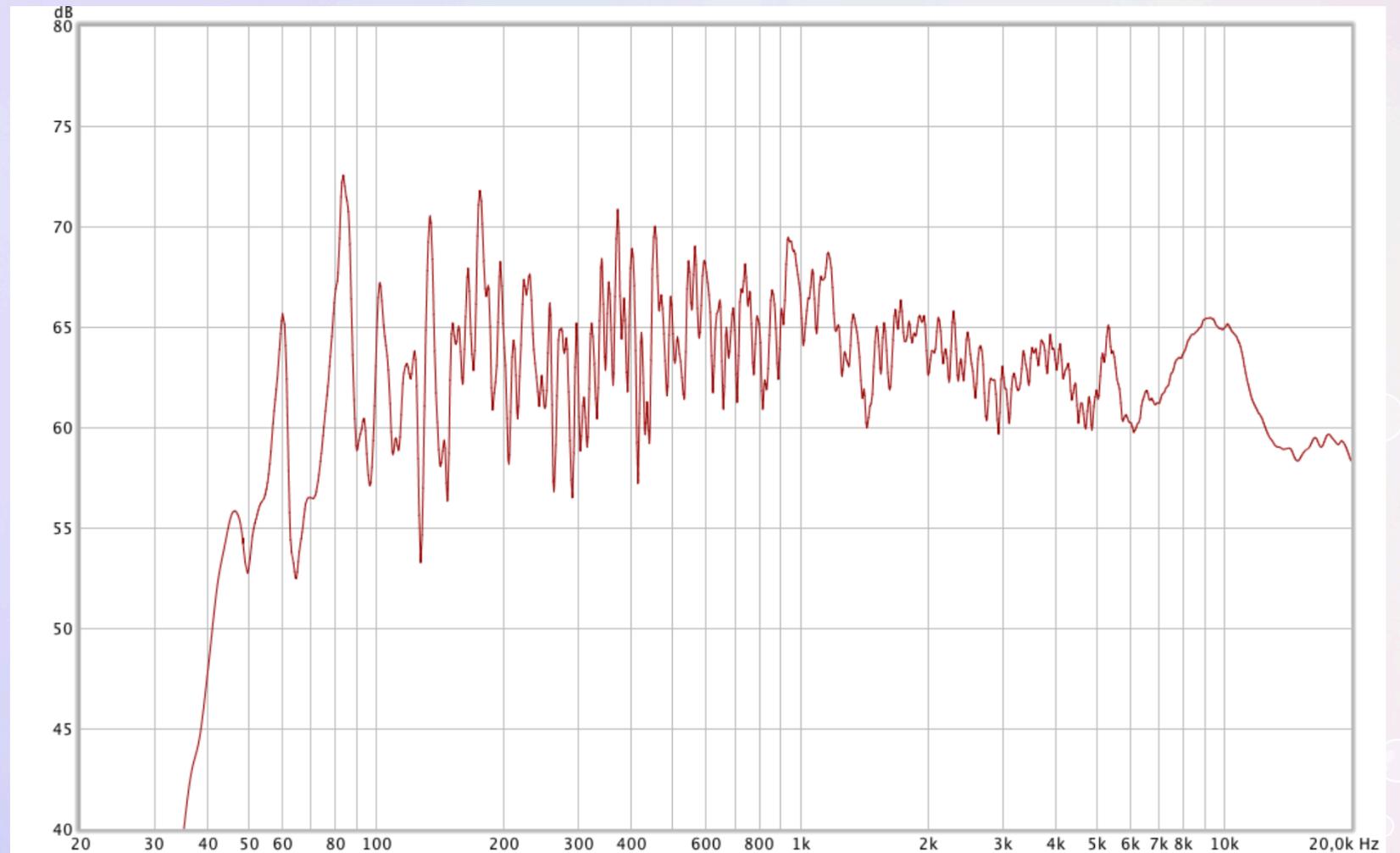


Fig. 5 - Réponse en fréquence typique d'une pièce

Cas d'une bulle : modes de vibrations

Comme tout système vibratoire, la bulle possède des fréquences pour lesquelles l'amplitude d'oscillation est maximisée

