

Offre de thèse CIFRE 2025 d'Invenio Solutions

Développer des stratégies de sélection pour une meilleure adaptation des fraisiers remontants : influence des besoins en froid sur la dynamique de rendement



Entreprise d'accueil

Invenio Solutions
211 chemin des 3 chênes, 24140 Douville
<https://www.invenio-fl.fr/solutions>

Laboratoire d'accueil

UMR 1332 "Biologie du Fruit et Pathologie"
INRAE de Bordeaux, bâtiment A4, 71 avenue Edouard Bourlaux, 33140 Villenave d'Ornon
<https://bfp.bordeaux-aquitaine.hub.inrae.fr>

Descriptif de la thématique de recherche

Le **fraisier cultivé** (*Fragaria x ananassa*) est une plante herbacée pérenne à multiplication végétative, produisant un fruit, à haute valeur ajoutée, apprécié des consommateurs pour ses qualités organoleptiques et nutritionnelles (minéraux, vitamine C, antioxydants, etc.) (Giampieri et al., 2014). En France, la consommation annuelle de fraises atteint 120 000 tonnes, soit environ 2,8 kg par ménage (source Chambre d'agriculture France, 2024). Cependant, plus de la moitié des fruits consommés est encore importée aujourd'hui, ce qui souligne l'enjeu stratégique d'une production nationale plus compétitive.

Dans un contexte de changement climatique (+1,5°C d'ici 2030) (rapport GIEC, 2023), la production de fraises sera profondément impactée dans les années à venir. Il devient urgent d'anticiper ces évolutions pour adapter les systèmes de production et développer de nouvelles variétés mieux adaptées aux aléas climatiques. Le fraisier, cultivé dans des régions géographiques et des systèmes de culture variés (plein champ, sous abri, hors-sol, en serre chauffée ou non) présente une forte **plasticité phénotypique** (Prohaska et al., 2024), laissant entrevoir un potentiel d'adaptation important.

Le fraisier cultivé est issu d'un croisement interspécifique entre deux espèces octoploïdes sauvages américaines (Song et al., 2024). Le fraisier présente deux types variétaux en fonction du mode de floraison : les génotypes 'non remontants' (ou 'de saison') avec une floraison unique au printemps et les génotypes 'remontants' avec une floraison continue tout au long de la saison de production. Les **enjeux de sélection** du fraisier sont multiples et différent suivant le créneau et le lieu de production. En France, les producteurs expriment aujourd'hui une forte demande pour des variétés remontantes qui permettent une production étalée. Un programme de sélection efficace doit répondre à plusieurs défis majeurs :

- sélectionner des variétés répondant aux exigences des producteurs : une production stable, nécessitant moins d'intrants et à rendement satisfaisant ;
- sélectionner des variétés répondant aux exigences du consommateur : qualités du fruit, notamment gustative ;
- sélectionner des variétés adaptées aux climats futurs et à leurs aléas.

Invenio, station de recherche appliquée et d'expérimentation des fruits & légumes en Nouvelle-Aquitaine, est le seul centre de création variétale Fraise piloté par les producteurs français. Depuis plus de 40 ans, avec le Ciréf puis aujourd'hui Invenio, plusieurs dizaines de variétés phares de la production française y ont été créées, comme Charlotte, Cirafine, Ciflorette, Manon des Fraises ou Chloé.

Afin de répondre aux différents défis et enjeux de sélection et de développer des outils de sélection efficaces pour moderniser et accélérer la création variétale, il est nécessaire de comprendre l'**architecture génétique** et les **mécanismes moléculaires** impliqués dans la régulation et la plasticité des principaux caractères agronomiques du fraisier cultivé. Ces dernières années, des travaux menés conjointement par le laboratoire INRAE BFP et l'entreprise Invenio Solutions, ont permis d'acquérir des connaissances sur le déterminisme génétique de caractères d'intérêt, tels que la remontée florale (Perrotte et al., 2016), la qualité du fruit (Prohaska et al., 2024 ; Denoyes et al., 2023) ou encore la résistance à l'oïdium (Prohaska, Rey-Serra, Bénéjam et al., *in prep*) via différentes approches. Cependant, des traits majeurs et leurs réponses aux fluctuations de l'environnement, notamment le caractère complexe de la dynamique de rendement, restent encore insuffisamment explorés. Chez les fraisiers remontants, la dynamique de rendement - quantité et rythme de production tout au long de la saison - est un critère essentiel, directement influencé par les conditions climatiques tout au long de la vie du plant. Les évolutions climatiques pourront, par exemple, réduire l'accumulation de froid des plants pendant leur phase d'élevage en pépinière, provoquant des **besoins en froid** non satisfaits et par conséquent un déséquilibre entre le potentiel végétatif et floral. Ces effets, appelés à s'intensifier, menacent la production de certaines variétés commerciales dans le système de culture actuel. Il devient essentiel d'être capable, en début de sélection, de cibler des génotypes pour lesquels les réponses à l'environnement seront adaptées aux conditions de culture futures.

