

Résistance de vagues

Protocoles et Méthodes

Chloé Bourquin, Aurélien Nguyen, Lucile Massenet-Regad

Matériel

- cuve en plexiglas 50 X 10 X 12 cm étanche à l'huile utilisée
- huile de densité plus élevée que l'eau (exemple avec de l'huile perfluorée : Galden HT 270 Heat Transfer Fluid, lire les informations relatives à la sécurité)
- colorant alimentaire
- eau
- pousse-seringue
- seringue
- 2 aiguilles de diamètre 1,2 mm
- tubes souples adaptés pour relier la seringue à l'aiguille, et l'azote sortant par l'aiguille à la surface de la cuve
- détendeur
- bouteille d'azote ou d'air comprimé
- caméra capable de filmer à plus de 100 images par seconde avec support rigide pour la fixer au dessus de la cuve.
- support rigide de hauteur adaptable pour maintenir les aiguilles à la verticale / horizontale
- éclairage homogène au dessus de la cuve (rampe de LED)
- ordinateur pour le traitement numérique
- congélateur ou réfrigérateur

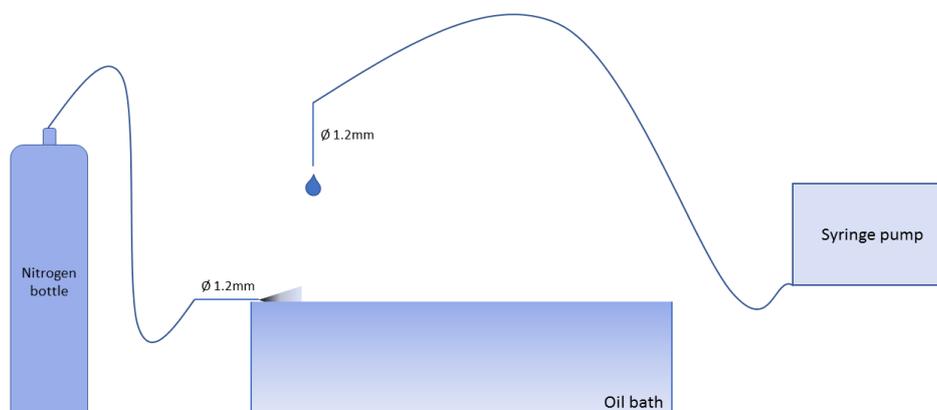


Figure 1 : Schéma du montage et équipement nécessaire à l'expérience

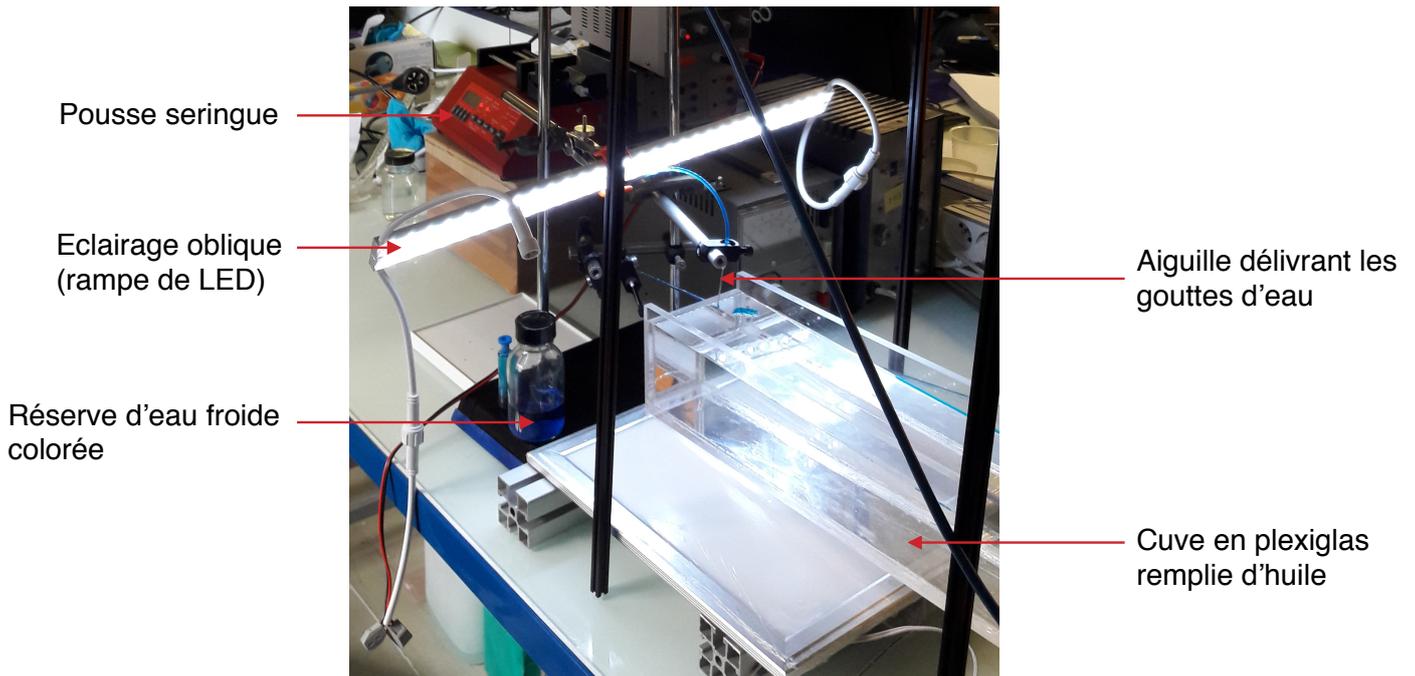


Figure 2 : Photo du montage

Démarche expérimentale

Manipulation et acquisition des vidéos

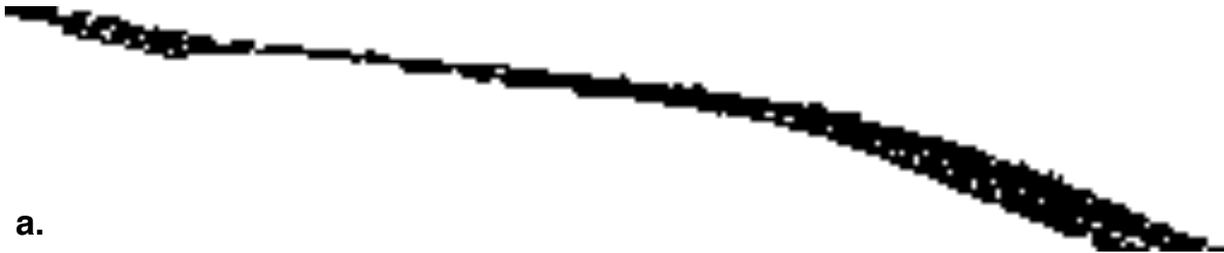
1. Placer préalablement de l'eau colorée au congélateur, puis la sortir environ 15 min avant la manipulation, pour disposer d'eau froide colorée (température proche de 5°C désirée). L'objectif est d'avoir une différence de température entre l'huile et l'eau d'environ 15°C ou plus sans avoir à chauffer l'huile.