Ce sont les fréquences correspondantes aux modes de résonance de la bulle

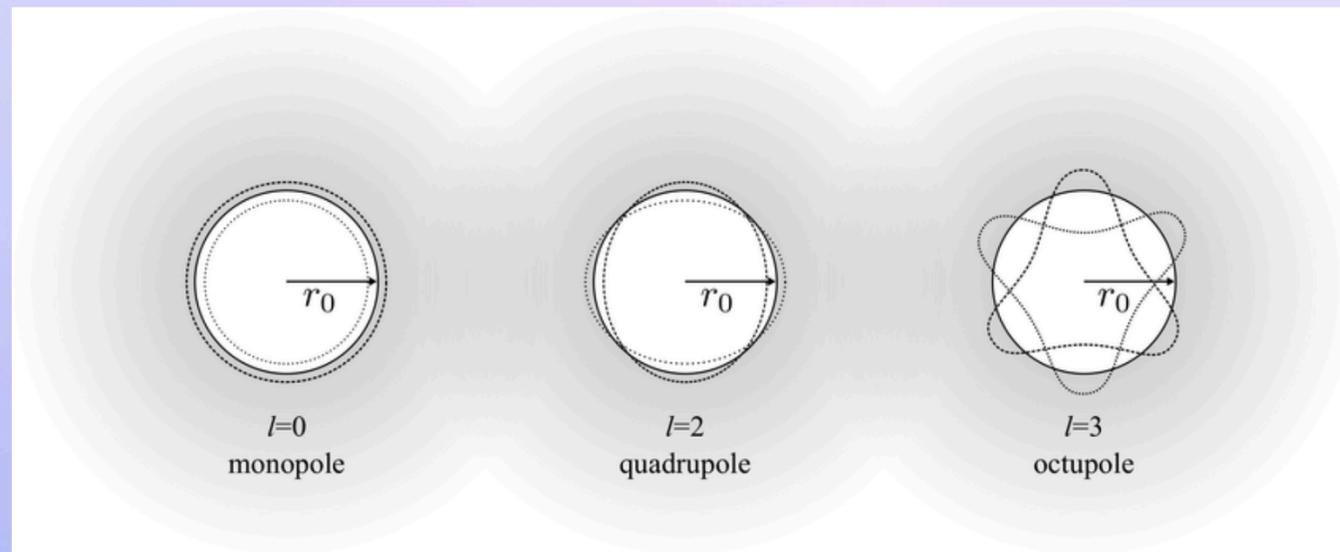
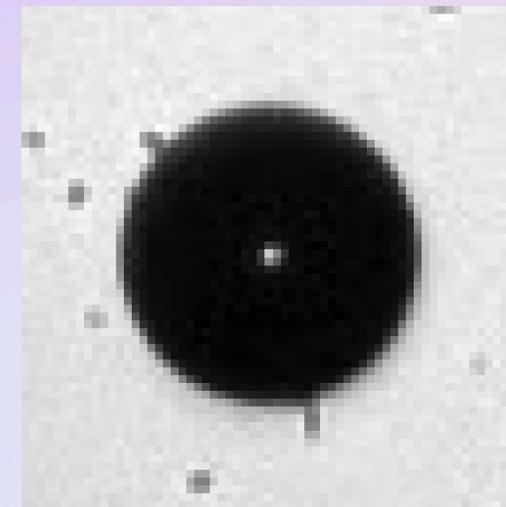
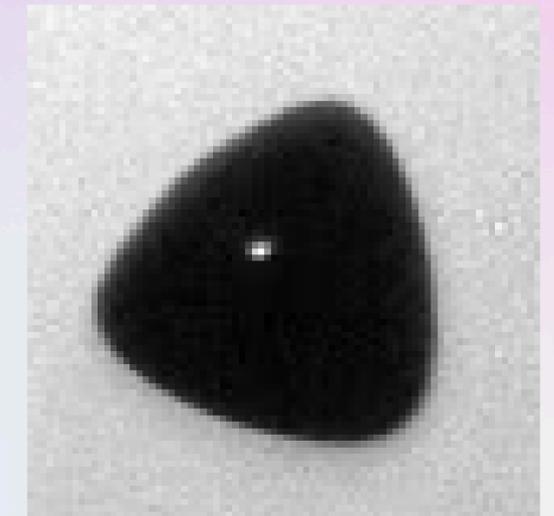


