

Projet de Physique P6  
STPI2/P6/2018 - 48

## Conception et réalisation de l'expérience de Faraday



### Étudiants :

Florent BOULIER  
Charlotte ECHARD  
Alexane PELLUET

Beatriz DE CARVALHO  
Mathis PELISSOU  
Chloé SAGER

### Enseignant-responsable du projet :

Yacine BRAHAMI



Date de remise du rapport : **18/06/2018**

Référence du projet : **STPI/P6/2018 - 48**

Intitulé du projet : **Conception et réalisation de l'expérience de Faraday**

Type de projet : **Expérimental et bibliographique**

Objectifs du projet : **Observer les instabilités de Faraday sur différents types de fluides et vérifier l'influence de certains paramètres régissant ce phénomène (hauteur de fluide utilisée, tension de surface et viscosité cinématique).**

Mots-clefs du projet : **instabilités, chaos, viscosité cinématique, tension de surface**

## TABLE DES MATIÈRES

<b>I. Introduction</b>	<b>4</b>
<b>II. Méthodologie</b>	<b>8</b>
<b>III. Travail réalisé et résultats</b>	<b>9</b>
III.1. Cahier des charges	9
III.1.1. Motivations	9
III.1.2. Dimensionnement	9
III.1.3. Schéma du dispositif expérimental	11
III.1.4. Protocole de mesure de l'accélération critique	11
III.2. Résultats expérimentaux	12
III.2.1. Réalisation du montage	12
III.2.2. Résultats pour la hauteur de fluide utilisée	14
III.2.3. Résultats pour l'influence de la tension de surface	15
III.2.4. Résultats pour l'influence de la viscosité cinématique	17
<b>IV. Conclusions et perspectives</b>	<b>19</b>
<b>V. Bibliographie</b>	<b>20</b>

## I. Introduction

L'instabilité de Faraday, comme son nom l'indique, fut mise en évidence pour la première fois par Michael Faraday (1791-1867) en 1831. En effet, il remarqua qu'en plaçant un bac de liquide sur un support vibrant verticalement on peut observer des motifs à la surface libre, dans certaines conditions de forçage en fréquence et en amplitude. Ce n'est qu'un siècle plus tard, en 1954, que ce phénomène fut prédit théoriquement par Thomas Brook Benjamin et Fritz Ursell à travers une étude de stabilité linéaire [5]. Ils arrivèrent à la conclusion que l'organisation des ondes de surface est paramétrée par la nature du fluide, la forme du récipient, la fréquence et l'accélération d'excitation (si l'accélération est sinusoïdale).

Cependant, les études de Benjamin et Ursell ne s'appliquaient qu'à des fluides parfaits (incompressibles et inviscides). Il a fallu attendre les travaux de Krishna Kumar et Laurette S. Tuckerman [4] en 1994, qui ont mis en évidence l'influence de la viscosité sur ce phénomène par des calculs théoriques et par l'expérience, en comparant avec les réponses expérimentales obtenues pour un système hydrodynamique complet (fluide réel).

### Définitions et description théorique

Pour comprendre le phénomène des instabilités de Faraday, il est nécessaire d'aborder en premier lieu certaines notions physiques, fondamentales à sa description. Il est donc important d'avoir une compréhension générale de ce qu'implique le terme "chaos" ou encore de comprendre ce qu'est l'étude de stabilité linéaire.

On dit qu'un système est dans un état chaotique si sa dynamique est imprédictible. Cet état dépend si fortement des conditions initiales qu'une perturbation aussi infime soit-elle, entraînera toujours un changement immodéré de l'évolution de la dynamique, ce qui donne le caractère imprédictible du système chaotique.

La stabilité linéaire est l'étude de la stabilité des systèmes dynamiques à de très petites perturbations au voisinage d'un point d'équilibre. Dans le cas des ondes de Faraday, cette approche est appliquée au problème hydrodynamique d'un volume fluide délimité par une condition de non-pénétration sur un plan et une surface libre au dessus à une distance "d" (schéma ci-dessous). Ce volume de contrôle est excité par une accélération périodique verticale.

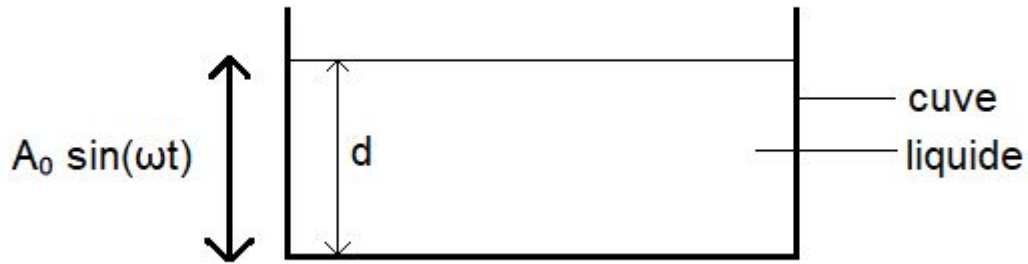


Figure 1 : Schéma du montage récipient + liquide

Pour un fluide sous une excitation sinusoïdale de fréquence  $f$ , des ondes stationnaires en surface apparaissent à partir d'une certaine amplitude de vibration, appelée accélération critique ( $a_c$ ). Les motifs observés en surface ont une longueur d'onde et une fréquence caractéristiques, c'est ce que l'on appelle des modes. Pour une fréquence  $f$  en entrée, on aura toujours une ou des fréquences de la forme  $m.f/2$  (où  $m$  est un entier) en sortie, on dit que c'est un système sous-harmonique. Expérimentalement, c'est le mode le plus instable qui est observé, car il a le taux de croissance le plus élevé. L'intensité des perturbations dans ce problème est mesurée par le rapport des amplitudes des ondes de surface comparée à "d".

