



# Faits 2021 marquants





## Edito

Vous trouverez dans ce document l'ensemble des faits marquants de la SFR QuaSaV (Qualité et Santé du Végétal) pour l'année 2021. Il s'agit de la dernière année du 3<sup>ème</sup> contrat avec la défense du bilan et du nouveau projet de la SFR devant l'HCERES. La SFR QuaSaV joue un rôle fédérateur important sur les thématiques du végétal en région ligérienne. Les missions de la SFR peuvent se décliner ainsi :

- Le soutien et le développement des sciences du végétal spécialisé par la mutualisation des moyens à travers le soutien à des plateaux mutualisés et des plateformes et l'incitation au développement de partenariats scientifiques et de partenariats d'application (en lien notamment avec Végépolys-Valley et les instituts techniques),
- L'organisation de l'animation scientifique autour de trois axes fédérateurs : i) Gestion durable de la santé des plantes, ii) Biologie, Qualité et Santé des Semences, et iii) Qualité et valorisation des productions végétales spécialisées.
- La participation aux instances de la politique scientifique locale, régionale et interrégionale afin de maintenir ou renforcer la cohésion et l'attractivité du pôle végétal.

L'année 2021 aura été comme 2020 marquée par la crise sanitaire qui aura impacté fortement nos collectifs. Toutefois malgré ce contexte, la SFR a continué à avoir des animations scientifiques, sous de nouvelles formes (comme les Webinaires) ou plus classiques (comme la journée des doctorants). Cette année aura été riche en soutenance de thèses avec 23 doctorant.es qui sont devenu.es docteurs (Bravo à tou.tes). Huit nouveaux doctorant.es ont été accueilli.es, dont deux dans le cadre de thèse CIFRE. De plus, les laboratoires de la SFR ont accueilli 10 post-doctorant.es. 131 articles ont été publiés dans des revues à comité de lecture. 53 projets ont été déposés en 2021 avec 18 projets retenus, 19 non retenus et 16 toujours en attente de réponse. L'année 2021 aura vu aussi le lancement de 3 projets PPR « Cultiver et Protéger Autrement » auxquels les unités / équipes de la SFR participent : projets SUCSEED (coordonné par l'IRHS), CAPOPHYTO et SPECIFICS.

Cette année 2021 aura également vu le financement de 3 projets CPER (IMAX Veg, PHIMO-FLUX et Immobilier) qui vont permettre de continuer le développement des plateaux et plateformes de la SFR avec des investissements importants à venir pour PHENOTIC, IMAC ou ANAN. Les travaux immobiliers permettront aussi un rapprochement entre la recherche et la formation. Le développement technologique va continuer avec la mise en place d'une nouvelle Plateforme Ligérienne d'Isotopie, à laquelle participe l'IRHS. De même le projet HiMic permettra le développement de la culturomique. Ces deux derniers projets ont été financés dans le cadre du soutien de la Région Pays de la Loire aux infrastructures de recherches. La plateforme PHENOTIC a également été labélisée ISC par l'INRAE. L'année 2021 aura également été marquée par un renforcement du partenariat entre l'Université d'Angers et l'INRAE par la signature d'une convention d'objectifs et de moyens entre les deux

organismes. L'objectif de cette convention est de renforcer le partenariat sur la recherche, la formation et l'innovation sur la thématique du végétal.

La nouvelle équipe de direction tenait à remercier chaleureusement Marie-Agnès Jacques et Thomas Guillemette (Directrice et Directeur Adjoint de la SFR respectivement lors de ce contrat) pour leur action à la tête de la SFR durant les 5 dernières années. Ils nous laissent aujourd'hui une SFR dynamique, reconnue et pleine de succès comme le montre ce livret des faits marquants. Nous vous souhaitons une bonne lecture de ce document qui reflète du dynamisme et de l'implication des membres de la SFR Quasav.

Fabrice Foucher Directeur de recherche INRAE, Directeur de la SFR

Valérie Raymond, Professeure de l'Université d'Angers, Directrice adjointe de la SFR

Pascal Poupard, Maître de conférences de l'Université d'Angers, Directeur adjoint de la SFR



## Sommaire

### AXES SCIENTIFIQUES FEDERATEURS

<b>AXE 1 « Gestion Durable de la Santé des Plantes »</b>	<b>6</b>
Faits marquants	7
Rayonnement scientifique	11

<b>AXE 2 « Biologie, Qualité et Santé des Semences »</b>	<b>12</b>
Faits marquants	13
Rayonnement scientifique	19

<b>AXE 3 « Qualités et valorisation des productions végétales spécialisées »</b>	<b>21</b>
Faits marquants	22
Rayonnement scientifique	27

