

# 1 Dispositif expérimental

Nous avions à notre disposition pour effectuer nos mesures : une soufflerie, un capteur de pression pouvant aller jusqu'à  $500Pa$ , un capteur de température, d'une surface ayant un petit trou par où la goutte est injectée par en dessous, une seringue de capacité  $5ml$ , d'un injecteur qui contrôle le volume de la goutte à injecter, d'un écran laser pour bien visualiser notre goutte et d'un ordinateur pour observer les images prises par la caméra.



FIGURE 1 – Camera, surface et écran à laser

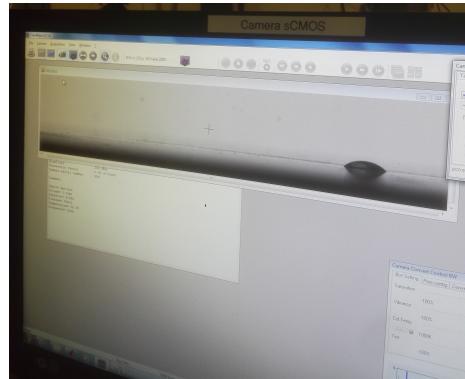


FIGURE 2 – Ecran d'observation

## 2 Anémomètre à fil chaud

C'est l'anémomètre à fil chaud qui nous a permis de déterminer les profils de la couche limite dans notre écoulement.

Le principe de l'anémomètre à fil chaud est de placer un fil chaud (de l'ordre de  $1\text{mm}$  de long et de  $1\mu\text{m}$  de diamètre) dans l'écoulement et de maintenir sa température constante.

L'écoulement retirera une énergie au fil chaud et pour maintenir la température constante du fil chaud, on lui fournit une certaine énergie et cette énergie fournie (la tension qu'il a fallu fournir) est liée à la vitesse au niveau du fil chaud.

## 3 Paramètres mesurés

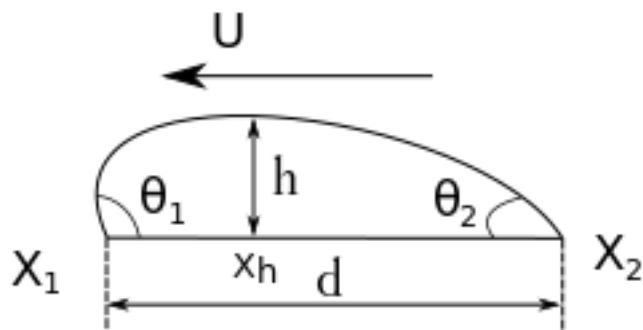


FIGURE 3 – Paramètres mesurés

L'objectif du stage était de réussir à ressortir la courbe du contour d'une goutte à partir des photos prises avec notre caméra à la fréquence de  $50\text{hz}$  et de pouvoir extraire les paramètres comme les angles de contact, la position avant et arrière de la goutte ou la hauteur maximale de la goutte et la position où on obtient cette hauteur maximale.

## 4 Mesures numériques

Nous avons déterminé le contour de la goutte à l'aide de la fonction de Matlab *bwboundaries* qui nous donnait (après avoir réussi à faire les ajustements pour cibler notre zone d'intérêt) le contour sous forme de nuage points.

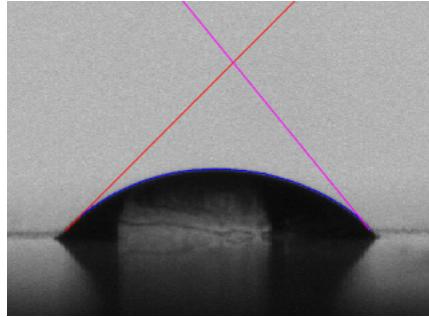


FIGURE 4 – Goutte d'eau de volume 0.03ml avec :  
 $U = 0$ ,  $\theta_a = 45^\circ$ ,  $\theta_r = 50.17^\circ$ ,  $x_1 = 14.66mm$ ,  $x_2 = 6.77mm$ ,  
 $d = 7.89mm$ ,  $h = 4.86mm$  et  $x_h = 48mm$

Ce fut une étape assez difficile dont on a trouvé une solution qui nous satisfaisait assez tardivement (avoir le contour et la position des points extrêmes ( $x_1$  et  $x_2$ ) ont posé beaucoup de difficulté).