Les ondes observées en surfaces sont stationnaires et peuvent évoluer vers un état chaotique au fur et à mesure que l'accélération mise en entrée augmente. Ce sont les calculs de stabilité linéaire qui permettent de prédire le seuil à partir duquel le système quitte son état d'équilibre (i.e. que le fluide ne se comporte plus comme un bloc solide). Si le forçage est trop intense, les ondes de surfaces ne sont plus stationnaires.

On peut alors exprimer la stabilité du problème à travers le paramètre d'accélération réduite ( $\varepsilon$ ) :

eq 1.

$$\varepsilon = a/a_c - 1$$

où  $a$  est l'accélération en entrée du système  
et  $\varepsilon \geq 0$ .

- Lorsque l'accélération est très proche de  $a_c$  ( $\varepsilon \leq 0,1$ ), quelque soit le fluide, on peut observer des comportements similaires à ceux d'un fluide parfait. La fréquence en réponse est unique et correspond à  $f/2$  et on observe bien des ondes stationnaires en surface.

- Lorsque on augmente l'accélération ( $\varepsilon \geq 0,1$ ) d'autres fréquences multiples de  $f/2$  apparaissent, le motif observé se déforme mais l'instabilité reste linéaire (i.e. l'amplitude des ondes reste petite comparée à la profondeur d'eau). On peut également dire que les ondes sont faiblement instationnaires.
- Lorsque l'on dépasse le seuil de linéarité ( $\varepsilon \geq 0,15$ ) la dynamique des ondes de surface devient chaotique, on ne peut plus déterminer de fréquences discrètes caractéristiques de motifs en surface.
- Si on continue d'augmenter l'amplitude d'excitation, des gouttelettes se détachent de la surface. Avec les paramètres du système, on peut déterminer de manière très précise le diamètre de ces gouttelettes comme le fait H. Garih dans sa thèse [3].

Dans le cas d'un fluide parfait les études de T. B. Benjamin et F. Ursell (1954) [5] ont permis de mettre en relation la pulsation réponse du système et le nombre d'onde  $k$  (en conséquence la longueur d'onde caractéristique  $\lambda$ ) des perturbations en surface :

**eq 2.**

$$\omega^2 = \left( \frac{k^3 \sigma}{\rho} + kg \right) \tanh(kd)$$

avec  $\omega$  pulsation caractéristique soumise au système (rad/s)  
 $k$  le nombre d'onde en réponse ( $m^{-1}$ )  
 $d$  la hauteur de la cuve (m)  
 $g$  l'accélération de pesanteur ( $m/s^2$ )

En considérant que la hauteur de la cuve est très supérieure à la longueur de l'onde en surface  $\lambda$  ( avec  $k = 2\pi / \lambda$ ) on peut simplifier l'expression précédente :

**eq 3.**

$$\omega^2 = \left( \frac{k^3 \sigma}{\rho} + kg \right)$$

Ce résultat reste cohérent pour des fluides simples et peu visqueux, mais ne peut pas s'appliquer à tous les fluides (comme les fluides non-Newtoniens, par exemple).

Par des expériences successives, il est possible de déterminer une accélération critique pour chaque pulsation d'excitation et tracer des diagrammes de stabilité ( $a_c$  en fonction de  $f$ ). On pourra dans ce projet essayer de vérifier les diagrammes de stabilité (connus) de certains fluides en guise de validation de l'expérience.

L'équation trouvée par T. B. Benjamin et F. Ursell présentée ci-dessus ne peut s'appliquer cependant qu'à des fluides parfaits. Décrire l'instabilité de Faraday pour des fluides réels, impose de prendre en compte les effets de frottements visqueux dans les fluides. C'est ce qu'ont fait K. Kumar et L. S. Tuckerman [4].

En effet, les frottements visqueux, inhérents aux fluides cisailés, provoquent une dissipation d'énergie cinétique. Par conséquent, plus le fluide est visqueux, plus l'accélération critique sera grande et s'éloignera de la valeur prévue par le modèle du fluide parfait.

La longueur de l'onde en surface, quant à elle, réagit différemment avec l'augmentation de la viscosité. K. Kumar et L. S. Tuckerman [4] expliquent que pour des viscosités cinématiques inférieures à  $10^{-5} m^2s^{-1}$ , le nombre d'onde  $k$  est proportionnel à la viscosité. Dans le cas contraire,  $k$  est proportionnel à l'inverse de cette quantité.

## Applications

Les principales applications de l'instabilité de Faraday dans la vie quotidienne ne concernent pas la partie que nous allons étudier. En effet, l'instabilité de Faraday est principalement utilisée pour l'atomisation de particules, c'est donc une exploitation du régime non-linéaire du système. Comme vu ci-dessus, si on continue d'augmenter l'amplitude d'oscillations mises en entrée après avoir atteint un état chaotique, des gouttelettes se détachent et forment une collection de gouttes de taille aléatoire au dessus de la surface excitée.

C'est le principe de certains brumisateurs et c'est aussi la méthode active choisie par Henri Garih [3] dans sa thèse pour une pulvérisation de carburant optimale dans un moteur à combustion interne. La maîtrise de la distribution de tailles de gouttelettes est appréciable pour une meilleure combustion.



## II. Méthodologie

Dans cette partie, nous allons décrire les 14 semaines de travail autour de ce projet.