### **MOYENS TECHNIQUES MUTUALISÉS** **30**

ANAN - Analyses des Acides Nucléiques	31
COMIC - Collections de micro-organismes	33
IMAC - Microscopie et Imagerie Cellulaire	35
PHENOTIC - Phénotypage des Semences et des Plantes	40
PHYTO - Analyses Phytochimiques et Métabolites Secondaires	43
SENSOVEG - Analyse Sensorielle	45

### RUBRIQUES LIBRES 49

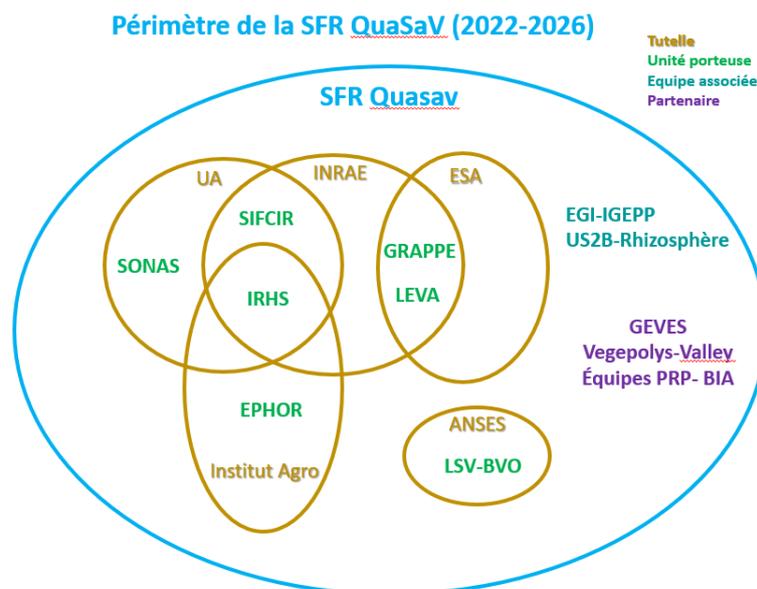
LSV-BVO	50
GEVES	52
GRAPPE	55
IRHS	56
LEVA	59
SIFCIR	60
SONAS	61
VEGEPOLYS	62

STRUCTURES DE LA SFR QUASAV	65
-----------------------------	----



## AXES SCIENTIFIQUES FEDERATEURS

Lors de ce nouveau contrat, les axes thématiques qui ont été définis précédemment en cohérence avec les projets développés par les équipes de recherche et qui permettent de fédérer l'ensemble des recherches conduites localement seront poursuivis. Les thématiques (voir la déclinaison en 3 axes) contribuent au développement d'une production durable du végétal spécialisé. De plus, la SFR QuaSaV contribuera à soutenir l'émergence de nouvelles thématiques structurantes et identifiantes en lien avec les axes définis. Le périmètre de la SFR a évolué et est présenté dans la figure ci-dessous. L'UE Horti a quitté la SFR. Le LBVP (Nantes Université) s'est réorganisé et est devenu une équipe (Rhizosphère) d'une nouvelle UMR sur Nantes (Unité en Sciences Biologiques et Biotechnologique US2B, Nantes Université, CNRS).



### *Axe 1 : Gestion durable de la santé des plantes*

Les travaux conduits dans cet axe visent à optimiser le développement des plantes dans un environnement contraint (stress biotiques et abiotiques) en prenant en compte à la fois l'état sanitaire et l'état physiologique des plantes. Cet axe s'appuie sur les expertises des chercheurs de l'IRHS (équipes QUARVEG, ECOFUN, EMERSYS, FUNGISEM, GDO, STREMH0 et RESPOM), du SiFCIR, de l'US2B, du SONAS, du LEVA, du BVO (LSV-ANSES) et de l'équipe EGI de l'IGEPP. L'émergence de projets autour du développement de méthodes alternatives aux intrants chimiques (bio-contrôle, biostimulation, priming, pratiques culturales innovantes, agro-écologie) est structurante pour cet axe.

