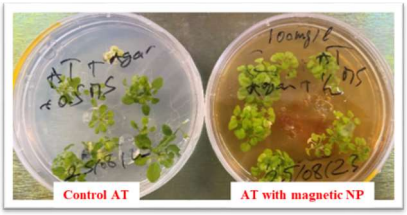
In-vivo Study of Plant Responsivity to Environmental and Physiological Stress Using Infrared Thermography

Keywords : magnetic thermography; plant growth; hydraulics; stress; cavitation; embolism.
Supervisors: Florent Carn (florent.carn@u-paris.fr) and Ahmed Mourchid (ahmed.mourchid@u-paris.fr)
Laboratoire Matière et Systèmes Complexes (MSC), UMR7057 CNRS & Université Paris Cité.

Les plantes vasculaires possèdent deux conduits hydrauliques, appelés phloème et xylème, dont la fonction consiste à transporter des liquides chargés en nutriments de l'extrémité des racines à l'extrémité des feuilles suivant un chemin continu. Le phloème est le siège d'un flux descendant permettant de distribuer le sucre produit par photosynthèse dans les feuilles vers les racines. Cet écoulement est activé par des mécanismes osmotiques. Le xylème est le siège d'un flux ascendant permettant de distribuer dans l'ensemble de la plante, l'eau et les minéraux puisés par la racine dans le sol [1].

Le mode de fonctionnement de ces deux circuits a longtemps fait l'objet de controverses. Cependant, il est aujourd'hui établi, concernant le xylème, que la transpiration massive par les feuilles exposées au soleil crée une très forte dépression dans le xylème, bien inférieure à la pression de vapeur saturante de l'eau. Ceci contribue donc à maintenir le flux ascendant de la sève. Néanmoins, ce qui peut sembler parfait et harmonieux, présente un très grand risque pour la plante car, thermodynamiquement, l'eau devrait être sous forme gazeuse. L'eau est donc dans un état métastable et toute rupture de ce fragile équilibre produit de la cavitation, c'est-à-dire la formation de petites bulles de gaz. Celles-ci vont continuer à circuler dans le conduit de la sève sous pression négative, grossir et se transformer en bouchons provoquant ainsi l'embolie de la plante et sa mort.

Dans l'environnement actuel d'évolution climatique vers des sécheresses sévères et fréquentes l'embolie des plantes pourrait conduire fatalement à des pertes massives de surface verte. La compréhension des phénomènes physiques à l'origine de l'embolie tels que le transport de la sève dans des spécimens sous stress est un sujet qui mérite d'être étudié.



C'est dans ce contexte que nous souhaitons entreprendre la conception d'un dispositif d'étude et d'observation de la circulation ascendante de la sève dans la plante modèle Arabidopsis Thaliana. Notre stratégie consiste à disperser des nanoparticules magnétiques (NP) dans le fluide nutritif de la plante puis à utiliser ces particules comme nano-sources de chaleur par application d'un champ magnétique continu et pulsé. Cet échauffement local de quelques degrés rend possible une détection du flux de particules, et donc de la sève, par imagerie infrarouge.

Ces observations, in-vivo et non-invasives, devraient nous renseigner sur l'état de la sève, en fonction du stress subit par la plante, dans les vaisseaux individuels du xylème au fil du temps. L'imagerie infrarouge nous permettra aussi de visualiser la distribution des NP et de différencier ainsi les zones riches en NP de celles qui en seront dépourvues.

Cette méthodologie originale pourrait ainsi être utilisée pour surveiller l'état fonctionnel des vaisseaux du xylème et en particulier étudier les processus de cavitation et d'embolie ainsi que des stratégies de réparation dans des plantes sous stress.

[1] Knoblauch et al. eLife 2016, 5, e15341 ; Stroock et al. Annu. Rev. Fluid Mech. 2014, 46, 615.

[2] Shyam et al. Int. J. Heat Mass Transf. 2019, 135, 1233 ; Kalambur et al. Nanotechnology 2005, 16, 1221.