Les premières semaines ont été consacrées à la compréhension et aux recherches théoriques de l'instabilité de Faraday. En effet, ces instabilités étaient une notion inconnue pour tous les membres du groupe. De plus, l'analyse des phénomènes observés lors de cette expérience demande des connaissances en physique supplémentaires à celles étudiées (voir mots clés p.2) durant notre scolarité concernant notamment la mécanique des fluides et des systèmes dynamiques. Nous avons donc dû nous documenter, en ayant recours à de nombreux articles, thèses ou encore vidéos concernant ce sujet.

Une fois que nous avons acquis les notions physiques nécessaires nous permettant de mieux appréhender et comprendre le phénomène des instabilités de Faraday, nous nous sommes concentrés sur la réalisation d'un cahier des charges. Qu'allons-nous démontrer dans cette expérience ? Quel sera son but ? Quel matériel allons-nous utiliser ?

Il a été question de faire une liste du matériel nécessaire. Ensuite, il a fallu dimensionner ce matériel et se le procurer. Par exemple, il nous fallait une cuve dans laquelle mettre le liquide. Nous nous sommes donc interrogés sur la taille, la forme et la matière de cette cuve tout en se basant sur ce que nous avons pu voir lors de la recherche documentaire.

Une fois le matériel nécessaire rassemblé, nous avons pu faire notre montage expérimental et passer à la réalisation des expériences.

La rédaction du rapport s'est faite progressivement le long des séances, afin de ne pas cumuler toute la rédaction du rapport à la fin du semestre et de n'oublier aucune information.

Concernant la répartition du travail, nous avons tous contribué à chaque partie de l'avancée de notre projet. Cependant, certains se sont plus concentrés sur certaines tâches. Le diagramme suivant indique en **rouge** les personnes ayant majoritairement travaillé sur la partie expérimentale c'est-à-dire sur le dimensionnement, l'étude de l'influence de différents facteurs ainsi que la réalisation des vidéos. En **bleu** on retrouve celles qui ont davantage consacré leur temps à la rédaction du rapport, cette partie comprend les recherches théoriques et bibliographiques ainsi que la réalisation du poster et du diaporama de présentation.

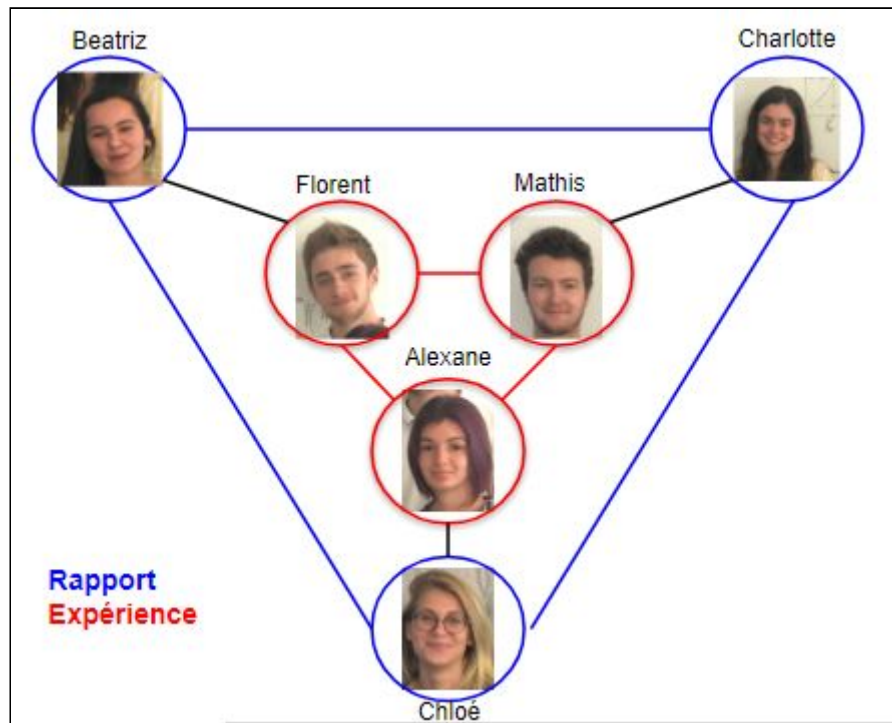


Figure 2 : Organigramme de la répartition des tâches

### III. Travail réalisé et résultats

#### III.1. Cahier des charges

##### III.1.1. Motivations

Le but de cette manipulation est de retrouver un diagramme de stabilité connu, comme celui de l'eau présenté dans l'article de S. Daoudy [1]. Cela validera le montage proposé et permettra d'avoir une première observation des instabilités. Pour cela, il faut vérifier expérimentalement le seuil de stabilité en accélération et en fréquence d'excitation (un des "modes") de l'eau.

Ensuite, il s'agira de vérifier l'influence de paramètres régissant le phénomène comme la hauteur de fluide utilisée ( $d$ ), la tension de surface ( $\sigma$ ) et la viscosité cinématique ( $\nu$ ). Nous avons donc cherché à faire varier un seul des paramètres intervenant dans la relation de dispersion et voir l'incidence de cette variation. Les résultats obtenus pour l'eau seront déterminants car c'est le fluide qui servira de comparateur.

Pour évaluer l'influence de la tension de surface, il suffira de mesurer l'accélération critique à une fréquence donnée pour un fluide de viscosité proche de l'eau mais de tension de surface très différente, comme l'acétone. Pour l'évaluation de l'influence de la viscosité, il suffira de faire de même avec un fluide de tension de surface proche de celle de l'eau et de viscosité très différente, comme l'huile de silicone.