### *Axe 2 : Biologie, Qualité et Santé des Semences*

La semence est un identifiant fort des travaux de recherche conduits au sein de la SFR. Ces travaux sont menés en interaction étroite avec les partenaires locaux, que ce soient des structures d'expertises telles que le GEVES et la FNAMS, ou des entreprises semencières. Cet axe s'appuie sur les expertises des chercheurs de l'IRHS (équipes SMS, QUARVEG, SEEDS, EMERSYS, FUNGISEM), de l'US2B et du LEVA. La thématique structurante sera la compréhension des interactions graines / microbiotes / environnement afin d'améliorer la vigueur des semences

### *Axe 3 : Qualités et valorisation des productions végétales spécialisées*

Les travaux très fortement transdisciplinaires et multi-échelles conduits dans cet axe visent à caractériser et améliorer les qualités esthétique, organoleptique et nutritionnelle des végétaux. Cet axe s'appuie sur les expertises des chercheurs de l'IRHS-STRAGENE, QUARVEG, QUALIPOM (ex-équipes FRUITQUAL-VADIPOM), GDO, du SONAS, du GRAPPE-ESA et l'unité EPHor. De plus, cet axe contribue au développement de la thématique du végétal en milieu urbain et plus particulièrement à la production de plantes adaptées à l'environnement urbain.

Il est à noter qu'une thématique liée à la caractérisation et la valorisation de la biodiversité végétale ou microbienne peut être considérée comme transversale et incluse dans l'ensemble de ces axes.



## Axe 1 - Gestion durable de la santé des plantes

Animateurs:  
Alexandre Degrave (IRHS-équipe RESPOM)  
et Bruno Le Cam (IRHS-équipe ECOFUN)





## Faits marquants

### Axe 1 - Gestion durable de la santé des plantes

La crise sanitaire a fortement impacté la vie scientifique collective de la SFR, les journées d'animation scientifique en présentiel n'ont pu avoir lieu.

Nous recensons ici des faits marquants qui s'inscrivent bien dans la thématique de cet axe qui vise à comprendre comment plantes et bioagresseurs interagissent lors de l'infection. Un des objectifs des chercheurs est de s'inspirer des mécanismes impliqués pour être capable, à terme, d'amplifier l'immunité de la plante ou d'affaiblir les bioagresseurs. Deux faits marquants portent précisément sur l'identification de ces mécanismes, l'un relate les moyens développés par les champignons nécrotrophes pour s'adapter aux défenses développées par les crucifères ; l'autre identifie une protéine fortement activée chez le

pommier par un stimulateur de défense des plantes qui pourrait être un acteur important dans la protection du pommier contre le feu bactérien. Un troisième fait marquant traitant de la graisse commune du haricot souligne concrètement comment les installations de phénotypage de la SFR vont permettre à la collectivité d'accélérer significativement les études des interactions hôtes-parasites.

A noter par ailleurs qu'en janvier 2022, le LBPV a fusionné avec l'Unité Fonctionnalité et Ingénierie des Protéines (UFIP UMR CNRS 6286) pour devenir l'équipe 4 Rhizoplante - Interactions Plante-Plante et Signaux Rhizosphériques de la nouvelle Unité en Sciences Biologiques et Biotechnologies (US2B, UMR CNRS 6286-Nantes, <https://us2b.univ-nantes.fr/>).



## Faits marquants

### Axe 1 - Gestion durable de la santé des plantes

RESPOM, IRHS

**L'amaranthine du pommier, une lectine capable d'agglutiner *Erwinia amylovora* en se liant aux polysaccharides de surface bactériens**

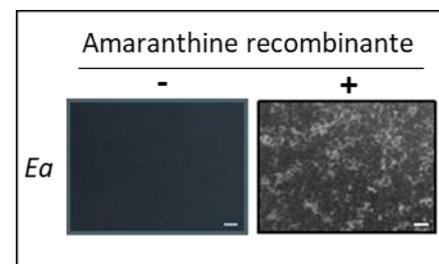
Le feu bactérien des pommiers et poiriers, provoqué par *Erwinia amylovora*, est une bactériose d'incidence mondiale qui peut engendrer d'importants dégâts en vergers. La panoplie des moyens de lutte permettant de prévenir les épidémies de feu bactérien étant limitée, il serait très utile de comprendre les mécanismes de l'immunité végétale qui permettent au pommier de se défendre par lui-même, pour à terme développer des variétés moins sensibles ou être en mesure d'activer cette immunité par l'application de stimulateurs de défense des plantes (SDP).

Une analyse transcriptomique par microarray nous a permis d'identifier les gènes modulés en réponse à l'application d'acibenzolar S-méthyl (ASM), un SDP modèle utilisé au laboratoire pour augmenter le niveau de résistance du pommier au feu bactérien. Parmi les gènes les plus fortement induits par l'ASM, figurent plusieurs lectines de la famille des amaranthines, protéines connues pour avoir la capacité de s'associer à des composés glycosylés mais dont la fonction reste peu explorée chez les végétaux (Warneys et al., 2018). Nous avons pu ensuite démontrer que les gènes codant ces lectines sont d'excellents marqueurs de la résistance au feu bactérien puisque leur expression et l'accumulation des protéines correspondantes sont systématiquement corrélées avec le niveau de résistance des pommiers (Chavonet et al., 2021).