Fig. 6 - Représentation schématique des trois premiers modes d'une bulle

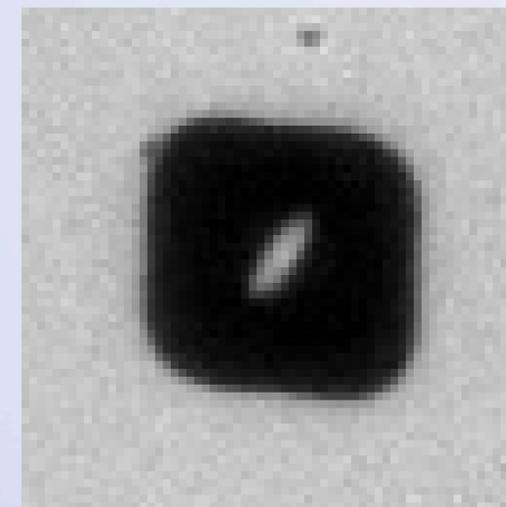
Jules COCHARD et Claude INSERRA



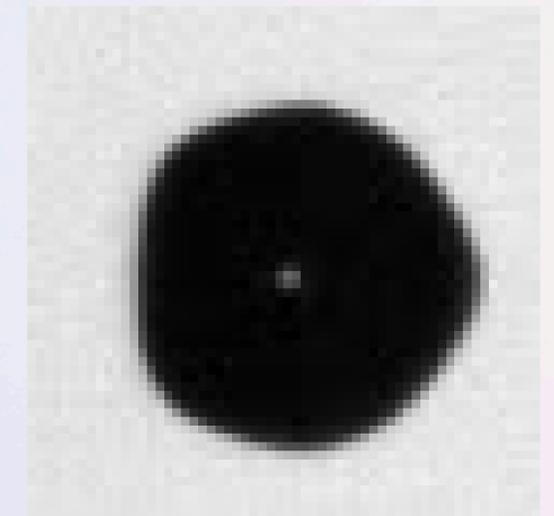
Mode 1



Mode 3



Mode 4



Mode 5

Fig. 7 - Modes d'une bulle millimétrique, filmé au LabTau

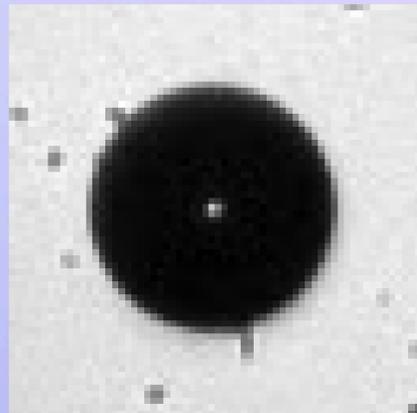
Journées de la GI EIF 11 et 12 juillet 2024