##### III.1.2. Dimensionnement

Liquide : Le liquide utilisé sera tout d'abord de l'eau du robinet. C'est un liquide extrêmement facile à trouver et à manipuler. C'est aussi un liquide qui a fréquemment été utilisé dans la littérature, notamment dans l'étude de Douady S. [1], ce qui permettra également de valider les résultats obtenus.

Cuve : La cuve contient le liquide soumis aux vibrations, celle utilisée est un cristallisateur de 9 cm de diamètre. Ces dimensions permettent d'avoir un récipient suffisamment léger pour avoir une bonne amplitude de vibration mais aussi suffisamment large afin de limiter les effets de bord.

Boomer : Le boomer sert à exciter le bac par un mouvement de vibration vertical. C'est ce mouvement qui va nous permettre de créer une instabilité à la surface du liquide. Ce choix se justifie par sa capacité à produire une plage de fréquences allant de 1 à 400 Hz.

Générateur basse fréquence (GBF) : Le GBF permet d'alimenter le boomer tout en contrôlant les fréquences du signal. C'est l'instrument permettant de générer le signal sinusoïdal qui sera utilisé pour faire vibrer le récipient.

Amplificateur : L'amplificateur sert à accentuer la tension délivrée par le GBF (qui n'est au plus, que de 5V) afin d'obtenir un signal avec une amplitude suffisamment grande pour faire vibrer le récipient et son contenu, à l'amplitude désirée.

Accéléromètre : L'accéléromètre est attaché au bac et permet de mesurer l'accélération réelle soumise au liquide en vibration. En effet, le poids du système (bac+liquide) atténue l'accélération réglée à l'amplificateur. Pour connaître l'accélération réelle, il faut donc la mesurer la réponse du boomer.

Platine : La platine sert à alimenter l'accéléromètre d'une tension de 15 V.

Oscilloscope : Permet de récupérer le signal fourni par l'accéléromètre, ainsi que de visualiser et mesurer précisément l'accélération du système.

Caméra : La caméra sert à filmer l'expérience afin de mesurer certains paramètres comme la longueur d'onde en surface ainsi que mieux observer les motifs qui apparaissent. La caméra utilisée sera celle d'un smartphone d'un des membres du groupe, elle prend, pour des vidéos au ralenti 240 images par secondes, performance satisfaisante pour l'expérience.

Source lumineuse : Une source de lumière placée sous le bon angle augmente les contrastes et sert à rendre l'expérience plus facilement observable par la caméra.

Polariseurs: Permettent de diminuer les reflets causés par la source lumineuse sur les rebords du bac, et ainsi obtenir une meilleure observation de notre expérience.

### III.1.3. Schéma du dispositif expérimental

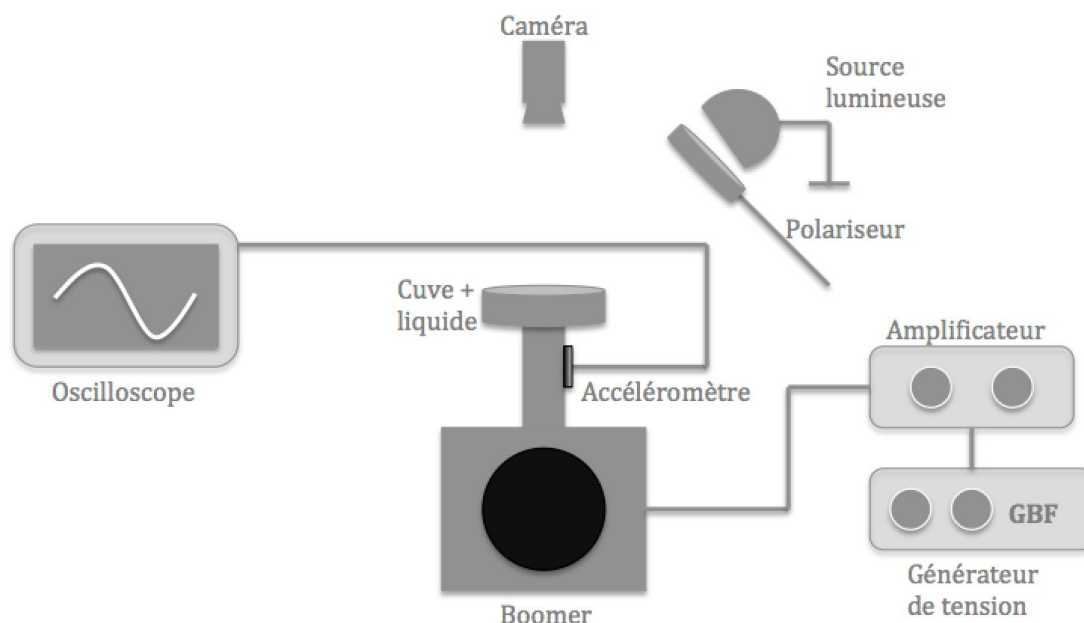


Figure 3 : Schéma représentant le dispositif expérimental

### III.1.4. Protocole de mesure de l'accélération critique

Le protocole mis en oeuvre est analogue à celui de la thèse de P. Ballesta [2]. On procède ainsi par dichotomie pour localiser le seuil (dans la limite de la résolution des appareils). En effet, l'amplificateur utilisé n'a pas une graduation continue, l'existence de "crans" sur le dispositif ne nous permet pas d'avoir une précision aussi grande que celle de P. Ballesta [2].