Une fois le nuage de points définissant le contour ayant été obtenu, obtenir les tangentes aux deux extrémités de la goutte nous a aussi pris assez de temps.

Nous avons essayé de trouver des courbes d'interpolation autour de chaque extrémité (les points dont nous voulions les tangentes), mais les différentes fonctions d'interpolation de Matlab ou nos différentes méthodes n'arrivaient pas à être visuellement proche de la tangente attendue lorsque la goutte changeait de forme.

Nos gouttes prenaient des formes plus proche d'une courbe paramétrée en coordonnées polaires comme une cardioïde, les formes des gouttes étaient aussi souvent proche des coniques et les méthodes d'interpolation, en particulier celle se basant sur la recherche des polynômes d'ordre 2 ou plus, s'éloignaient très souvent des tangentes attendues visuellement.

C'est l'interpolation par un polynôme d'ordre 1 qui donnait des résultats toujours proche des tangentes qu'on pouvait s'attendre visuellement, mais le nombre de points pris pour déterminer notre tangente avec la fonction *polyfit* de Matlab jouait un rôle important.

Sur un cas particulier, nous pouvions ajuster le nombre de points pour avoir une meilleure tangente (visuellement).

Notre difficulté était de faire un algorithme pour traiter des milliers d'images qui arrive à ajuster le nombre de points.

Nous partions de  $n$  points (le maximum entre 2 et 1% du nombre de points dans notre nuage de points) puis nous trouvions les tangentes avec  $n$  et  $n + 1$  points.

Si les tangentes avec  $n$  et  $n + 1$  points faisaient entre elles un angle inférieur à

$0.5^\circ$ , nous conservions la tangente faite avec  $n$  points, sinon on posait  $n = n + 1$  et on recommençait.

Si nous n'arrivions pas à avoir un angle inférieur à  $0.5^\circ$  entre les tangentes avec  $n$  points et avec  $n + 1$  points, nous ne conservions pas l'image dans nos résultats faute de ne pouvoir avoir les angles de contact assez précisément.

## 5 Mesures expérimentales

Nos mesures dans la soufflerie ont été effectuées de 2 manières.

D'abord, nous mettions en marche la soufflerie jusqu'à ce que la vitesse se stabilise puis on injectait le volume de goutte désiré.

La difficulté de cette méthode est que la goutte d'eau se mettait souvent en mouvement avant la fin d'injection, avant d'atteindre le volume désiré.

Avec l'autre méthode, nous injections d'abord la goutte d'eau de volume désiré (la soufflerie à l'arrêt) et c'est par la suite que nous mettions la soufflerie en marche.

Dans ce cas, la vitesse de la soufflerie prends un temps (relativement court) à se stabiliser et nous n'avons donc pas la vitesse désirée toute suite.

C'est cette dernière méthode où le débit n'était pas un paramètre important que présenterons les résultats et nous ferons un comparatif d'un cas où le débit jouait un rôle important.

## 6 Résultat

Nous présenterons les résultats obtenus après l'extraction de nos paramètres et nous en ferons une analyse.

Nous commençons par présenter les figures 5 et 6 qui illustre bien l'ensemble de nos observations.

On observe la position de l'avant  $x_a$  de la goutte se met à avancer quand la longueur  $d$  augmente et lorsque cette longueur  $d$  diminue, c'est la position de l'arrière  $x_r$  qui bouge.

Cela traduit le fait que la goutte commence à bouger si l'avant ou l'arrière bougent, l'arrière pouvant commencer à bouger avant l'avant et vice-versa.

Pour les angles de contact, on observe que l'angle à l'avant  $\theta_a$  commence initialement à augmenter quand la longueur  $d$  de la goutte augmente, puis  $\theta_a$  oscille avec des grandes amplitudes autour de  $50^\circ$ .

L'angle de contact arrière  $\theta_r$  commence lui par diminuer quand la longueur  $d$  augmente puis  $\theta_r$  se met à osciller avec de faibles amplitudes autour de  $5^\circ$ .

Les oscillations correspondent à des mouvements oscillant de la goutte qui oscillait en reculant et en avançant rapidement autour d'une même position avant d'avancer subitement.