La modernisation du programme de sélection du fraisier passe par le développement de nouveaux outils de sélection, tels que la **sélection assistée par marqueurs** (SAM) et la **sélection génomique**, qui permettent d'accélérer le processus de création variétale. Invenio Solutions en collaboration avec INRAE BFP explorent déjà ces approches prometteuses et souhaitent, à travers cette thèse CIFRE, les intégrer plus largement dans son programme de sélection.

Objectif de la thèse

L'objectif de la thèse est d'identifier les déterminants génétiques de la dynamique de rendement chez les fraisiers remontants en lien avec les besoins en froid et de développer des outils génomiques (SAM, sélection génomique) pour intégrer efficacement ces connaissances dans un programme de sélection appliquée. La thèse se déroulera dans le cadre d'un contrat CIFRE entre une entreprise privée, Invenio Solutions (Dr J. Perrotte), et le laboratoire UMR 1332 "Biologie du Fruit et Pathologie" (BFP) d'INRAE de Bordeaux (Dr A. Gaston). Cette dimension CIFRE de la thèse confère un objectif opérationnel à cette dernière, à savoir fournir des outils d'appui à la sélection variétale Fraise à l'entreprise.

Ce projet de thèse est organisé autour de **trois questions scientifiques** :

- 1- Comment définir, identifier et caractériser le déterminisme génétique de la dynamique de rendement du fraisier cultivé selon différents besoins en froid ?
- 2- Peut-on modéliser la plasticité de caractères agronomiques en fonction des besoins en froid et développer des approches prédictives à partir de données génomiques ?
- 3- Quels sont les avantages et les limites de la sélection génomique dans un programme de sélection de fraisiers remontants ?

Pour répondre aux questions scientifiques, la thèse se déroulera autour de **trois actions** :

- **Action 1.** Étudier l'architecture génétique de la réponse à des conditions d'heures de froid au sein de la collection de ressources génétiques d'Invenio par une approche de génétique d'association (GWAS) et identifier des outils statistiques pour modéliser la plasticité de cette réponse.
Cette action inclut l'évaluation de la dynamique de rendement au cours de la saison dans des conditions de production contrastées (nombre d'heures de froid élevé, moyen ou faible) et l'analyse des données acquises par différentes approches statistiques pour mettre en évidence la variabilité et l'impact des besoins en froid.
- **Action 2.** Développer des approches prédictives pour anticiper le comportement (agronomique et adaptatif) de nouvelles variétés à partir de données génomiques.
Cette action inclut l'évaluation de modèles de prédiction par validation croisée pour la prédiction de caractères agronomiques et de la composante d'interaction entre le génotype et l'environnement.
- **Action 3.** Intégration de la sélection génomique dans un programme de sélection de fraisier remontant : définir des indicateurs de suivi et comparer les approches avec le programme de sélection mené par le sélectionneur d'Invenio, basé sur des évaluations phénotypiques.
La sélection génomique sera intégrée à plusieurs niveaux du programme. Cette action inclut le génotypage et le phénotypage des hybrides durant les étapes du programme, le déploiement de modèles multi-traits de sélection génomique pour le choix des hybrides et le suivi d'indicateurs de performance.

Les **méthodes** utilisées seront :

- **Génotypage** par l'utilisation de puces SNP Affymetrix® et de données de séquençage ;
- **Phénotypage** : pour la dynamique de rendement et les caractères agronomiques, les observations seront réalisées in situ (en serre de production à Douville) ;
- **Analyses statistiques** exploratoires des données phénotypiques, GWAS, prédiction génomique, simulation de croisements (à INRAE) ;
- **Modélisation** des normes de réaction pour caractériser la plasticité de réponse à l'environnement de génotypes issus d'une collection.

Valorisation et encadrement

Les travaux de recherche seront valorisés sous forme de publications scientifiques et communications dans des congrès nationaux/internationaux et sous forme de présentations vulgarisées auprès des producteurs et partenaires techniques d'Invenio. Ces travaux serviront à établir les nouvelles stratégies de sélection à Invenio.