A l'aide d'une lectine recombinante, nous avons mis en évidence *in vitro* que dans des conditions électrochimiques comparables à celles mesurées *in planta*, les amaranthines sont capables de s'associer aux lipopolysaccharides de surface d'*E. amylovora* ainsi qu'à sa capsule formée d'exo polysaccharides, provoquant ainsi l'agglutination des corps bactériens. Par contre, la bactérie peut, dans certaines conditions très nutritives, prévenir cette agglutination en

sécrétant d'importantes quantités d'exo polysaccharides diffus capables de « saturer » les lectines. Sous réserve d'être confirmés par des analyses *in planta*, ces résultats suggèrent que les amaranthines sont au centre d'un mécanisme de défense qui pourrait correspondre à celui d'immunoglobulines primitives dont le rôle serait d'agglutiner des corps étrangers reconnaissables par les polysaccharides de surface qu'ils arborent. Pour être pleinement efficaces, elles doivent être présentes dans les tissus avant infection pour ne pas laisser le temps à la bactérie de créer un milieu favorable à sa contre-attaque.

**Le + SFR :** Les observations menées pour caractériser le phénomène d'agglutination bactérien provoqué par les amaranthines ont été effectuées en collaboration avec le plateau IMAC de la SFR Quasav.



Observation à la loupe binoculaire (x80) d'aggrégats d'*E. amylovora* provoqués par l'amaranthine du pommier

Contact : Alexandre Degrave  
[alexandre.degrave@agrocampus-ouest.fr](mailto:alexandre.degrave@agrocampus-ouest.fr)

#### PARTENAIRES

Travaux menés dans l'équipe ResPom de l'IRHS en collaboration avec l'Université de Stockholm (Suède), l'institut Plant and Food Research d'Auckland (Nouvelle Zélande), avec l'appui de la plateforme IMAC et le soutien financier des projets 'Prometeus', 'Expirez' (RFI Objectif Végétal) et une bourse de thèse MESRI (E. Chavonet).

#### BIBLIOGRAPHIE

Warneys R, Gaucher M, Robert P, et al. (2018) Acibenzolar-S-Methyl reprograms apple transcriptome toward resistance to rosy apple aphid. *Front Plant Sci* 9:1795. doi: 10.3389/fpls.2018.01795.  
Chavonet E, Gaucher M, Warneys R, Bodelot A, Heintz C, Juillard A, Cournol R, Widmalm G, Bowen JK, Hamiaux C, Brisset MN, Degrave A. (2021) Search for host defense markers uncovers an apple agglutination factor corresponding with fire blight resistance. *The Plant Physiol*. doi: 10.1093/plphys/kiab542.



## Faits marquants

### Axe 1 - Gestion durable de la santé des plantes

FUNGISEM, IRHS

#### Comment les champignons phytopathogènes s'adaptent aux défenses des plantes

Dans un contexte international qui vise à la réduction des intrants dans les pratiques agricoles, l'équipe Fungisem de l'IRHS décortique les mécanismes de pathogénie de champignons phytopathogènes dans le but de proposer et développer de nouvelles méthodes de protection des cultures contre les maladies cryptogamiques. Elle focalise en particulier ses travaux sur *Alternaria brassicicola* qui s'attaque aux plantes de la famille des Brassicaceae.

Durant la colonisation de la plante hôte, ce champignon est exposé à divers composés de défense synthétisés par la plante, tels que la phytoalexine brassinine. Les champignons nécrotrophes, tels qu'*A. brassicicola* sont généralement capables de surmonter la toxicité des phytoalexines, ce qui les rend particulièrement redoutables. Cette étude apporte des éléments sur le mode d'action de la brassinine qui affecterait en priorité le fonctionnement des mitochondries fongiques. Des atteintes plus tardives touchent l'homéostasie des lipides et du réticulum endoplasmique. En conséquence, le mycète se protège contre ce type d'atteintes en particulier *via* l'activation de voies de signalisation, telles que la voie de l'osmorégulation, la voie de l'intégrité cellulaire et la voie UPR (Unfolded Protein Response).

