



PROPOSITION DE STAGE 2024-2025

Le GIS Fruits souhaite soutenir des stages étudiants de 6 mois, niveau Master 2 sur le thème des fruits et offre pour cela de financer des bourses de stages réalisés dans des labos INRAE. Le sujet proposé doit :

- i) s'inscrire dans les axes thématiques du GIS,
- ii) être construit en partenariat entre au moins 3 membres du GIS*,
- iii) le stagiaire doit être encadré par un maître de stage INRAE.

* Les trois partenaires proposant le stage ne doivent pas appartenir à la même unité.

>Axes thématiques du GIS : <https://www.gis-fruits.org/groupe-thematiques>

>Partenaires du GIS : <https://www.gis-fruits.org/presentation-du-gis/membres-du-consortium>

Organismes partenaires : (1) INRAE (2) IFPC (3) (préciser)

Dont l'école membre du GIS le cas échéant : Institut Agro

Lieux du stage : IRHS INRAE Beaucouzé

Durée : 6 mois

Dates : Janvier-Juin ou Mars-Août

Niveau : Stage de fin d'études BAC + 5 (Option Ingénieur, ou Master 2)

Profil du stage : Recherche appliquée

INTITULE DU STAGE : Déterminisme génétique de la résistance du pommier à cidre face à *Erwinia Amylovora* et rôle du métabolisme spécialisé

Contexte et problématique : Le feu bactérien est causé par la bactérie nécrogène *Erwinia amylovora* (*Ea*) et touche la famille des Rosaceae dont le pommier. Dans le cas de variétés très sensibles, la maladie entraîne la mort de l'arbre et peu de méthodes de lutte en verger sont actuellement disponibles. Les cultivars utilisés actuellement sont tous sensibles à cette maladie et les quelques résistances connues proviennent principalement d'espèces apparentées sauvages. Il est donc **essentiel d'explorer la diversité afin de proposer de nouvelles sources de résistance pour la sélection variétale**. Cet objectif est notamment nécessaire pour **les variétés à cidre qui portent peu de résistance face à *Ea* et dont les vergers sont généralement bas intrants**. Au sein de l'équipe, nous étudions à la fois les résistances totales et partielles (pour revue voir Emeriewen et al. 2019) tout en proposant d'élucider les mécanismes moléculaires sous-jacents à l'aide la métabolomique.

A ce jour, quelques études se sont intéressées aux **voies métaboliques induites dans la résistance à *Ea***. Celles-ci ont mis en évidence la voie des **biphényles** (Chizzali et al. 2012a) et ont montré l'induction dans les feuilles et les tiges infectées, des gènes de la voie de biosynthèse des biphényles (Chizzali et al. 2012a). Ces composés n'ont cependant été détectés que dans la zone de transition entre la portion nécrosée et la portion saine de la tige, avec comme hypothèse un rôle de ces molécules dans l'arrêt de la progression de la bactérie (Chizzali et al. 2012b). Enfin, les premières analyses menées au laboratoire suggèrent l'existence de différences quantitatives et qualitatives au sein de cette voie entre les géotypes sensibles et résistants.

Objectifs généraux du stage / Résultats attendus : Connaître les déterminants génétiques et la diversité des composés métaboliques impliqués dans la résistance au feu bactérien reste un défi méthodologique et scientifique que ce stage de master propose d'aborder par (1) **l'identification de Quantitative Trait Loci (ou QTL) par une approche GWAS** sur un panel de diversité de plus de 300 variétés **incluant une large proportion de variétés à cidre (120 accessions choisies en collaboration avec l'IFPC pour leurs phénotypes contrastés en réponse à diverses maladies du verger (données acquises)**, (2) **des cartographies plus fines de QTL sur des populations issues de croisements avec des variétés à cidre**

et anciennes (données acquises + suivi expérimental et phénotypage en serre), et enfin (3) un **métabotypage ciblé sur les biphényles** au sein d'un sous-set de 20 génotypes (dont 10 de variétés à cidre) choisis pour leur variabilité de réponse au feu bactérien.