1. On fixe la fréquence du signal à la valeur souhaitée et on augmente l'amplitude des vibrations jusqu'à ce que l'interface se déstabilise. On note  $a_{max}$  la valeur de l'accélération indiquée sur l'accéléromètre pour laquelle l'instabilité est apparue.
2. Ensuite, on diminue l'amplitude jusqu'à la disparition totale de l'instabilité. On note  $a_{min}$  la valeur de l'accélération indiquée sur l'accéléromètre pour laquelle l'instabilité a disparue.

L'accélération critique  $a_c$  sera donnée par  $a_c = (a_{max} + a_{min})/2$ , avec une incertitude de  $(a_{max} - a_{min})/2$ .

Dans un second temps, on fera varier la fréquence afin de voir apparaître différents schémas à la surface de l'eau.

La mesure de l'accélération se fait avec un accéléromètre branché à l'oscilloscope. Mais la mesure observée à l'oscilloscope est celle d'une tension (en mV), il faut donc convertir cette mesure de tension en accélération ( $m.s^{-2}$ ). Cela est possible grâce à la relation donnée par la notice de l'accéléromètre de 8,5 mV/g à 1 kHz (avec g l'accélération de la pesanteur à  $9.81 m.s^{-2}$ ).

Mais nos mesures sont faites pour des valeurs de fréquences bien inférieures à 1 kHz. Nous avons donc procédé à des tests afin de connaître sur quelle valeur de gain nous devons régler l'accéléromètre. Il a donc été réglé avec un gain de 10 dB.

Soit  $x$  la valeur mesurée en mV à l'oscilloscope et  $a$  l'accélération correspondante (en  $m/s^2$ ), la relation entre ces deux variables devient :  
 $a = x \cdot 8,5 / (10 \cdot 9,81)$

eq 4.

$$a = 0,0866 \cdot x$$

## III.2. Résultats expérimentaux

### III.2.1. Réalisation du montage

Une fois le montage du schéma ci-dessus réalisé, il a fallu l'ajuster aux différents besoins de l'expérience. Voici notre montage final :



Figure 4 : Photographie du dispositif expérimental

Le boomer étant très fragile, nous l'avons recouvert de cellophane dans le but de le protéger d'éventuelles propulsions de fluide hors du cristallisateur. Il se trouve

que le cellophane a une meilleure adhérence avec le cristallisoire, ce qui donne également une meilleure stabilité à notre dispositif expérimental.

Un des problèmes principaux du montage était également la solidarité entre le cristallisoire et le boomer. En effet, pour que le montage soit efficace il fallait absolument que le récipient soit solidaire au boomer afin d'éviter qu'il ne se décale ou qu'il ne rebondisse. Il nous était impossible de le coller directement au boomer car le matériel nous avait été emprunté et donc il fallait pouvoir le rendre en parfait état.

C'est en installant le cellophane que nous avons remarqué son adhérence particulière avec la paroi du boomer. Le cellophane étant également très adhérent avec lui-même, nous en avons aussi collé sous le cristallisoire. Nous avons alors qu'à poser le cristallisoire sur le boomer pour obtenir une solidarité suffisante entre les deux, tout en permettant d'enlever et remettre le récipient si besoin. Voici le montage final de la cuve sur le boomer :

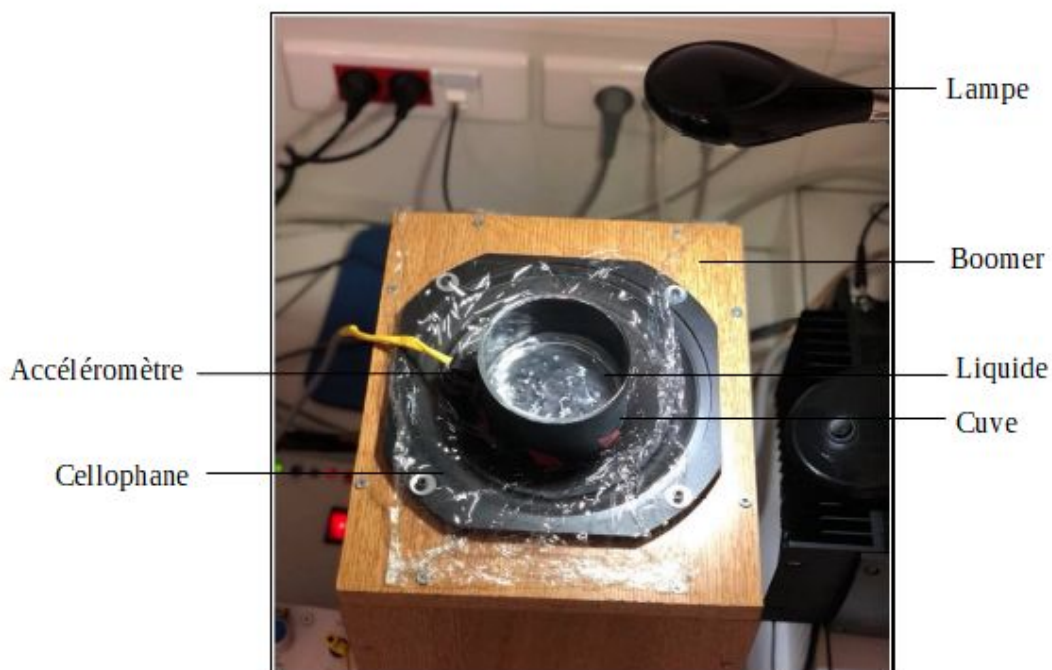


Figure 5 : Dispositif cuve + boomer

Le but de l'expérience n'étant pas seulement de reproduire l'expérience de Faraday mais aussi de pouvoir l'observer de manière optimale, il a fallu ajouter au montage certains outils qui favorisent une meilleure observation du phénomène.