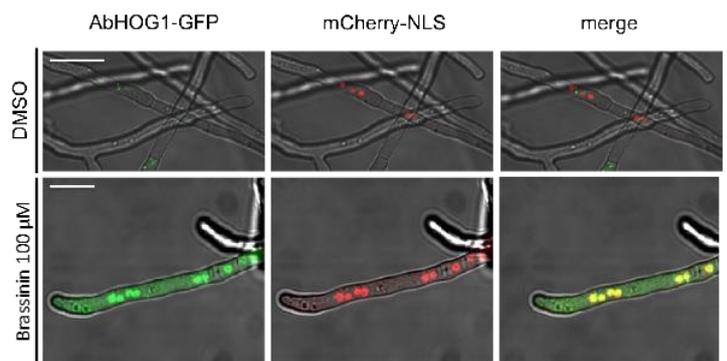
Dans l'optique du développement d'une stratégie de lutte contre ces agents pathogènes nécrotrophes, il apparaît donc judicieux de cibler spécifiquement ces voies de signalisation pour fragiliser les boucliers de protection mis en place contre les défenses des plantes.

Ces travaux ont permis d'initier la recherche de nouveaux produits en protection des cultures appelés « sensitines® » et ciblant spécifiquement ces voies d'adaptation des mycètes aux composés de défense. Ces nouveaux produits doivent avoir une action

synergique avec les stimulateurs de défense des plantes déjà sur le marché.

**Le + SFR :** Ces travaux ont bénéficié de l'expertise du plateau IMAC de la SFR QUASAV pour les analyses des mutants fongiques en microscopie confocale.

Contact : Thomas Guillemette, IRHS, [thomas.guillemette@univ-angers.fr](mailto:thomas.guillemette@univ-angers.fr)



Localisation de la protéine centrale de la voie de l'osmorégulation AbHOG1 dans les filaments fongiques exposés soit au DMSO (solvant témoin), soit à la brassinine pendant 20 minutes. La protéine ciblée est marquée à la GFP (signal vert) alors que les noyaux sont marqués par le mCherry (signal rouge). La superposition des signaux est présentée dans le dernier panneau à droite (merge). Auteur : équipe FungiSem sur le plateau IMAC.

#### PARTENAIRES

Cette étude a été menée par l'Unité IRHS (équipes FungiSem, SMS, BiDefi) en collaboration avec l'Unité Moltech Anjou de l'Université d'Angers et l'USAMV de Bucarest (Roumanie).

N'Guyen, G. Q., Raulo, R., Porquier, A., Iacomí, B., Pelletier, S., Renou, J. P., Bataillé-Simoneau, N., Campion, C., Hamon, B., Kwasiborski, A., Colou, J., Benamar, A., Hudhomme, P., Macherel, D., Simoneau, P., & Guillemette, T. (2021). Responses of the necrotrophic fungus *Alternaria brassicicola* to the indolic phytoalexin brassinin. *Frontiers in Plant Science*, 11, 611643. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.611643>



## Faits marquants

### Axe 1 - Gestion durable de la santé des plantes

EMERSYS, IRHS

**Améliorer le phénotypage de la graisse commune du haricot grâce au machine learning.**

La graisse commune du haricot est une bactériose d'incidence mondiale, causée par des bactéries du genre *Xanthomonas* capables de manipuler les cellules de leur hôte en y injectant des effecteurs Transcription Activator-Like (TAL).

L'objectif de cette étude était d'améliorer et d'accélérer la quantification des symptômes de graisse commune sur haricot, afin d'analyser la contribution de différents effecteurs TAL dans cette maladie.

Nous avons séquencé et phénotypé deux souches bactériennes et leurs mutants de délétion de gènes *tal* respectifs. Le passage d'une inoculation par trempage de trifoliées à une inoculation par frottis sur premières feuilles a permis d'améliorer la reproductibilité et le pouvoir discriminant du test, ainsi que d'utiliser des pots plus petits et de raccourcir le temps d'expérience de 4 à 3 semaines. Cela permet d'effectuer davantage d'expériences par an, avec plus de plantes par essai. De plus, la quantification des symptômes a été améliorée et automatisée grâce à l'utilisation du logiciel Ilastik (<https://www.ilastik.org/>) basé sur le machine learning.

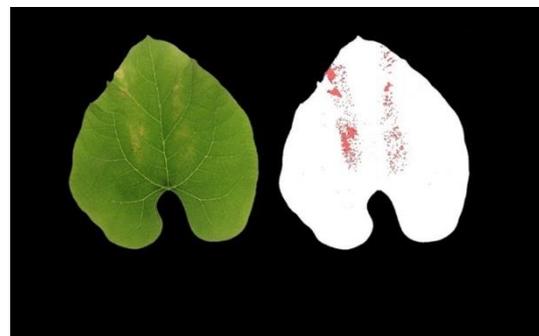
Au final, ce protocole permettra d'accélérer les études sur l'interaction *Xanthomonas*-haricot. En particulier, il permettra d'améliorer la caractérisation fonctionnelle des gènes impliqués, à la fois du pathogène et de la plante.