2. Pendant ce temps, remplir la cuve d'huile.
3. Mettre en place une aiguille verticalement au-dessus de la cuve, reliée à la seringue via un tube souple, et remplir cette dernière d'eau froide colorée. La placer sur le pousse-seringue. Puis mettre en place l'autre aiguille horizontalement, au bord de la cuve, parallèlement au bain (cf figure 2). Relier l'aiguille via un tube souple au détendeur, connecté à la bouteille d'azote.
4. Disposer la caméra au dessus de la cuve. Visualiser et centrer la caméra à l'endroit où les gouttes sont délivrées.
5. Mettre en place l'éclairage au-dessus de la cuve, en inclinant la barrette de LEDs de telle sorte que la vague formée par la goutte soit bien visible à la caméra (éclairage oblique préférable à un éclairage vertical).
6. Trouver un débit adapté pour délivrer des gouttes toutes les 3 secondes. De même, augmenter doucement le débit de gaz délivré par le détendeur et d'arrêter avant de perturber la surface du bain d'huile, ou d'arracher les gouttes qui se forment sur l'aiguille.
7. Ajuster la hauteur de l'aiguille délivrant les gouttes d'eau, pour obtenir l'effet Marangoni : la goutte ne doit pas coalescer directement dans le bain d'huile, elle glisse sur le bain, poussée par le flux d'air. La hauteur de l'aiguille est d'approximativement 1 cm par rapport à la surface du bain.
8. Si aucune vague ne se forme lorsque la goutte glisse sur le bain, augmenter légèrement le flux d'air.
9. Filmer la trajectoire de la goutte à la caméra (paramètre utilisé : 105 images par seconde).