En premier lieu, nous avons remarqué que la lumière de la source se reflétait sur le cellophane mis pour protéger le boomer et faussait les observations. Nous avons donc recouvert l'extérieur du cristallisoire avec un papier noir anti-reflets.

L'accéléromètre étant fixé sur ce papier, il fallait donc s'assurer que ce dernier était parfaitement fixé au cristallisateur, afin d'éviter toute perturbation des mesures.

Enfin, pour optimiser au maximum l'observation, nous avons testé l'acquisition des images à travers des polariseurs. Nous avons commencé par essayer la superposition de deux polariseurs à de différents angles, mais il s'est avéré que les meilleures images étaient obtenues avec un seul polariseur placé devant la source de lumière.

### III.2.2. Résultats pour la hauteur de fluide utilisée

La première expérimentation a été réalisée comme prévu avec de l'eau. Nous avons commencé par mesurer l'accélération critique pour des fréquences allant de 25 Hz à 105 Hz avec un pas de mesure de 10 Hz puis une mesure à 130 Hz. Pour vérifier l'influence de la hauteur de fluide sur le phénomène, nous avons répété ce processus pour trois hauteurs de fluide distinctes :

$$d1 = 7 \text{ mm} , d2 = 11 \text{ mm} , d3 = 15 \text{ mm}$$

Nous avons donc pu tracer les trois courbes suivantes:

Hauteur d'eau (d = 7 mm)		
f (Hz)	amplitude (mV)	a (m/s <sup>2</sup> )
25	16	1,386
35	30	2,598
45	39	3,377
55	46	3,984
65	54	4,676
75	70	6,062
85	83	7,188
95	85	7,361
105	110	9,526
130	155	13,423

Hauteur d'eau (d = 15 mm)		
f (Hz)	amplitude (mV)	a (m/s <sup>2</sup> )
25	20	1,720
35	25	2,150
45	32	2,752
55	41	3,526
65	63	5,418
75	73	6,278
90	97	8,342
105	140	12,040
130	208	17,888

Hauteur d'eau (d = 11mm)		
f (Hz)	amplitude (mV)	a (m/s <sup>2</sup> )
20	26	2,286
25	29	2,546
30	38	3,248
35	43	3,741
40	41	3,533
45	42	3,637
50	47	4,053
55	57	4,936
60	72	6,235
65	89	7,707
70	91	7,881
75	106	9,180
80	99	8,573
90	127	10,998
100	127	10,998
120	165	14,289



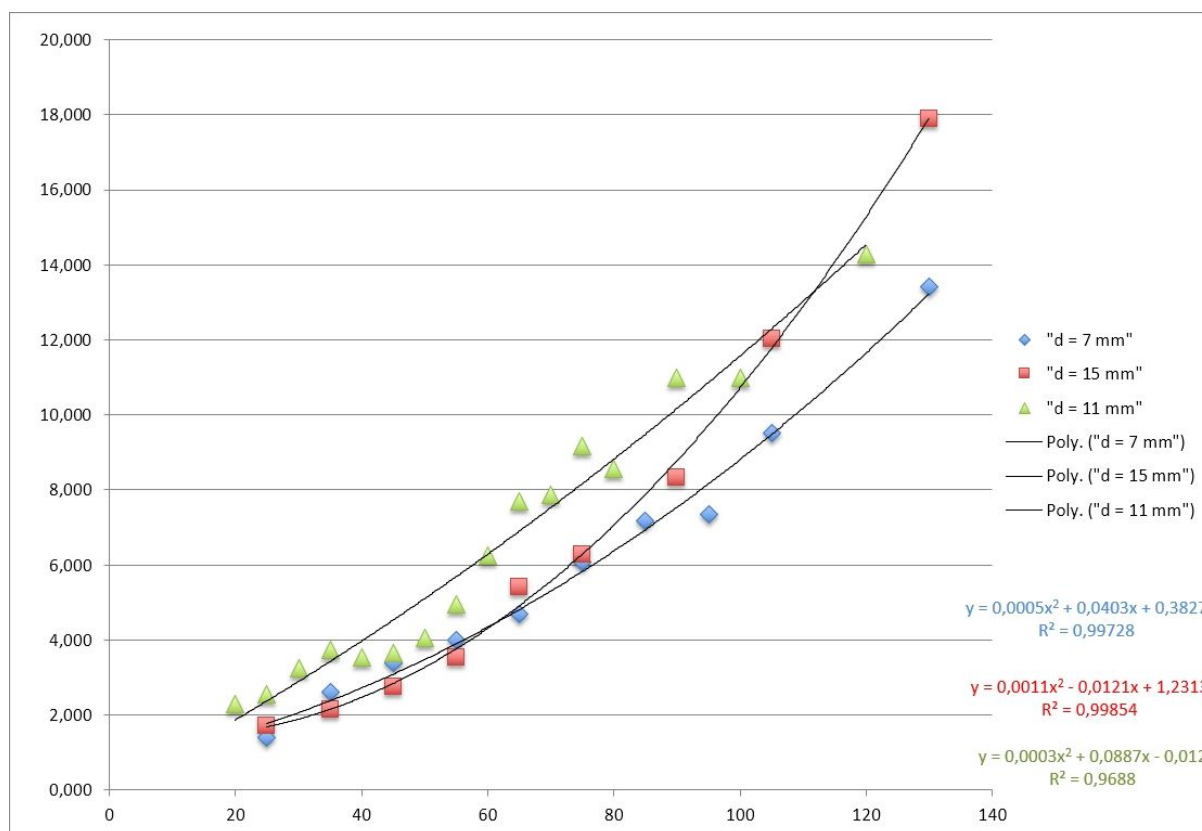


Figure 6 : Tableaux de valeurs et courbes des accélérations critiques en fonction des fréquences pour 3 hauteurs de fluide différentes

Ainsi nous pouvons voir que l'allure des 3 courbes semblent similaires. On observe néanmoins quelques disparités entre ces courbes. Nous analyserons dans la prochaine sous-partie la cause et la source des possibles écarts aux valeurs théoriques.