Ces travaux constituent une avancée importante pour la recherche sur la graisse commune, qui est un enjeu crucial pour la filière semencière puisque cette bactérie est transmise par les semences.

**Le + SFR** : L'ensemble des expériences de phénotypage a été réalisé sur la plateforme PHENOTIC de la SFR. La vérification de la qualité des ADNs génomiques de mutants d'effecteurs TAL a été réalisée sur le plateau ANAN avant séquençage PacBio. Les souches bactériennes sont préservées et mises à disposition par le CIRM-CFBP.

Contact :

[nicolas.chen@agrocampus-ouest.fr](mailto:nicolas.chen@agrocampus-ouest.fr)



Quantification de symptômes de graisse commune du haricot.

#### PARTENAIRES

Cette étude a été réalisée au sein de l'équipe EmerSys (IRHS), en partenariat avec la plateforme PHENOTIC de la SFR. Nous avons bénéficié de financements de l'ANR, INRAE-SPE, la région Pays de la Loire et Angers-Loire Métropole.

#### BIBLIOGRAPHIE

Foucher J., Ruh M., Briand M., Preveaux A., Barbazange F., Boureau T., Jacques M-A., Chen NWG. (2021) Improving Common Bacterial Blight Phenotyping by Using Rub Inoculation and Machine Learning: Cheaper, Better, Faster, Stronger. *Phytopathology* <https://doi.org/10.1094/PHYTO-04-21-0129-R>



## Rayonnement scientifique

### Axe 1 - Gestion durable de la santé des plantes

#### Revue et articles d'opinion

- Gaudio N., Violle C., Gendre X., Fort F., Mahmoud R., Pelzer E., Médiène S., Hauggaard-Nielsen H., Bedoussac L., Bonnet C., Corre-Hellou G., Couëdel A., Hinsinger P., Jensen E.S., Journet E.P., Justes E., Kammoun B, Litrico I., Moutier N., Naudin C., Casadebaig P. Interspecific interactions regulate plant reproductive allometry in cereal-legume intercropping systems. *Journal of Applied Ecology*. 2021 doi/abs/10.1111/1365-2664.13979.
- Chen NWG., Ruh M., Darrasse A., Foucher J., Briand M., Costa J., Studholme DJ., Jacques M-A. Common bacterial blight of bean : a model of seed transmission and pathological convergence. *Mol Plant Pathol*. 2021 ; 22: 1464–1480. <https://doi.org/10.1111/mpp.13067>

#### Organisation de colloques

Journées du réseau INRAe-SPE FNX (French Network on Xanthomonads, <https://www.reseau-xantho.org/>) du 22 au 24 novembre 2021 à Piriac-sur-mer (42 participants, dont 5 internationaux).

#### Perspectives : initiation de nouveaux projets

Les projets acceptés en 2021 portent sur deux thématiques clés de l'axe 1 de la SFR, l'identification de facteurs de résistance et mécanismes de pathogénicité ainsi que le développement du biocontrôle.

#### Mécanismes de pathogénicité et résistance

**STIGO** (2022-2025) : Contrôle de l'orobanche du tournesol (*Orobanche cumana*) : identification des stimulants de germination produits par l'hôte et de leurs récepteurs chez le parasite. ANR PRCE (750 k€). Equipe RHIZOPLANTE de US2B

**COBRA** (2022-2024) : Phénologie et déterminisme chimique des résistances à l'Orobanche rameuse chez *Brassica* (*napus*, *rapa* et *oleracea*). AAP PROMOSOL COLZA (176 k€) Equipe RHIZOPLANTE de US2B

**GERARD** (2021-2022.) Towards Genes for RosA Resistance to blackspot Disease. Projet Starter BAP, Equipe GDO de l'IRHS

#### Biocontrôle

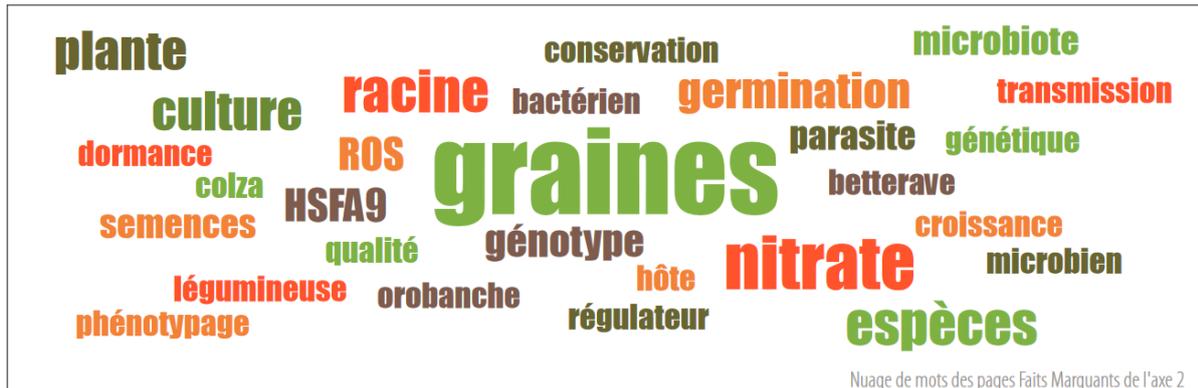
**ROBIO** (2021-2024) Vers une protection intégrée du ROSier contre les maladies foliaires fongiques : BIOcontrôle et résistance variétale » projet EcoPhyto équipe GDO de l'IRHS, en collaboration avec les équipes FUNGISEM, RESPOM, PHENOTIC de l'IRHS.