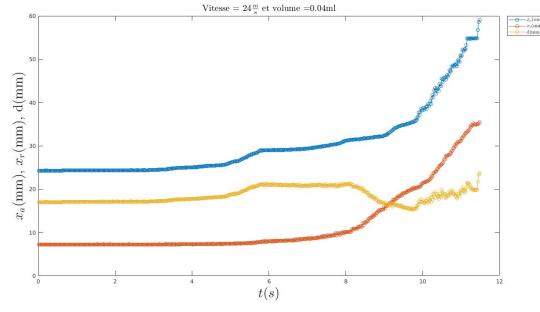


FIGURE 5 –  $x_a$ ,  $x_r$ ,  $d$ ,  $U_\infty = 24 \text{m.s}^{-1}$ , volume = $0.04\text{ml}$

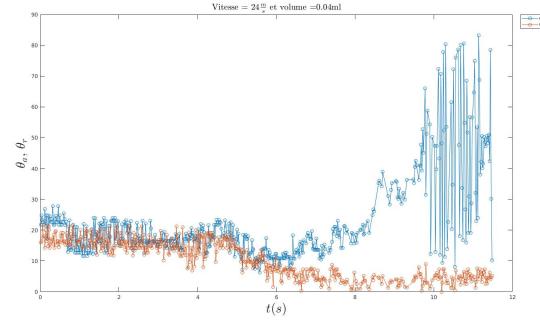


FIGURE 6 –  $\theta_a$ ,  $\theta_r$ ,  $U_\infty = 24 \text{m.s}^{-1}$ , volume = $0.04\text{ml}$

## 6.1 Vitesse de $20m.s^{-1}$

On observe sur la figure 8 que la longueur  $d$  reste presque constante pendant un certain temps (les angles  $\theta_a$  et  $\theta_r$  restant eux aussi constant) et ensuite la longueur peut diminuer ou avancer.

On constate aussi que la longueur  $d$  de la goutte commence à osciller à partir d'une certaine longueur.

On observe que les angles de contact évoluent de manière similaire pour toutes les gouttes : l'angle d'avancée commence à augmenter puis oscille autour de  $50^\circ$ , l'angle de recul diminue puis oscille aux alentours de  $5^\circ$ .

Les oscillations observées sont liées à la forme de la goutte et peuvent être mise en évidence avec la position et la hauteur maximale de la goutte (illustré figure 11 et 12).

Nous observons que la hauteur maximale de la goutte  $y_{max}$ , après une phase initiale où elle est presque constante, elle peut se mettre à baisser ou à augmenter, mais lorsque  $y_{max}$  augmente et atteint une certaine hauteur,  $y_{max}$  se met à osciller autour de cette hauteur.