Cas d'une bulle : fréquence propre

En mode 1 : analogie masse/ressort

↪ **fréquence de résonance
(fréquence propre)**

↪ **Courbe de résonance**



En mode 1, le rayon oscille de manière radiale

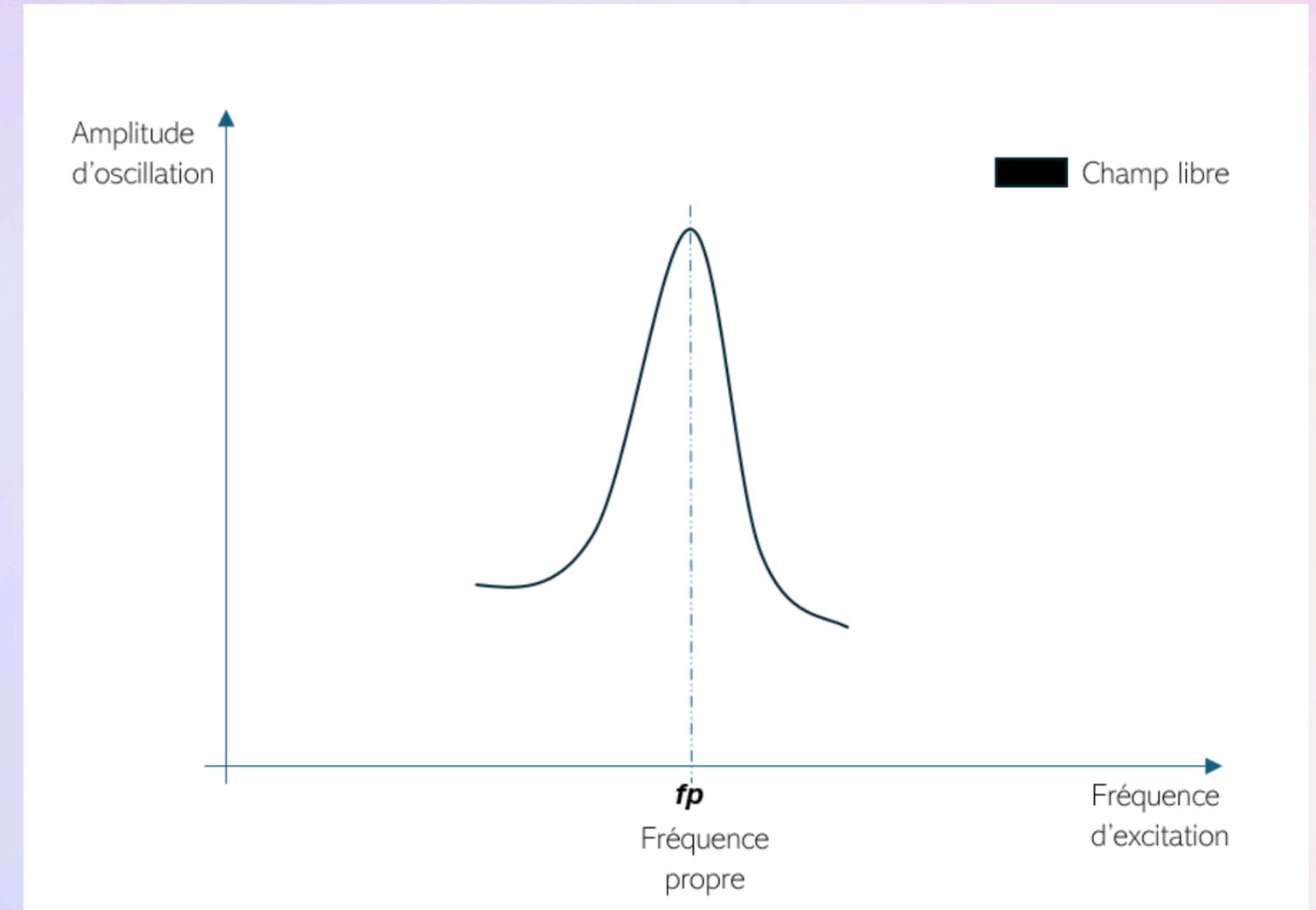
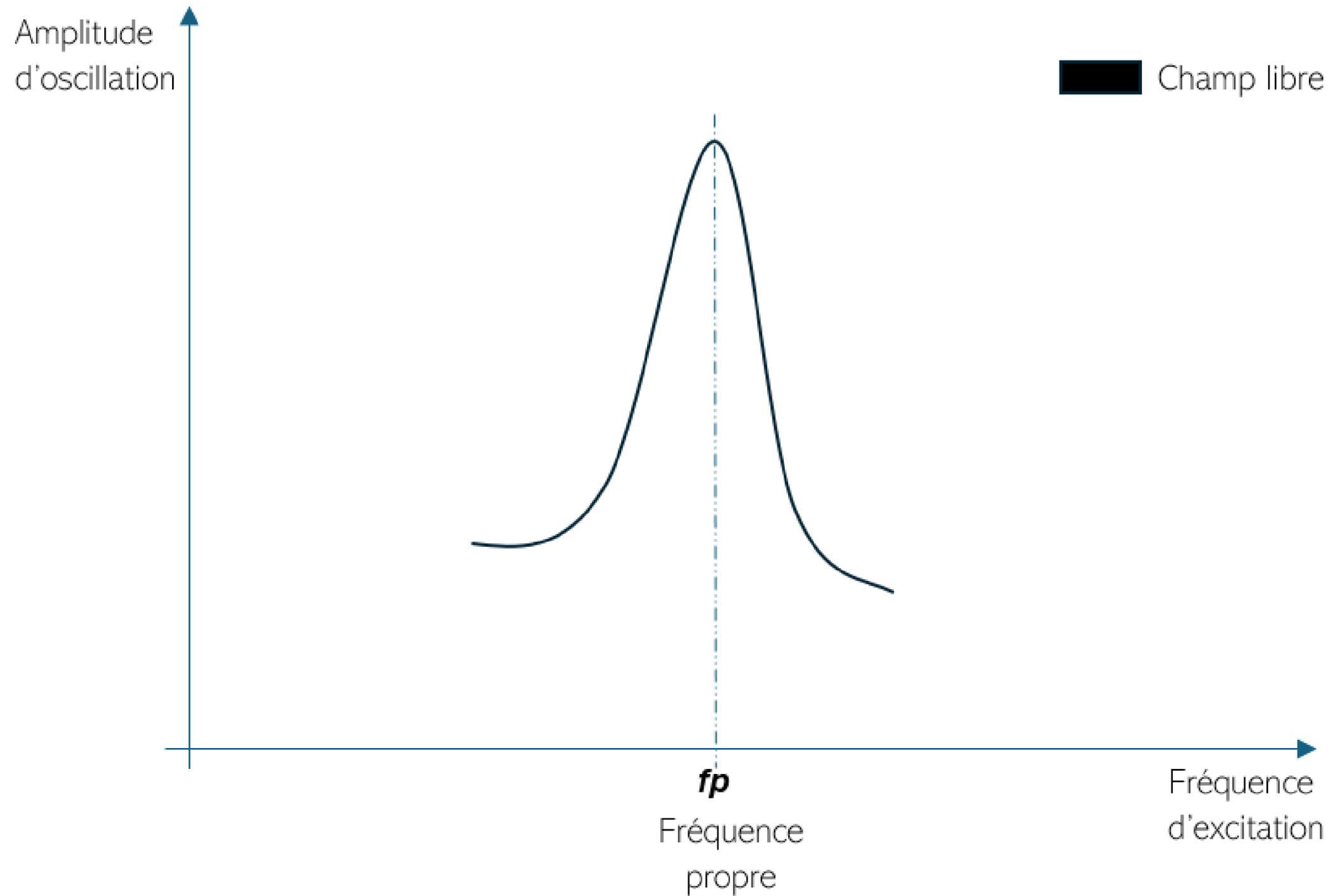
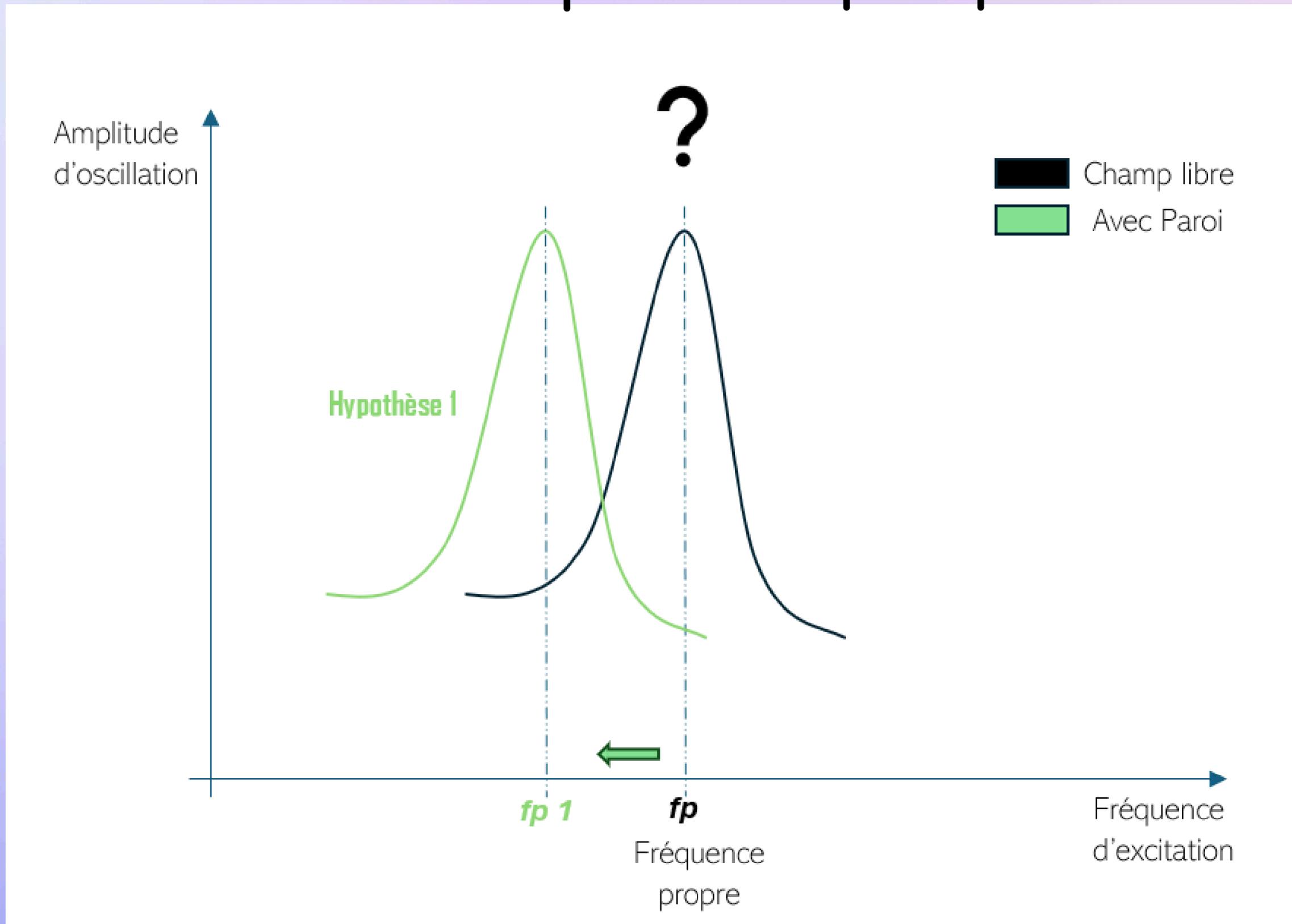


