

## **STAGE Master 2 : Modélisation statistique de l'Impact des facteurs climatiques sur la coloration des pommes à chair rouge : détermination des facteurs climatiques et des phases développementales clés**

### Contexte et problématique

Depuis plusieurs années émerge le besoin de renouvellement des variétés de pommes cultivées. Ainsi, des programmes innovants de création variétale se sont structurés et ont permis l'émergence de nouveaux hybrides et variétés, notamment à chair rouge. Chez le pommier, le développement de la coloration rouge dans la chair des fruits résulte de l'accumulation d'anthocyanes (famille des flavonoïdes). Ces molécules se retrouvent communément chez les plantes et procurent des effets bénéfiques de type anti-oxydant et anti-cancéreux chez les mammifères (Cooke et al., 2005). Chez la pomme, de récentes études ont montré que des gènes de types facteurs de transcription (FT) jouent un rôle majeur dans la régulation de la synthèse de ces polyphénols, à la fois dans l'épiderme mais aussi dans la chair des fruits (Chagné et al., 2007, 2013 ; Espley et al., 2007, 2019 ; Sato et al., 2019). L'expression de certains gènes, incluant des facteurs de transcription (FT), peut elle-même être influencée par un ensemble de facteurs agro-climatiques tels que le stress hydrique (Wang et al., 2020), des températures élevées (Bars-Cortina et al., 2018) ou encore des variations de rayonnement (Honda et al., 2017). De plus, l'effet des stress abiotiques sur la dynamique d'accumulation des métabolites spécialisés, comme les anthocyanes, dans les fruits n'est pas univoque et dépend du scénario de stress (intensité, moment d'application).

Ainsi, la multiplication et le test de nouvelles variétés de pommes à chair rouge par notre partenaire IFO (obteneur de nouvelles variétés, Groupe DALIVAL, TERRENA) dans de nombreux environnements contrastés a récemment conduit à l'observation de phénotypes de couleur de fruits très diverses (Figure 1). Le phénotype de certains hybrides considérés comme produisant un pourcentage élevé de fruits à chair rouge s'est révélé très changeant en fonction des environnements dans lesquels ces hybrides ont été testés. Ces variations peuvent aller jusqu'à un facteur 10 pour les teneurs en anthocyanes. En partenariat avec IFO, l'équipe Valema de l'UMR IRHS Angers, a développé une méthode de phénotypage de l'intensité et de la répartition de la coloration dans la chair des pommes par analyse d'images (Bouillon P, Fanciullino A-L, Belin E, Bréard D, et al. 2024.). Cette méthode a pu être appliquée à 6 génotypes de pommes à chair rouges et 4 sites présentant des climats contrastés (Figure 1). Nous disposons ainsi d'une base de données incluant les données de phénotypage ainsi que les données climatiques au cours de la saison de production. C'est dans ce contexte que nous proposons un sujet de stage interdisciplinaire grâce à une collaboration entre l'UMR MISTEA Montpellier (Mathématiques, Informatique et Statistiques) et l'UMR IRHS Angers (écophysiologie, biochimie du fruit, épi/génétique et génomique) pour répondre aux questions suivantes : Quelles sont les variables climatiques qui impactent le développement de la coloration rouge de la chair des pommes ? Peut-on quantifier et hiérarchiser ces effets ? Quelles sont les phases clés au cours du développement du fruit ? Quelles sont les interactions entre variables ?

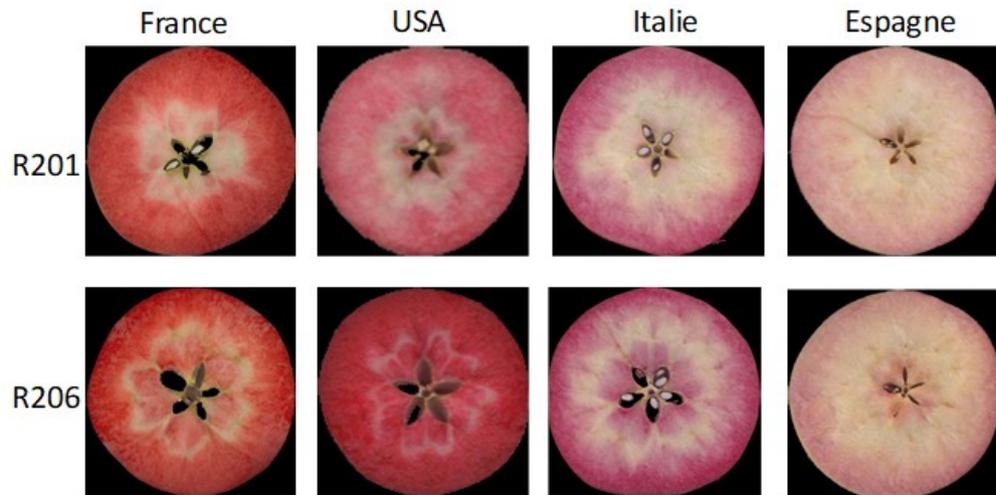


Figure 1. Images de deux variétés de pommes à chair rouge, R201 et R206, cultivées avec des conditions standards de productions, sur quatre sites de l'hémisphère nord présentant des climats contrastés.

## Objectifs du stage

Avec les données ainsi collectées, nous proposons de tester et de comparer les résultats de plusieurs approches de statistique de régression sous contraintes (fused and/or lasso) qui permettent de sélectionner - identifier les meilleurs prédicteurs (parmi les variables climatiques et leurs interactions ou parmi les plages/phases du processus) de la couleur de la pomme. Les analyses envisagées seront réalisées sous R avec les fonctions du package SpiceFP (Gnanguenon Guesse & al., 2021) et potentiellement avec celles du package BLiss (Paul-Marie Grollemund & al. 2024). Ces deux packages ont été développés au sein de l'UMR MISTEA. L'analyse pourra entraîner d'éventuels développements sous R en dehors de ces packages si nécessaire. SpiceFP est basé sur une transformation des variables climatiques temporelles en variables catégorielles (où chaque catégorie est définie comme une plage de valeurs). Les tableaux de contingence (tableaux croisés) des modalités ainsi constituées sont utilisées comme variables explicatives pour effectuer une collection de régressions multiples sous contraintes. Les régresseurs sont les fréquences associées aux combinaisons de modalités (plages de valeurs des variables climatiques). La sélection finale des combinaisons et la valeur des coefficients de régression permettent d'identifier les conditions climatiques favorables (les combinaisons température, ETP, radiation etc. favorables ou défavorables pour chaque génotype).

## Informations pratiques

**Durée du stage** : 6 mois, à partir de février-mars 2025

**Gratification** de 650 euros/mois (Financement Méta-programme INRAE CLIMAE)

**Contacts** : [patrice.loisel@inrae.fr](mailto:patrice.loisel@inrae.fr), [anne-laure.fanciullino@inrae.fr](mailto:anne-laure.fanciullino@inrae.fr)

**Lieu du stage** : UMR MISTEA, 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier Cedex 2. Déplacement à Angers à prévoir

**Sites web équipes** : <https://mistea.montpellier.hub.inrae.fr/> et <https://irhs.angers-nantes.hub.inrae.fr/>

## Profil requis :

- Formation Supérieure BAC + 5 (Ingénieur, ou Master 2 de statistique)
- Connaissances : programmation en R
- Langues : anglais (lecture d'articles)