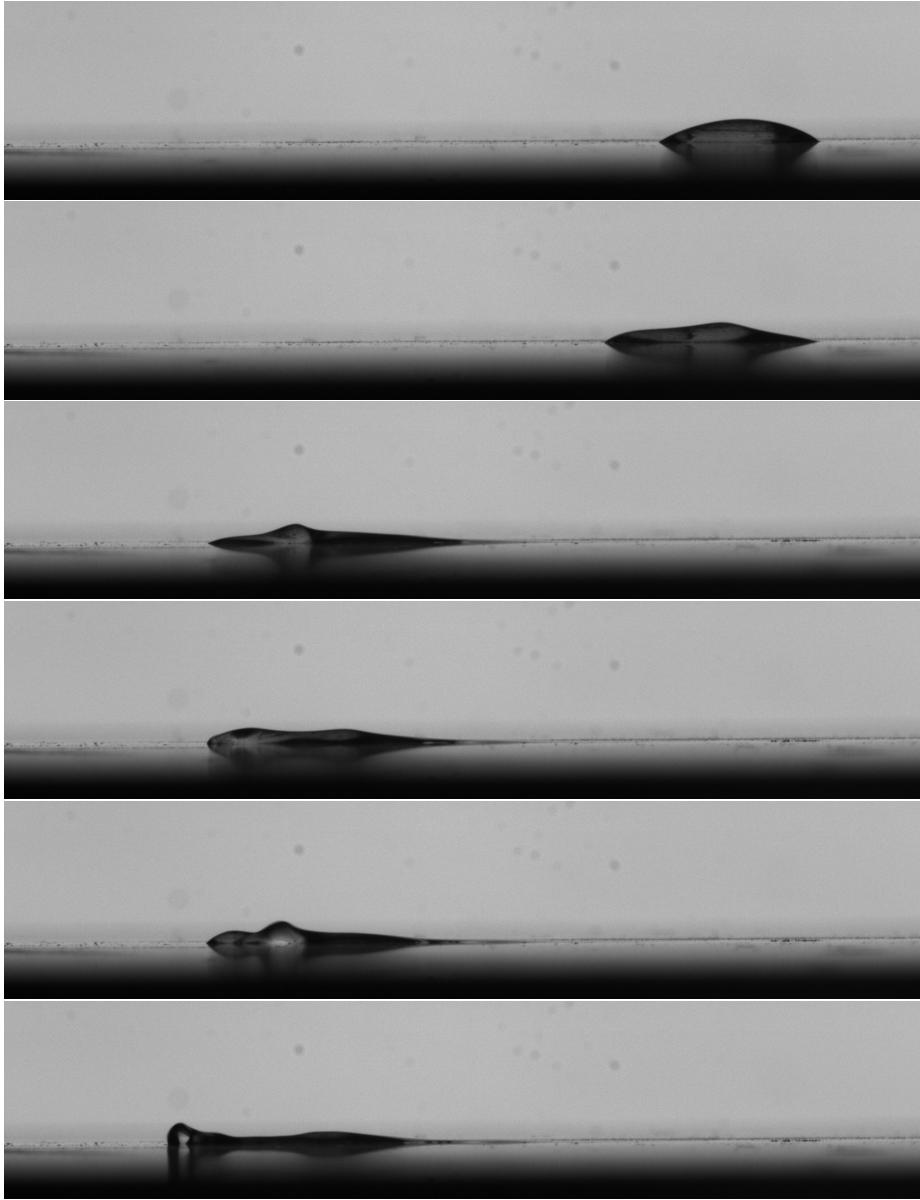


FIGURE 7 –  $U_\infty = 20 m.s^{-1}$ , de haut en bas,  $t = 1, 8, 12.52, 12.54, 12.58$  s