Fig. 8 - Courbe de résonance typique d'un mode 1

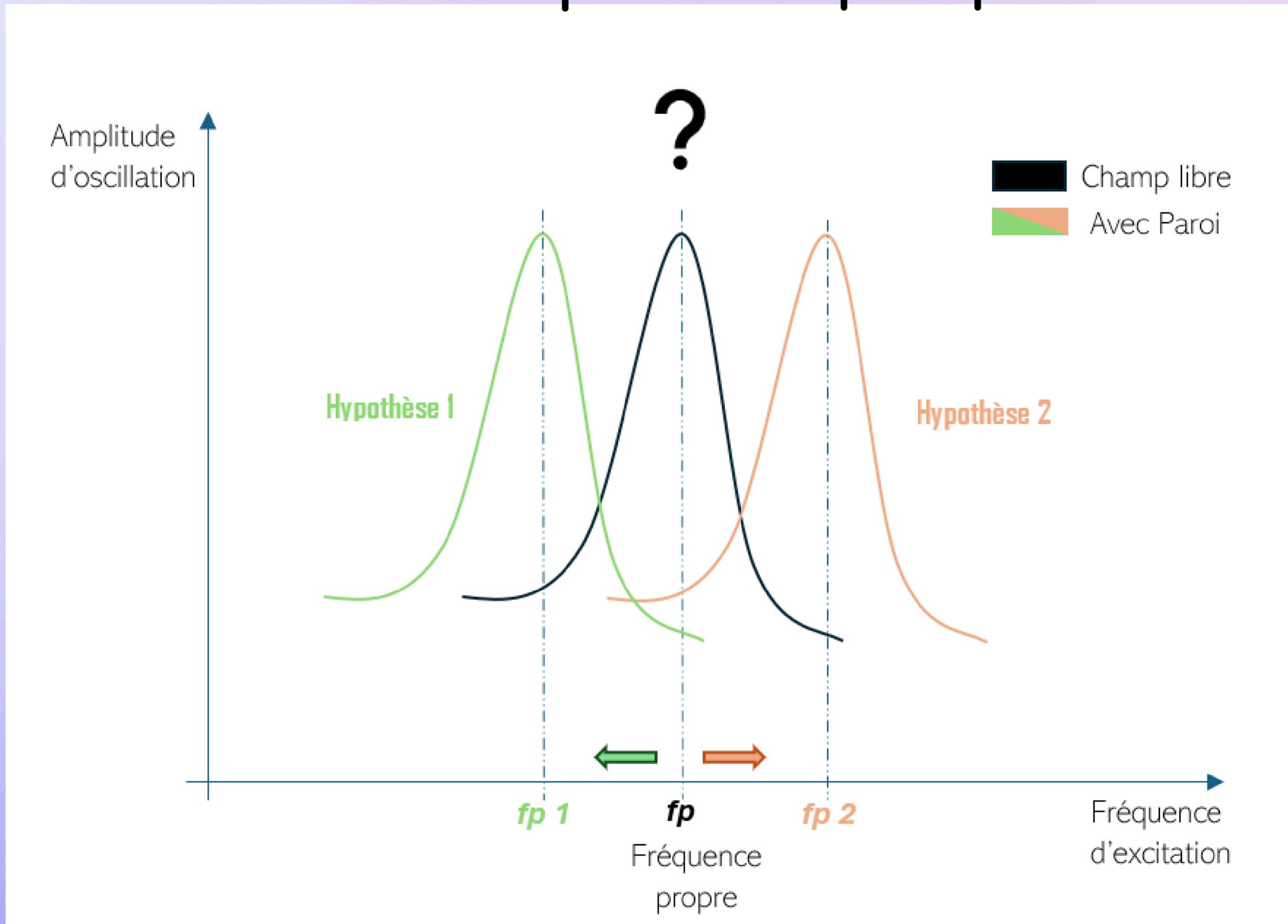
Cas d'une bulle : fréquence propre sans paroi