**ENFIN !** (2021-2024) Développement d'un nouveau concept en protection des plantes appliqué à la tavelure du pommier. ANR maturation EcoPhyto (450K€), Equipe ECOFUN et RESPOM de l'IRHS  
Développement des collaborations entre l'équipe FUNGISEM de l'IRHS et du SONAS avec la start-up Green impulse qui valorise la technologie des sensitines® brevetée par l'IRHS et le SONAS.



## Axe 2 - Qualité physiologique et sanitaire des semences

Animateurs:  
Matthieu Barret (IRHS-équipe EMERSYS)  
et Olivier Leprince (IRHS-équipe SEED)





## Faits marquants

### Axe 2 - Qualité physiologique et sanitaire des semences

SEED, IRHS

#### La méthylation de l'ADN et son rôle dans l'adaptabilité de la maturation de la graine aux stress température

Le développement des graines nécessite la coordination de plusieurs mécanismes tels que le remplissage des graines, l'acquisition de la capacité de germination, de la tolérance à la dessiccation, de la longévité et de la dormance. Le stress thermique a un impact négatif sur ces processus et altère la qualité germinative des semences produites sous températures supra-optimales.

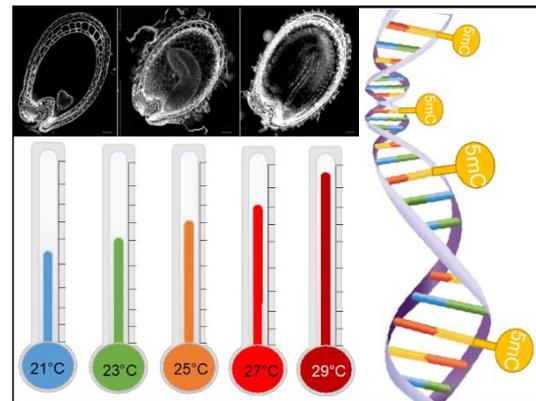
Dans cette étude, nous avons exploré l'impact du stress thermique modéré et fort sur la physiologie, la morphologie, l'expression des gènes et la méthylation des graines à trois étapes de maturation.

Nos résultats ont montré que les plantes d'*Arabidopsis* soumises à un stress thermique ont produit des graines avec une diminution de la capacité de germination, ainsi qu'une diminution de la longévité. Lors d'un stress température modéré (+2°C), l'expression des gènes et la méthylation de l'ADN étaient modérément affectées. Néanmoins, lors d'un stress thermique sévère (+4°C) lors du développement des graines, l'expression des gènes a été intensément modifiée, favorisant les mécanismes de réponse au stress thermique principalement par la voie de l'ABA et beaucoup de régions différenciellement méthylées (DMR) étaient localisées dans des gènes liés à la germination. En couplant les données de dynamique de transcriptomes et de méthylomes, nous avons identifié un gène central, ROS1, capable de déméthyle l'ADN. Une analyse fonctionnelle du mutant *ros1* a montré le rôle clef de ce gène dans l'adaptabilité de la qualité germinative lors de stress de température intense.

Pour conclure, nos résultats indiquent que la (dé)méthylation de l'ADN pourrait être un processus de régulation clé dans l'adaptabilité germinative des graines produites sous stress thermique.

**Le + SFR :** Cette étude est le fruit d'une collaboration avec les plateaux ANAN et IMAC de la SFR Quasav.

Contact : [jerome.verdier@inrae.fr](mailto:jerome.verdier@inrae.fr)

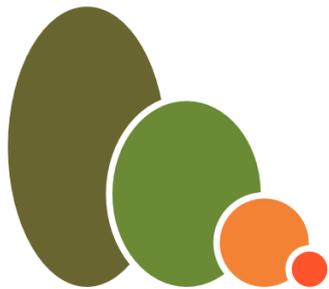


Résumé visuel de l'étude avec les 5 températures utilisées, les images de microscopies de la graine contenant un embryon à 3 stades de développement et un brin d'ADN montrant des cytosines méthylées.