Nous avons pu, aux termes de cette première manipulation faire un choix concernant la hauteur de liquide à choisir pour la suite des expériences. Nous avons choisi la hauteur  $d = 15 \text{ mm}$  qui correspond à la plus grande profondeur. En effet, la relation de dispersion (éq. 2) montre que  $k \cdot d$  doit être grand afin de négliger les effets de profondeur d'eau.

### III.2.3. Résultats pour l'influence de la tension de surface

Notre seconde expérience a pour but de valider le fait que la tension de surface intervient dans le phénomène d'instabilité comme on le voit dans l'éq. 2. Pour ce faire, nous avons utilisé 2 liquides différents: l'eau et l'acétone qui ont des tensions de surface très différentes tout en ayant une viscosité proche.

La tension de surface est le fait que les molécules proches de la surface attirent celles qui sont dans le liquide. Plus les molécules s'attirent, plus l'indice de tension de surface ( $\sigma$ ) est important.

Nous mesurons donc les accélérations critiques de l'acétone pour la même plage de fréquences que celle utilisée pour les mesures des accélérations critiques de l'eau.

Tensions de surface à température ambiante :

eau :  $72,8 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}^{-1}$

acétone :  $25,2 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}^{-1}$

huile de silicone :  $40 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}^{-1}$

Viscosité cinématique à température ambiante :

eau :  $1,007 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

acétone :  $0,405 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

huile de silicone:  $1,03 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  (calculée pour  $\eta = 10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{s}$  et  $\rho = 971 \text{ kg/m}^3$ )

Voici les résultats obtenus pour ces deux liquides:

<b>Eau (<math>\sigma = 72,8 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}</math>)</b>		
f (Hz)	amplitude (mV)	a (m/s <sup>2</sup> )
25	20	1,720
35	25	2,150
45	32	2,752
55	41	3,526
65	63	5,418
75	73	6,278
90	97	8,342
105	140	12,040
130	208	17,888

<b>Acétone (<math>\sigma = 23,7 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}</math>)</b>		
f (Hz)	amplitude (mV)	a (m/s <sup>2</sup> )
45	9,2	0,79672
55	19,8	1,71468
65	21,2	1,83592
75	28,4	2,45944
85	30	2,598
95	35,2	3,04832
105	42	3,6372
115	59,2	5,12672
125	56	4,8496
135	64	5,5424
145	85	7,361
160	90	7,794