Cas d'une bulle : fréquence propre avec paroi



Cas d'une bulle : fréquence propre avec paroi



Banc expérimental : une manip redondante

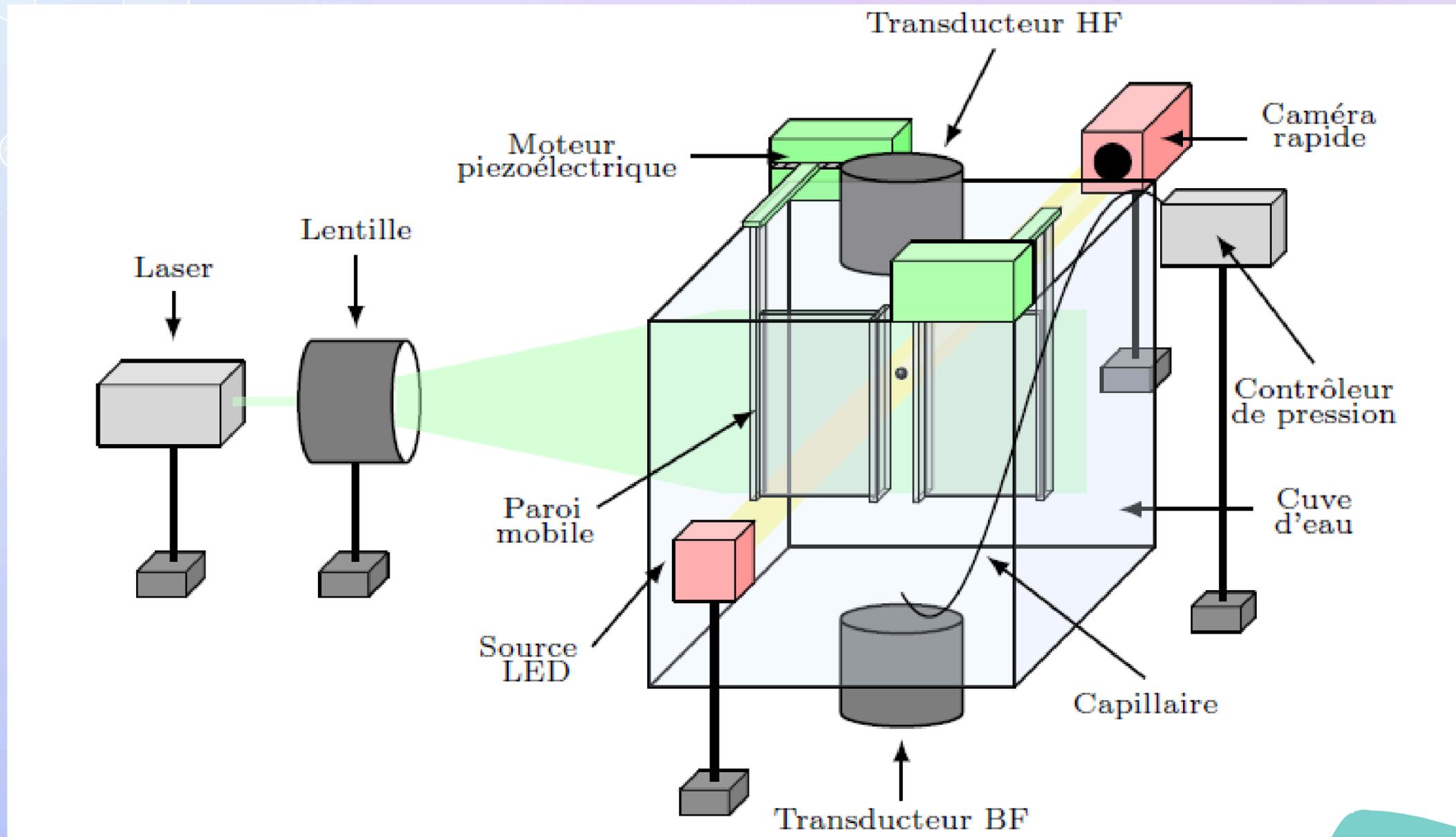


Fig. 1 - Description schématique du banc de mesure

Balayage en fréquence :

On balaye de F_{min} à F_{max} avec le pas fréquentiel souhaité (le plus fin possible)

L'opérateur effectue **X fois** la même manipulation

Pour chaque point de la courbe l'opérateur doit :

- définir la fréquence d'excitation et la générer
- déclencher le trigger de la caméra
- enregistrer manuellement les données stockées sur la caméra



C'est très long!

