

Propagation de l'embolie gazeuse dans des arbres artificiels



Alexandre Vigna-Brummer

Master Ondes, Atomes, Matière

Encadrants : Céline Cohen¹, Xavier Noblin¹ et Ludovic Keiser²

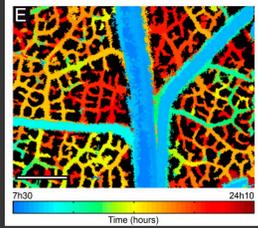
¹Institut de physique de Nice, ²LiPhy Grenoble



Résumé

Avec la sécheresse, on peut voir apparaître chez les végétaux des bulles d'air qui se propagent dans le réseau hydraulique de l'arbre et qui peut bloquer la circulation de la sève. La propagation et croissance de ces bulles amène des variations de pression au sein des vaisseaux qui s'observent par une déformation de la paroi supérieure des canaux. Ces déformations ont pu être observées sur des systèmes artificiels en PDMS dans l'article Keiser *et al.* [1]. Dans le présent travail nous avons développé une nouvelle méthode pour mesurer les déformations dans des réseaux artificiels au cours du temps, tout en observant la propagation de la bulle dans le canal à l'aide d'un microscope droit et d'un spectromètre. Nous avons appliqué cette méthode sur un canal unique présentant une constriction. Nous avons pu comparer la déformation du canal à celui d'une plaque mince encastrée. Nous avons également mesuré pour la première fois, la déformation au cours du temps de la propagation d'une bulle dans un système plus complexe, formé de nombreux canaux interconnectés par des constriction.

I - Formation et propagation d'une bulle



T.J. Brodribb *et al.* 2016

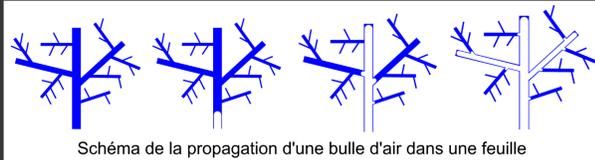
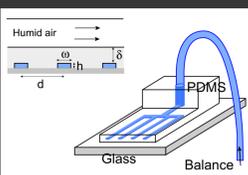


Schéma de la propagation d'une bulle d'air dans une feuille

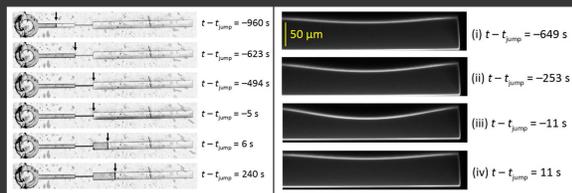
- Moteur de la circulation de la sève : transpiration foliaire.
- Cavitation introduit une bulle dans le système.
- Propagation de la bulle dans toute la feuille [3].
- Hiérarchisation de la propagation : largeur du canal.
- Présence de constriction provoquant une croissance saccadée de l'embolie.
- Création de systèmes artificiels en PDMS.
- Keiser *et al.* ont observé une déformation de la paroi supérieure [1].



Photo H. Cochard



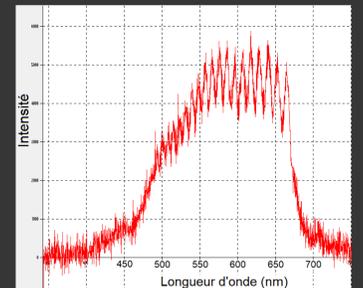
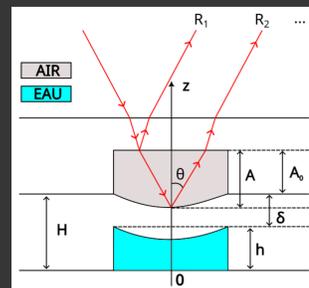
Noblin *et al.* 2008



Keiser *et al.* 2022

II - Mesure de la déformation par spectrométrie

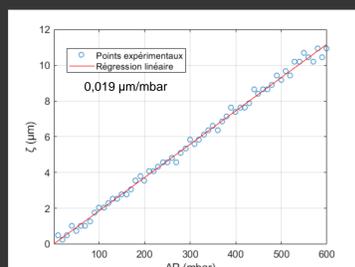
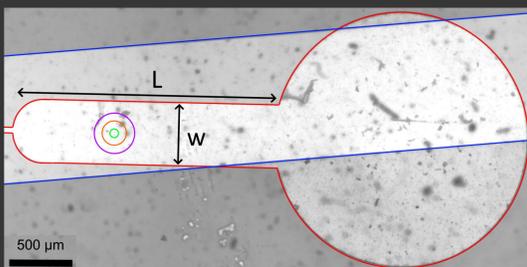
- Phénomène d'interférence.
- Spectre avec des maxima et minima.
- Épaisseur de la mesure : $A = N\lambda/(2n)$ avec n l'indice optique de l'air, N entier et λ étant une longueur d'onde correspondant à un maximum.
- Transformée de Fourier du spectre : fréquence.
- Différence d'indice optique trop faible entre le PDMS et l'eau.
- Astuce : ajouter un canal d'air par dessus.