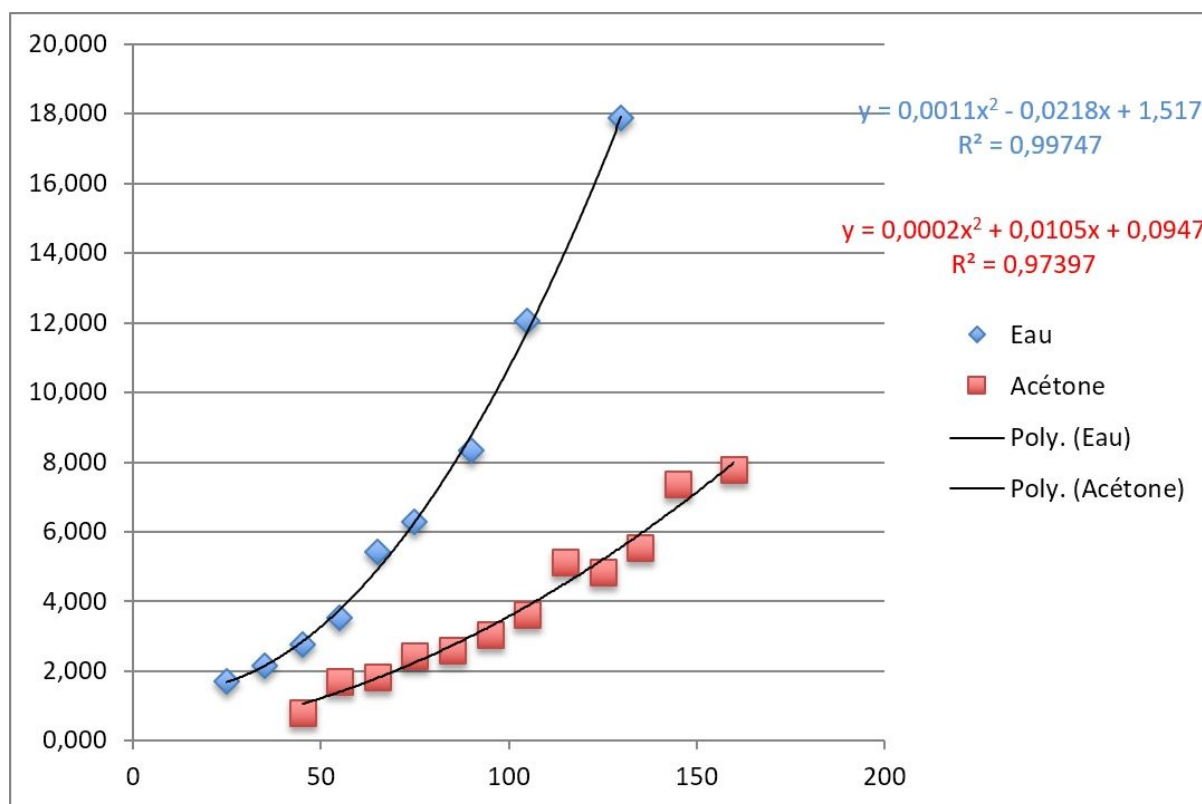


Figure 7 : Tableaux de valeurs et courbes des accélérations critiques en fonction de la fréquence pour l'eau et l'acétone

Sur ce graphique, on remarque que plus le liquide a une grande tension de surface, plus son accélération critique est élevée. On observe donc un plus grand intervalle de fréquence où le liquide se comporte comme un solide face à l'excitation. En effet, une grande tension de surface implique un comportement plus rigide du fluide.

### III.2.4. Résultats pour l'influence de la viscosité cinématique

Le but de la troisième expérience rejoint celui de la deuxième, seulement il s'agit de faire varier la viscosité du liquide et non sa tension de surface. C'est dans cette optique que nous avons choisi de faire l'expérience avec deux liquides ayant des tensions de surface comparables mais des viscosités très différentes : l'eau et l'huile de silicone.

Cependant, les résultats obtenus durant cette expérience étaient différents de ceux attendus. En effet, la viscosité de l'huile de silicone étant trop élevée, le matériel expérimental utilisé ne permet pas d'atteindre une accélération (amplitude) suffisante permettant de créer des instabilités pour ce fluide.

Cela ne veut pas dire que nous ne pouvons rien conclure de cette expérience. En effet, le but de l'expérience était de valider l'influence de la viscosité cinématique.

Nous avons donc vérifié que l'augmentation de la viscosité du liquide entraîne une augmentation de l'accélération critique. Nous n'avons juste pas le matériel nécessaire pour l'atteindre.

## IV. Conclusions et perspectives

Ce projet nous a avant tout permis de découvrir ce que sont les instabilités de Faraday. En effet, ce phénomène est peu connu et n'a pas été le sujet de beaucoup d'expériences depuis sa découverte.

Après toutes ces semaines riches de recherches et d'expérimentation, nous pouvons affirmer que malgré quelques disparités, la hauteur du liquide (ici de l'eau) n'influence pas la valeur de l'accélération critique, tant qu'elle reste grande devant la taille des vagues. De plus, nous avons démontré que la tension de surface joue un rôle important sur le critère de stabilité.

Concernant la viscosité cinématique, nous pouvons dire que son augmentation entraîne l'augmentation de l'accélération critique, au point que nous ne sommes pas parvenus à effectuer une mesure. Cependant, la comparaison entre l'eau et l'huile de silicone n'a pas abouti. Pour poursuivre ce projet, il faudrait renouveler cette expérience avec un fluide dont la viscosité cinématique est moins importante que celle de l'huile de silicone (mais supérieure à celle de l'eau).

D'un point de vue personnel, ce projet nous a permis d'enrichir notre culture scientifique. Nous appréhendons également mieux le travail en groupe, notamment la notion de projet.

En ce qui concerne le travail en groupe, nous avons su nous répartir les tâches afin de travailler plus efficacement dans un premier temps. Notre façon de travailler a également permis à ce que chacun participe à chaque tâche du projet, que ce soit les manipulations, la rédaction du rapport ou la recherche de documentation, afin que tout le monde apporte ses connaissances.

Notre travail sera exposé à la Fête de la science qui a lieu du 4 au 16 octobre 2018 à l'Université de Rouen (76). Cette manifestation est dédiée à la recherche, aux techniques et l'innovation. De plus, nous avons posté le résultat de notre travail sur notre chaîne de vidéos Youtube "*projet P6 - Instabilité de Faraday*". Cette vidéo est également accessible en scannant ce QR Code :



Figure 8 : QR Code menant à la chaîne YouTube

## V. Bibliographie

### **Sources bibliographiques :**

[1] Douady S. , 1990, *Experimental study of the Faraday instability* , J. Fluid Mech. (1990), vol. 221, pp.383-409

[2] Ballesta P. , 2006, *Instabilité de Faraday dans les fluides complexes*, thèse pour doctorat à l'université de bordeaux

[3] Garih H. , 2014, *Etude d'un film liquide soumis à l'instabilité de Faraday : étude théorique, expérimentale et numérique* – thèse pour doctorat à l'université de Toulouse

[4] Kumar K. et Tuckerman L. S. , 1994, *Parametric instability of the interface between two fluids*, J. Fluid Mech. (1994), vol. 279, pp.49-68

[5] Benjamin T. B. et Ursell F. , 1954, *The stability of the plane free surface of a liquid in vertical periodic motion*, Royal Society, (1954), vol. 225, pp. 505-515

### **Sites internet :**

<http://www.surface-tension.de/>

<https://www.hindawi.com/journals/bmri/2014/502143/>

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Ac%C3%A9tone>

### **Vidéos :**

<https://www.youtube.com/watch?v=FyES5KALWB0>

[https://www.youtube.com/channel/UCf-gsEyK\\_7zKXy2eFnyghrA](https://www.youtube.com/channel/UCf-gsEyK_7zKXy2eFnyghrA)