Le-a doctorant-e participera à des séminaires et réunions de réseaux nationaux autour des thématiques abordées pendant sa thèse (réseau R2D2 INRAE, réseau ENVIE-Multistress INRAE, groupes de travail techniques, vitrine variétale d'Invenio Solutions...). Le-a doctorant-e profitera également du réseau européen bien établi des structures d'accueil et pourra également être amené-e à rendre visite à des sélectionneurs étrangers.

L'encadrement du-de la doctorant-e sera réalisé au sein du laboratoire d'accueil par Amélia Gaston (directrice de thèse) et Juliette Bénéjam (co-encadrante) et au sein de l'entreprise par Justine Perrotte (encadrante entreprise). Cette thèse aura un cadre collaboratif entre INRAE BFP et l'équipe Innovation Variétale Fraise

d'Invenio Solutions. L'avancement des recherches sera réalisé en Dordogne (Invenio Solutions) pour le suivi du matériel végétal (environ 50% du temps) et en Gironde (INRAE Villenave d'Ornon) pour les analyses (environ 50% du temps). Deux comités de suivi de thèse auront lieu au cours de la thèse.

Dernières publications du laboratoire/entreprise d'accueil sur la thématique

Prohaska A., Rey-Serra P., Bénéjam J., Petit A., Perrotte J., Denoyes B. Exploiting the genetic diversity of cultivated strawberry for powdery mildew resistance. *In preparation*.

Bernard A., Bénéjam J., Roth M., Lheureux F., Dirlwanger E. 2025. Genomic prediction in Persian walnut: Optimization levers according to genetic architecture of complex traits. *The Plant Genome*, 18, e70047. <https://doi.org/10.1002/tpg2.70047>.

Ziegler F. MR, Gaston A., Guy K., Devers M., Krüger E., Brauksiepe B., Eimert K., Osorio S., Denoyes B., Usadel B. 2025. Molecular mechanisms underlying the early steps of floral initiation in seasonal flowering genotypes of cultivated strawberry. *bioRxiv* 2025.01.20.633581. <https://doi.org/10.1101/2025.01.20.633581>.

Prohaska A., Rey-Serra P., Petit J., Petit A., Perrotte J., Rothan C., Denoyes B. 2024. Exploration of a European-centered strawberry diversity panel provides markers and candidate genes for the control of fruit quality traits. *Horticulture Research*, 11 (7), uhae137. <https://doi.org/10.1093/hr/uhae137>.

Prohaska A., Petit A., Lesemann S., Rey-Serra P., Mazzoni L., Masny A., Sánchez-Sevilla J. F., Potier A., Gaston A., Klamkowski K., Rothan C., Mezzetti B., Amaya I., Olbricht K., Denoyes B. 2024. Strawberry phenotypic plasticity in flowering time is driven by interaction between genetic loci and temperature. *Journal of Experimental Botany*, 75 (18): 5923-5939. <https://doi.org/10.1093/jxb/erae279>.

Labadie M., Guy K., Demené M.-N., Caraglio Y., Heidsieck G., Gaston A., Rothan C., Guédon Y., Pradal C., Denoyes B. 2023. Spatio-temporal analysis of strawberry architecture: insights into the control of branching and inflorescence complexity. *Journal of Experimental Botany*, 74 (12): 3595–3612. <https://doi.org/10.1093/jxb/erad097>.

Conditions de travail

À partir du 01/12/25, pour une durée de trois ans.

CDD de la durée de la thèse, durée légale du travail, conditions salariales fixées par le ministère, possibilité de logement sur le site d'Invenio (24) et de restauration collective sur le site d'INRAE (33).

Profil souhaité du candidat

Formation : titulaire d'un Master 2.

Connaissances scientifiques et techniques : solides connaissances en génétique quantitative, statistiques et méthodologie de sélection, de bonnes bases en bioinformatique, agronomie. Des connaissances en physiologie et sur le modèle du fraisier sont un plus. L'anglais parlé et écrit est requis.

Plus généralement : permis de conduire B, capacité à s'intégrer dans une équipe et à travailler en collaboration à la fois au sein d'une entreprise et d'un laboratoire de recherche ; curiosité/goût pour le travail de terrain, l'observation du végétal et l'analyse de données ; organisation et esprit de synthèse ; compréhension des enjeux et des attentes techniques et économiques d'une filière.

Modalités de dépôt de candidature

Pour postuler à cette thèse CIFRE, envoyer par e-mail un CV, une lettre de motivation, le relevé de notes du Master 2 et les coordonnées d'au moins un référent à **Justine Perrotte** (j.perrotte@invenio-fl.fr) **avant le 27/06/25**. L'entretien aura lieu début juillet à l'UMR 1332 à Villenave d'Ornon (33).