Déformation : $\zeta = A_0 - A$

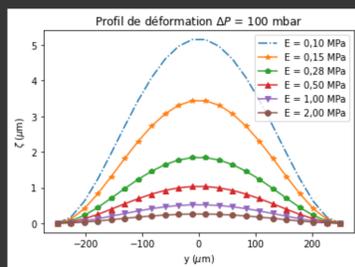
III - Déformation d'un canal simple

1. Déformation en fonction de la pression

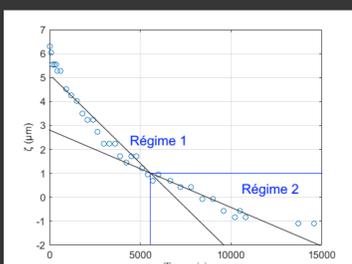


Déformation plaque mince encastrée rectangulaire [1] : $\zeta = \frac{\Delta P(1-\nu^2)}{2E\delta^3} \left(y^2 - \frac{1}{4}w^2 \right)^2$

- Paroi supérieure modélisée par une plaque mince.
- $\zeta > 0$, membrane se bombe vers le haut.
- Module d'Young du PDMS déterminé : $E = 0,28$ MPa.
- Bibliographie $E = 1$ à 4 MPa.
- Conditions aux bords entre appui simple et encastré : valeur cohérente pour E.
- Approximation plaque mince.

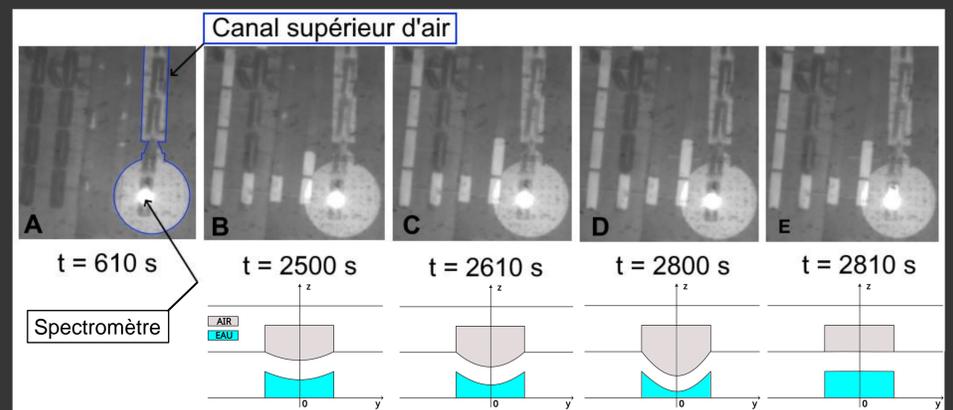


2. Déformation par évaporation

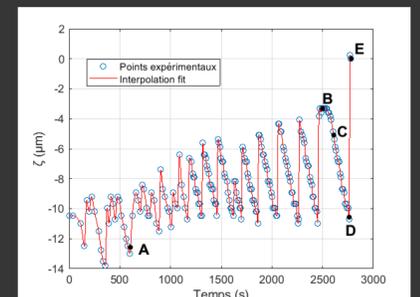


- Pas de formation de bulle.
- Hypothèse de deux régimes d'évaporation :
 - Régime 1 : force de rappel de la membrane qui accélère l'évaporation : 2 effets se cumulent
 - Régime 2 : position de repos de la membrane franchie $\zeta = 0$, évaporation simple.

IV - Déformation sur un réseau de canaux



- Oscillation de la déformation d'une membrane.
- $\zeta < 0$: membrane bombée vers le bas
- Zone bloquée par le canal d'air.
- Influence du volume d'eau restant dans le système.
- Déformation chaque fois plus importante.



Conclusion

- Nouvelle méthode de mesure d'une déformation.
- Oscillation de la membrane dans un réseau interconnecté.
- Influence du volume d'eau restant.

Perspectives

- Mesures en différentes positions.
- Utiliser d'autres géométries.
- Vérifier l'hypothèse des deux régimes en variant la surpression.

Références

- [1] L. Keiser, B. Dollet and P. Marmottant. Intermittent air invasion in pervaporating compliant microchannels. Journal of Fluid Mechanics (submitted), 2022.
- [2] X. Noblin, L. Mahadevan, I. A. Coomaraswamy, D. A. Weitz, N. M. Holbrook, M. A. Zwieniecki. Optimal vein density in artificial and real leaves. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2008.
- [3] T. J. Brodribb, D. Bienaimé et P. Marmottant. Revealing catastrophic failure of leaf networks under stress. Proceedings of the National Academy of Science, 2016

