

Résumé :

Le stage comporte deux objectifs pour améliorer le phénotypage des pommes à chair rouge :

- la détermination de descripteurs caractérisant les différents motifs de coloration à l'échelle du fruit ;
- la détection du brunissement interne par une méthode non destructive.

Le développement de variétés de fruits à chair rouge est un nouvel enjeu de la sélection, particulièrement chez le pommier. La couleur rouge dans la chair des fruits présente des variations d'intensité et de distribution de la couleur (variations phénotypiques dues à des facteurs génétiques et environnementaux), ce qui rend l'évaluation de ce caractère complexe et subjectif. Des méthodes d'imagerie RGB permettent de segmenter et de classifier les différents niveaux de coloration rouge, de fournir la surface des motifs par coloration, mais ne rendent pas compte de leur répartition spatiale ni de leur morphologie. Ainsi, l'établissement de descripteurs morphométriques qui caractérisent les différents motifs de chaque niveau de coloration est recherché pour rendre compte de leur variabilité dans les pommes à chair rouge. Nous avons pu répertorier puis implémenter en python près d'une vingtaine de descripteurs de contours et de formes des motifs sur un ensemble de 1536 (données de 2021), et 1743 (données de 2022) images de tranches de pommes. Cependant nous n'avons pu traiter que les résultats d'un certain nombre de descripteurs tels que l'aire, le nombre de trous, le nombre de régions ou motifs connexe et la distance au centre de pomme en miniprojet.

En stage, nous nous sommes penchés, sur l'analyse globale de l'ensemble des données extraites après avoir modifié l'algorithme de segmentation dans la chaîne d'acquisition par l'algorithme Kmeans ( $k=4$ ) à cause des bruits de segmentation. L'analyse s'est faite à l'aide des ACP (Analyses en Composantes Principales), un puissant outil permettant de gérer les multiples dimensions des données, pour analyser les résultats. Nous avons réussi à séparer les motifs de coloration en différents groupes en fonction des données obtenues. En particulier, nous nous sommes concentrés sur les motifs de la classe 1 (chair peu colorée en rouge), que nous avons redécrits à l'aide de repères (landmarks) ; cela nous a permis de caractériser ces motifs en utilisant des coefficients de Fourier elliptique plutôt que de travailler avec une grande quantité de pixels pour décrire les contours. L'application de l'ACP sur ces coefficients a montré une corrélation significative entre les contours et les données de coloration, en regroupant les motifs selon leur origine (pommes à chair rouge, rouge clair ou blanc). L'ensemble des processus de traitement, depuis la numérisation des pommes jusqu'à l'application des ACP, est regroupé dans un pipeline illustré dans la figure 1. Bien que ces résultats soient intéressants, nous rencontrons des difficultés pour extraire les informations nécessaires pour identifier les gènes responsables des motifs de coloration. Néanmoins, grâce à ces regroupements et en combinant les données de morphométrie des pommes récoltées en 2021 et 2022 sur un seul site près d'Angers, nous pouvons conclure que les motifs de coloration sont bien associés à des gènes.

La deuxième problématique du thème de ce stage porte sur la détection du brunissement au sein des pommes. Certains fruits à chair rouge souffrent de brunissement en conservation. Cette altération de la chair résulterait de phénomènes oxydatifs générés par une sénescence accrue. Il n'existe aujourd'hui aucune méthode de phénotypage non-destructive capable de prédire la présence de ce type de brunissement. Tout d'abord, nous avons fabriqué un pendule en utilisant une petite masse pour frapper les pommes. Ensuite, nous avons enregistré les sons émis lors des impacts. Cependant, nous avons remarqué que les fréquences fondamentales des sons enregistrés étaient identiques pour toutes les pommes. Cela indiquait que notre méthode de frappe n'était pas appropriée. Pour remédier à cela, nous avons découvert l'Acoustic Firmness Sensor (AFS), un dispositif qui mesure la fermeté, la fréquence fondamentale et le poids des fruits, dont nous avons mis en place un protocole d'utilisation. En l'absence de pommes présentant des signes de brunissement, nous avons utilisé l'AFS pour mesurer

ces paramètres sur des pommes de deux variétés : des pommes saines et des pommes en état de pourriture ou de sénescence (caractéristiques similaires au brunissement interne). Suite à l'analyse des données collectées, nous avons réussi à distinguer les pommes en état de pourriture des pommes saines. Les pommes en mauvais état ont démontré une réduction de leur masse fraîche ainsi qu'une altération des structures cellulaires contenant de l'eau, telles que les parois et les membranes. Cette altération a eu un impact sur leur fréquence de résonance, entraînant une diminution significative de leur fermeté. Ces constatations soulignent que l'AFS pourrait se révéler utile pour la détection du brunissement dans des études à venir.

Mots-clés : descripteurs de formes et de contours, transformée de Fourier elliptique, ACP, Landmarks, espace morphologique, fermeté, fréquence fondamentale.