Automatisation du processus de mesure

Il faut prendre le contrôle de :

- *Un générateur haute-fréquences*
- *Un générateur basse-fréquences*
- *Une caméra ultra-rapide*
- *Un oscilloscope numérique*
- *Un contrôleur de micro-pressions*
- *Une platine piezzo-électrique*

Cela implique certains challenges :

- *Gérer indépendamment chacun des appareils sous Python*
- *Gérer la temporalité et les trigger pour déclencher la caméra au bon moment*



La partie technique : les environnements Conda

Un environnement Conda est un environnement système que l'on crée de toute pièce et que l'on peut paramétrer comme on le souhaite

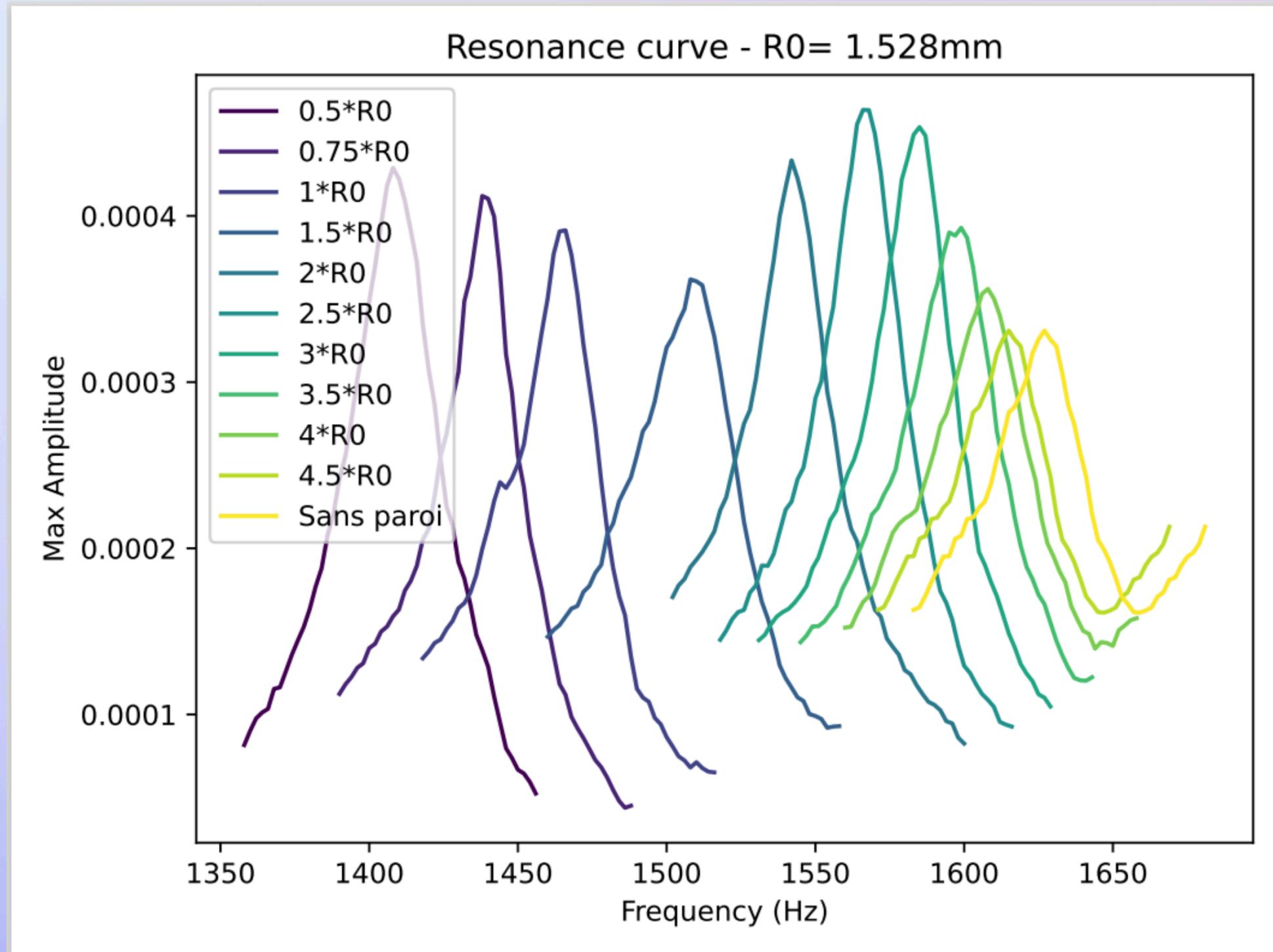
On peut ainsi travailler sous la version de Python qui nous arrange et importer localement des bibliothèques

SDK : Software Development Kit

- **Caméra : SDK constructeur complet (Phantom Vision Research)**
- **Générateurs : SDK constructeur incomplets (Agilent)**
- **Autres appareils : pas de SDK disponible**

