

Résumé

Dans un contexte de changement climatique, de réduction des surfaces agricoles et de nécessaire préservation de l'environnement, un enjeu sociétal majeur réside dans l'amélioration de la production végétale pour l'alimentation humaine et animale. On s'intéresse ici à la problématique de la sélection variétale des espèces végétales alimentaires vis-à-vis de leur résistance au stress hydrique, et en particulier au tournesol. Dans un futur proche, le manque local de ressources en eau dans certaines régions du globe nous obligera à améliorer considérablement l'efficacité des rendements agricoles et ceci notamment par le biais de nouvelles techniques de phénotypage basées sur des principes optiques/physiques. Depuis quelques décennies maintenant, de nombreuses études à l'interface de l'agronomie et de la physique ont été publiées et ont permis de gagner en précision et efficacité.

Nos travaux ont eu pour objectif d'élaborer des méthodes sans contact, basées sur le rayonnement électromagnétique, pour sonder la structure des feuilles de végétaux. De nombreuses méthodes optiques ont déjà été explorées dans ce but et ont montré des succès notables. Toutefois, en raison des fortes hétérogénéités à la surface et dans le volume des végétaux, aucune d'elles n'a permis d'extraire avec précision la géométrie en profondeur des feuilles de végétaux, c'est-à-dire la structure multicouche (allant des trichomes aux mésophylles...) caractéristique de la variété végétale, de son fonctionnement interne et des échanges avec le milieu environnant, de l'âge des tissus et de leur évolution/adaptation aux stress abiotiques et biotiques.

Après quelques premiers essais reposant sur des technologies optiques, nous avons opté pour l'utilisation du rayonnement terahertz, non encore introduit à l'institut Fresnel. La grande longueur d'onde de ce rayonnement permet en effet de s'affranchir du poids des hétérogénéités, de sorte que le tissu végétal est globalement vu par l'onde THz comme une structure planaire multicouche homogène. Ce constat permet alors de mettre à profit tout un ensemble d'expertises liées à la modélisation de ces structures par admittances complexes, et aux problèmes inverses associés (reverse engineering). Du point de vue instrumental, il s'agit d'envoyer une impulsion THz de quelques picosecondes sur l'échantillon, et d'en étudier la déformation temporelle après interaction avec le végétal. L'analyse de cette déformation est opérée dans le plan complexe, où l'on cherche à minimiser une fonction de mérite entre le signal complexe mesuré et la simulation obtenue avec une géométrie multicouche à identifier.

Les premiers tests ont été effectués sur des échantillons monocouche inertes et ont été particulièrement probants, validant en cela l'ensemble de la procédure. Ces travaux ont été ensuite appliqués à l'étude de la feuille de tournesol, et ont permis de révéler la présence d'une structure à 8 couches, dont les épaisseurs et les indices complexes sont extraits. Ce résultat est extrêmement prometteur et ouvre potentiellement une porte pour de nouveaux outils de phénotypage portatifs ou en ligne. La technique nous a également permis d'aborder des études d'uniformité (spatiale) et de déshydratation (temporelle) des feuilles de tournesol, ainsi que la présence de gradients d'indice dans la profondeur des multicouches.

D'une façon plus générale, l'introduction de la technologie THz à l'Institut Fresnel y ouvre de nouveaux projets de recherche dans le domaine de l'agronomie de précision et du biomédical.