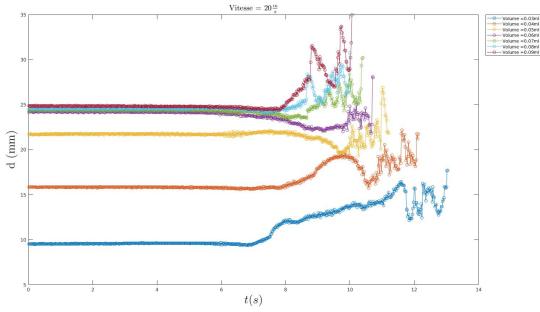


FIGURE 8 –  $d$ ,  $U_\infty = 20m.s^{-1}$

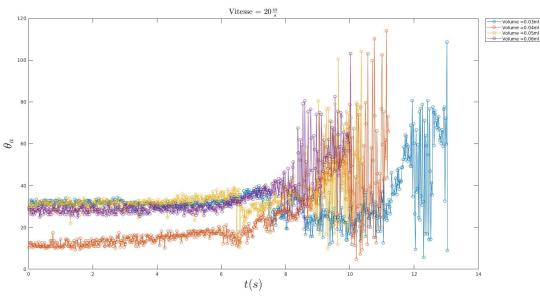


FIGURE 9 –  $\theta_a$ ,  $U_\infty = 20m.s^{-1}$

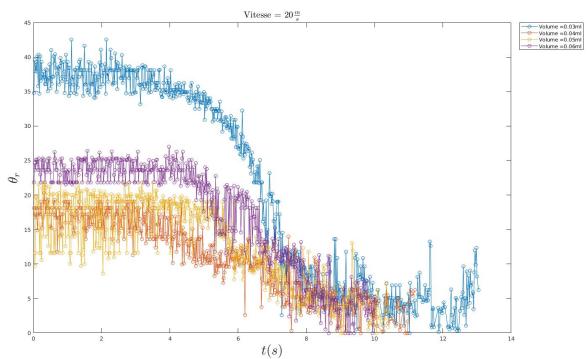


FIGURE 10 –  $\theta_r$ ,  $U_\infty = 20m.s^{-1}$

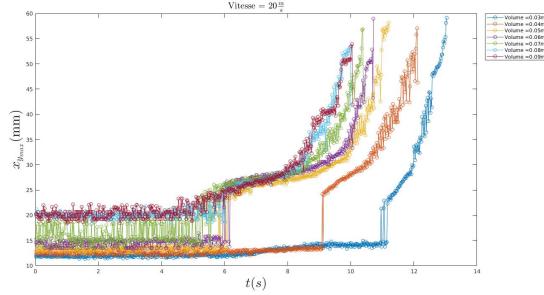


FIGURE 11 –  $x_{max}$ ,  $U_\infty = 20 m.s^{-1}$

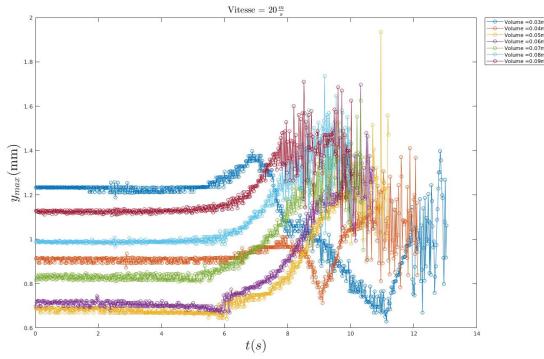


FIGURE 12 –  $y_{max}$ ,  $U_\infty = 20 m.s^{-1}$

## 6.2 Vitesse de $24 m.s^{-1}$

Nous constatons aussi sur les figures 13, 14 et 15 que  $d$  reste constant un certain temps puis augmente ou diminue et  $d$  se met à osciller s'il atteint une certaine longueur en augmentant.

L'angle  $\theta_a$  lui aussi est d'abord constant, puis il augmente et se met à osciller autour de  $50^\circ$ .

L'angle  $\theta_r$  reste aussi constant un certain temps avant de diminuer et d'osciller autour de  $5^\circ$ .

Nous observons aussi que la hauteur maximale de la goutte  $y_{max}$ , après une phase initiale où elle est presque constante, elle peut se mettre à baisser ou à augmenter, mais lorsque  $y_{max}$  augmente et atteint une certaine hauteur,  $y_{max}$  se met à osciller autour de cette hauteur.