Traitement d'image (Image J)

Une fois la vidéo enregistrée, isoler le fragment de la vidéo concernant une seule goutte et où la vague est visible. La vidéo est d'abord traitée sous image J avant d'être exploitée sous Matlab.

1. Importer la vidéo comme une séquence d'image.
 - File → Import → Image Sequence...
2. Enlever le bruit de fond et faire ressortir la goutte sur l'image :
 - Process → Subtract Background
 - Process → Find Edges
 - Image → Look out tables → Invert
3. Sélectionner une ligne parcourue par la goutte au cours du temps. On peut alors obtenir un tracé de la position de la goutte en fonction du temps.
 - Image → Stack → Reslice
4. Ne conserver que la trajectoire de la goutte, et supprimer les autres pixels (bruit). Puis binariser l'image, et enregistrer dans un fichier la position des pixels restants.
 - Image → Adjust → Threshold → Make Binary
 - Skeletonize
 - Save XY coordinates (Background value : 0)

Après traitement des images, on dispose d'un fichier .txt, constitué des positions des différents pixels qui représentent la goutte pour une image donnée en fonction du temps.



a.

| Reslice of Goutte2-film2 | | |
|--------------------------|---|-----|
| 541 | 0 | 255 |
| 542 | 0 | 255 |
| 543 | 0 | 255 |
| 544 | 0 | 255 |
| 541 | 1 | 255 |
| 542 | 1 | 255 |
| 543 | 1 | 255 |
| 544 | 1 | 255 |
| 541 | 2 | 255 |
| 542 | 2 | 255 |
| 543 | 2 | 255 |

b.

- a. Figure obtenue après le Reslice (Image J) : en abscisse, on trouve les positions des pixels qui constituent la goutte, et en ordonnée, le numéro de l'image associée.
- b. Extrait du fichier .txt obtenu après le traitement d'image. La première colonne correspond à la position du pixel, la seconde au numéro de l'image correspondante. La troisième colonne correspond au niveau de gris du pixel, soit 255 car on ne conserve que les pixels noirs pour définir la trajectoire de la goutte.

Traitement numérique (Matlab)

Un algorithme a été conçu pour tracer la position, la vitesse et l'accélération de la goutte à partir du fichier .txt obtenu après le traitement d'images.

L'algorithme est composé de plusieurs parties :

1. Il faut commencer par moyenner tous les pixels qui constituent la goutte à un instant donné, c'est-à-dire tous les pixels noirs d'une même ligne horizontale de pixels sur la figure du reslice. On calcule donc une position moyenne de la goutte à chaque instant.
2. On calcule ensuite la vitesse de la goutte, puis l'accélération.

Quand il y a plusieurs fichiers à considérer, l'algorithme va calculer la position, la vitesse et l'accélération moyennes des gouttes pour chaque instant, et les barres d'erreurs associées. Comme chaque goutte se forme et glisse sur le bain avec la même vitesse initiale, on considère que la trajectoire et la vitesse des gouttes ont toujours la même évolution. On cherche donc, pour chaque goutte, l'instant t_{\max} où la vitesse est maximale : t_{\max} nous sert alors de référence pour recalculer toutes les courbes de vitesse et en faire la moyenne.

En sortie de l'algorithme, on obtient 4 graphiques (présentés en annexe) :

1. la trajectoire de la (des) goutte(s) en fonction du temps
2. la vitesse en fonction du temps
3. l'accélération en fonction du temps
4. la décélération en fonction de la vitesse.

L'intégralité de l'algorithme est disponible en annexe sur le fichier PSEfinal.m

Remarques

- Il est possible de réaliser l'expérience avec une huile moins coûteuse que celle utilisée ici. Il faut utiliser un fluide de densité plus grande que celle de l'eau.
- Le phénomène étudié est assez bref, de l'ordre de 1 sec. Une caméra plus rapide pourrait être utilisée pour étudier la goutte.
- Il est possible de réaliser l'expérience pour des diamètres de gouttes différents.

Nous tenons à remercier l'ensemble de l'équipe encadrante des PSE !

Bibliographie

- M. Le Merrer, Christophe Clanet, Wave drag on floating bodies, PNAS, 2011.
- E. Raphaël, P.- G. de Gennes, Capillary gravity waves caused by a moving disturbance : wave resistance, Phys. Rev. E 53,3448 ,1996.
- R. Savino, Marangoni flotation of liquid droplets, J. Fluid Mech. vol. 479 pp 307-326, 2003.

Annexes :