On commence par créer un environnement Conda pour chaque appareil. Une fois fonctionnels, tous les environnements sont combinés afin de pouvoir contrôler tous les appareils en même temps

Résultats expérimentaux



L'hypothèse 1 est retenue

Plus on rapproche la paroi, plus la fréquence propre diminue

Fig. 9 - Courbe de résonance expérimentale d'une bulle en fonction de la distance à une paroi rigide

Une belle réussite : le buffer circulaire



Mémoire caméra très vite saturée



Buffer circulaire + sauvegarde en direct



Sensible augmentation du rythme de mesure possible

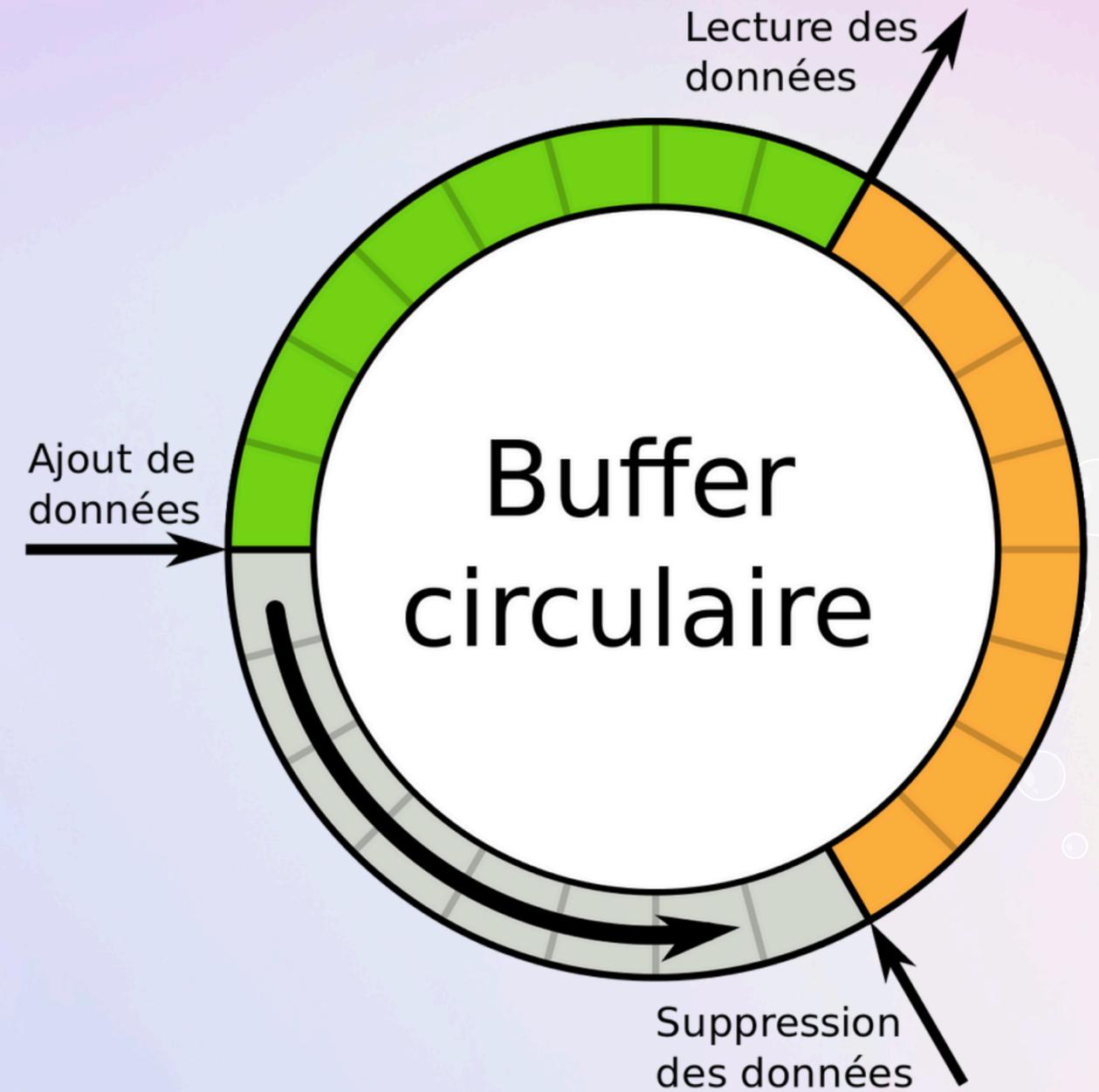


Fig. 6 - Schéma d'un buffer circulaire

Résultats de l'automatisation

AVANT

Cadence maximale :

100 points/jour

- *Processus redondant*
- *Chronophage*
- *Présence requise*
- *Post traitement laborieux*



AUJOURD'HUI

Cadence moyenne :

20000 points/jour

- *Paramétrage complet possible*
- *Sauvegarde en direct*
- *Présence non-requise*
- *Post traitement en live*



Conclusion

Si vous pouvez... Automatisez vos mesures !

Cela permet de :

- *Récolter beaucoup plus de data*
- *Analyser plus finement*
- *Libérer du temps pour d'autres tâches*

Merci pour votre écoute