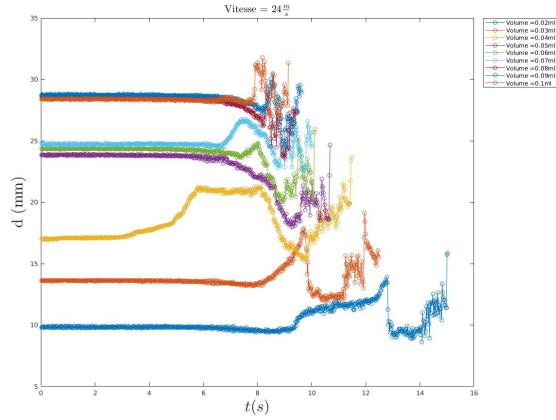


FIGURE 13 –  $d$ ,  $U_\infty = 24 \text{m.s}^{-1}$

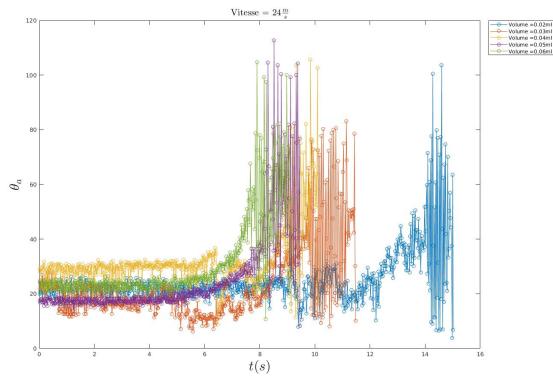


FIGURE 14 –  $\theta_a$ ,  $U_\infty = 24 \text{m.s}^{-1}$

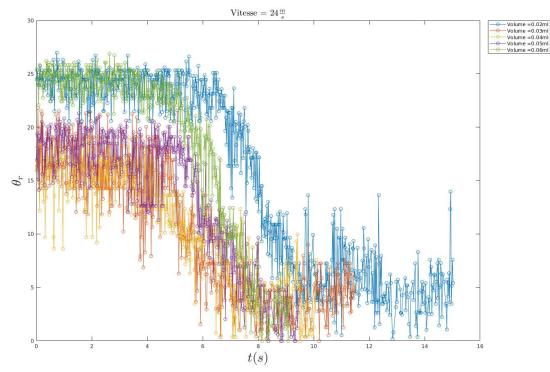


FIGURE 15 –  $\theta_r$ ,  $U_\infty = 24 \text{m.s}^{-1}$

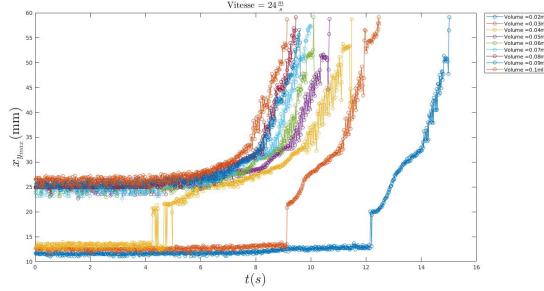


FIGURE 16 –  $x_{max}$ ,  $U_\infty = 24 \text{m.s}^{-1}$

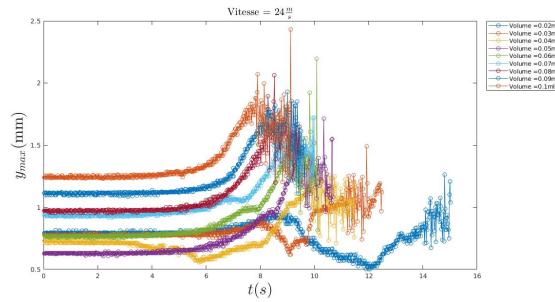


FIGURE 17 –  $y_{max}$ ,  $U_\infty = 24 \text{m.s}^{-1}$

### 6.3 Vitesse de $28 \text{m.s}^{-1}$

Nous constatons de même sur les figures 18, 19 et 20 que  $d$  reste constant un certain temps puis augmente ou diminue et  $d$  se met à osciller s'il atteint une certaine longueur en augmentant.

L'angle  $\theta_a$  lui aussi est d'abord constant, puis il augmente et se met à osciller autour de  $50^\circ$ .

L'angle  $\theta_r$  reste aussi constant un certain temps avant de diminuer et d'osciller autour de  $5^\circ$ .

Nous observons aussi que la hauteur maximale de la goutte  $y_{max}$ , après une phase initiale où elle est presque constante, elle peut se mettre à baisser ou à augmenter, mais lorsque  $y_{max}$  augmente et atteint une certaine hauteur,  $y_{max}$  se met à osciller autour de cette hauteur.