Ces données permettront ainsi **d'identifier de nouvelles sources de résistance à la maladie au sein du pool des variétés à cidre et de préciser la position des régions causales le long du génome. A terme ces résultats alimenteront directement les schémas de sélection variétale à l'IFPC. En parallèle, la recherche des déterminants moléculaires et biochimique de la résistance à *Ea* incrémente nos connaissances fondamentales sur les mécanismes de l'immunité mais apportent également des informations sur la construction d'idéotypes pour des vergers durables (Delmotte et al. 2016).**

Publications de l'équipe d'accueil et/ou relative au sujet (et/ou au projet dans lequel s'insère le stage) :

Publications pertinentes du laboratoire :

Bénéjam et al. (2021) ASM and resistance QTLs complement each other to control apple scab and fire blight. Plant Disease (on line) <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-20-1439-RE>

Lassois et al. (2016) Genetic diversity, population structure, parentage analysis, and construction of core collections in the French apple germplasm based on SSR markers. Plant Molecular Biology Reporter 34, 827–844. <https://doi.org/10.1007/s11105-015-0966-7>

Urrestarazu, Denancé et al. (2016). Analysis of the genetic diversity and structure across a wide range of germplasm reveals prominent gene flow in apple at the European level. BMC Plant Biol 16, 130 <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0818-0>

Autres publications citées :

Chizzali et al. (2012a). Differential expression of biphenyl synthase gene family members in fire-blight-infected apple 'Holsteiner Cox'. Plant Physiol 158, 864–875.

Chizzali et al. (2012b) Formation of biphenyl and dibenzofuran phytoalexins in the transition zones of fire blight-infected stems of *Malus domestica* cv. 'Holsteiner Cox' and *Pyrus communis* cv. 'Conference'. Phytochem, 77, 179–185.

Delmotte et al. (2016). Combining Selective Pressures to Enhance the Durability of Disease Resistance Genes. Frontiers in Plant Science, vol. 7, 2016, doi: 10.3389/fpls.2016.01916.

Emeriewen et al. (2019). *Malus* Hosts–*Erwinia amylovora* Interactions: Strain Pathogenicity and Resistance Mechanisms, Frontiers in Plant Science, vol. 10, doi: 10.3389/fpls.2019.00551.

ACTIVITES DOMINANTES CONFIEES AU STAGIAIRE :

- **Génétique quantitative : Analyses GWAS** sur 300 variétés (dont 120 variétés à cidre), données de génotypage acquises et phénotypage réalisé en 2024 (+ ajout de données collectées lors de précédentes études). **Construction de cartes génétiques et détection de QTL** par analyses conjointes de notes de symptômes et de génotypage SNP acquis sur plusieurs descendance F1. Les données phénotypiques pour les descendance F1 (croisement entre deux génotypes 'TN10-8' * 'Fiesta') seront à acquérir sur 119 individus recombinants dans la région du QTL de résistance au feu bactérien 'qF7'. Une autre descendance de 164 individus issus du croisement entre un cultivar et un pommier sauvage ('Idared' * *Malus baccata* Almey) sera également à phénotyper.
- **Expérimentation en serre** : Les individus des descendance et les 20 génotypes présentant des niveaux de résistance contrastés seront greffés en serre (~8 copies par génotype). Ces individus seront inoculés avec une souche d'*Ea*. Une quantification des symptômes de résistance/sensibilité au feu bactérien sera effectuée sur les copies greffées à J+7, J+14, J+21 et J+28 après inoculation.
- **Métabotypage ciblé** : Une vingtaine de génotypes seront sélectionnés, greffés (pour faire une trentaine de copies par génotype) et élevés en serre. Après inoculation par l'agent pathogène, différentes parties de la plante seront prélevées (feuilles, pétiole et tige). Pour chaque organe, des pools de 8 individus

par génotype (en triplicat) seront réalisés et serviront à l'extraction et la construction des profils métaboliques pour les biphényles par GC-MS (Plateforme SONAS, UA Angers).

PROFIL REQUIS :

- Dernière année de Formation Supérieure BAC + 5
- Connaissances : Santé des Plantes et Génétique ou physiologie végétale
- Compétences opérationnelles : Expérimentation en Biologie Végétale, Analyses Statistiques (scripts R)
- Langues : Français
- Permis de conduire (le cas échéant) : Pas nécessaire

INDEMNISATION (SUR BUDGET INRAE-GIS FRUITS) :

Selon la réglementation en vigueur pour 2025 (environ 650 €/mois)

AVANTAGES PROPOSES (le cas échéant) :

- restauration : Restaurant d'entreprise sur site et subvention salariale
- déplacements : Prise en charge de 50% du forfait mobilité

CONTACT MAITRE DE STAGE INRAE :

(1) Maître de stage INRAE (obligatoire)

Nom et fonction du responsable à contacter : Julie Ferreira de Carvalho (Chargée de Recherche)

Adresse : 42 rue Georges Morel, 49041 Beaucouzé cedex 01 - France

Tél. : +33 2 41 22 57 88

Site web (équipe et/ou projet) : <https://www6.angers-nantes.inrae.fr/irhs/Recherche/Resistance-du-pommier-et-du-poirier-aux-bioagresseurs>

Mail : julie.ferreira-de-carvalho@inrae.fr