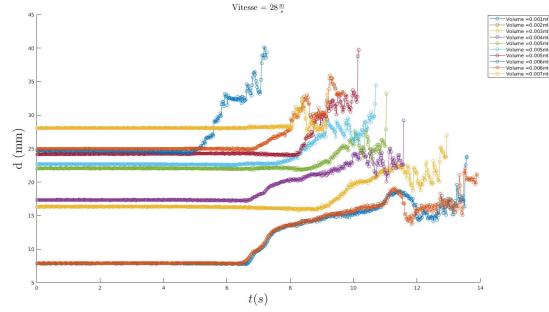


FIGURE 18 –  $d$ ,  $U_\infty = 28 \text{m.s}^{-1}$

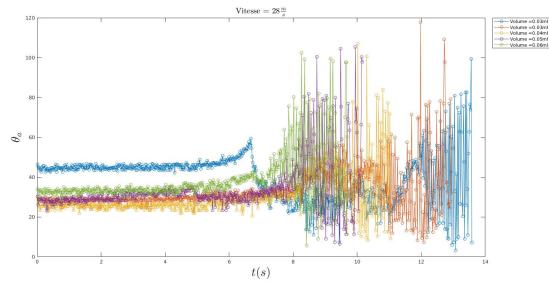


FIGURE 19 –  $\theta_a$ ,  $U_\infty = 28 \text{m.s}^{-1}$

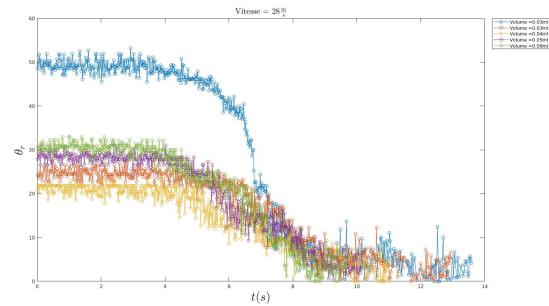


FIGURE 20 –  $\theta_r$ ,  $U_\infty = 28 \text{m.s}^{-1}$

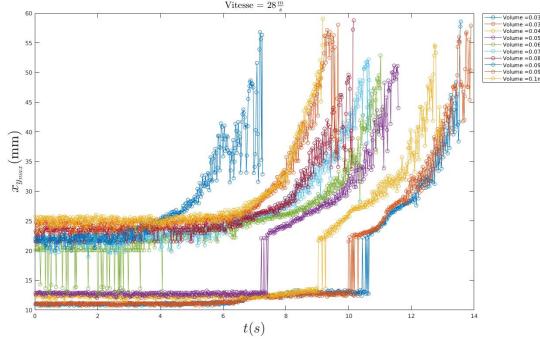


FIGURE 21 –  $x_{max}$ ,  $U_\infty = 28m.s^{-1}$

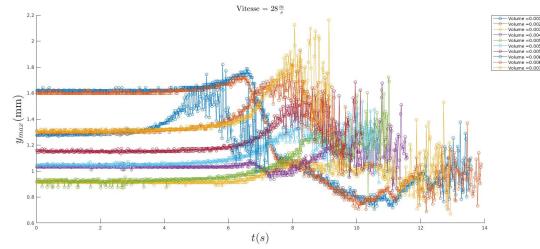


FIGURE 22 –  $y_{max}$ ,  $U_\infty = 28m.s^{-1}$

#### 6.4 Longueur $d$ à une vitesse de $24m.s^{-1}$ avec ou sans débit

Nous présentons des mesures faites en injectant un volume de  $0.06ml$  d'eau à un débit fixé avec une vitesse dans la soufflerie déjà établie à environ  $24m.s^{-1}$ .

Nous comparons ces données avec une goutte de débit nulle qui a été formée sur notre surface lorsque la soufflerie était à l'arrêt et la soufflerie a été mise en marche pour obtenir la vitesse de  $24m.s^{-1}$ .

Nous observons sur la figure 23 que pour des débits non nuls la longueur  $d$  augmente de plus en plus rapidement lorsque le débit augmente puis se met à osciller autour de la longueur pour laquelle on a un débit nul.

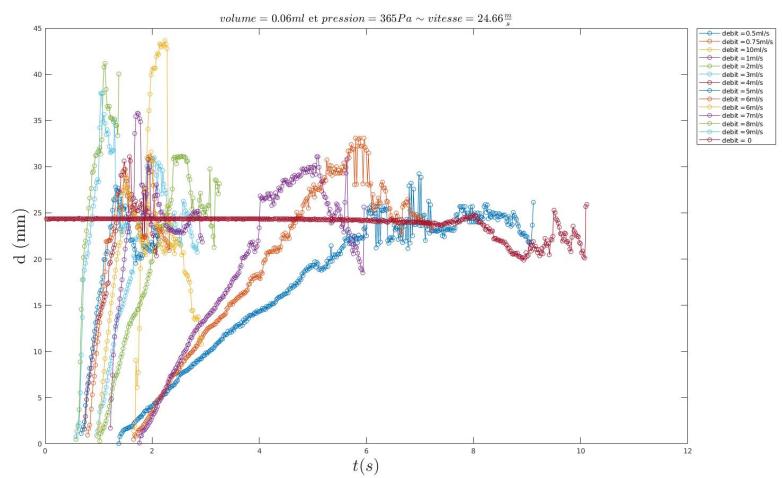


FIGURE 23 –  $d$  , volume = 0.06ml, vitesse  $\approx 24.7 m.s^{-1}$