PARTENAIRES ET FINANCEMENTS  
ANR JCJC Deswitch

#### PUBLICATION

Malabarba J., Windels D., Xu W., Verdier J. (2021). Regulation of DNA (de)methylation positively impacts seed germination during seed development under heat stress. *Genes*, 12 (3), <https://dx.doi.org/10.3390/genes12030457>, <https://hal.inrae.fr/hal-03184120>



## Faits marquants

### Axe 2 - Qualité physiologique et sanitaire des semences

SEED, IRHS

#### Le gène *MIEL1*, un régulateur de la plasticité germinative des graines produites en condition de stress température

Les graines de légumineuses sont une source importante de protéines, de minéraux et de vitamines pour l'alimentation humaine et animale et représentent une clé de voûte de la sécurité alimentaire. Avec le changement climatique et le réchauffement climatique, la production de légumineuses à grains fait face à de nouveaux défis concernant les caractères de vigueur des graines qui permettent l'implantation rapide et homogène de la culture dans une large gamme d'environnements. Ces caractères de performance des graines sont régulés au cours de la maturation des graines et sont sous la forte influence de l'environnement maternel.

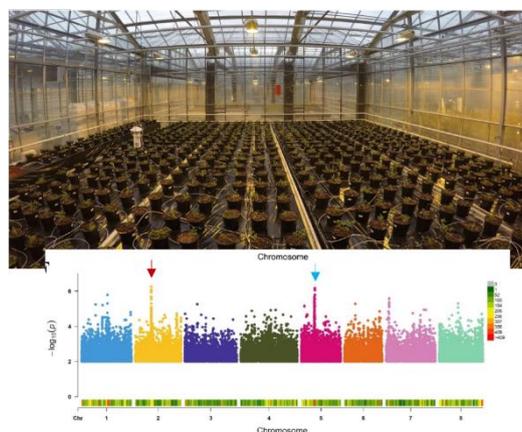
Dans cette étude, nous avons utilisé 200 accessions naturelles de *Medicago truncatula*, une espèce modèle de légumineuses cultivées dans des conditions optimales et sous un stress thermique modéré (26°C) pendant le développement et la maturation des graines. Ce stress modéré appliqué à partir de la floraison a eu un impact sur le poids et la capacité germinative des graines.

Des études d'association à l'échelle du génome (GWAS) ont été réalisées pour identifier les gènes impliqués dans la régulation des traits des graines et leur plasticité en réponse au stress thermique. Parmi eux, MtMIEL1, un facteur de transcription de type RING et présentant une activité d'ubiquitination, s'est avéré fortement associé à la vitesse de germination des graines soumises à un stress thermique. Nous avons

mis en évidence que *MtMIEL1* était négativement régulé au niveau transcriptionnel par le stress thermique et que son profil d'expression était associé à la vitesse de germination dans les différentes accessions de *Medicago* testées. Enfin, une analyse de perte de fonction de l'orthologue *Arabidopsis MIEL1* a révélé son rôle majeur de régulateur de la plasticité germinative des graines en réponse au stress thermique.

**Le + SFR :** Cette étude est le fruit d'une collaboration avec la plateforme de phénotypage PHENOTIC.

Contact : [jerome.verdier@inrae.fr](mailto:jerome.verdier@inrae.fr)



De la serre à l'analyse pangénomique. Dispositif expérimental montrant les 600 accessions de portes graines de *Medicago truncatula* et graphique issu de l'analyse GWAS sous forme de « Manhattan plot ». Il indique deux régions sur les chromosomes 2 et 5 (indiquées par des flèches) qui sont très statistiquement associées à l'adaptabilité de la vitesse de germination sous stress chaleur. Dans l'étude, nous démontrons que le gène MIEL1, présent dans le chromosome 2 sous la flèche rouge, est bien responsable de cette adaptabilité germinative.

#### FINANCEMENTS ET PARTENAIRES

RFI Objectif Végétal BASIS et bourse de thèse financée par le Chinese Scholar Council, Biogenouest.

#### Publication :

Chen Z., Ly Vu J., Ly Vu B., Buitink J., Leprince O., Verdier J. (2021). Genome-Wide Association Studies of Seed Performance Traits in Response to Heat Stress in *Medicago truncatula* Uncover MIEL1 as a Regulator of Seed Germination Plasticity. *Frontiers in Plant Science*, 12, 673072, <https://dx.doi.org/10.3389/fpls.2021.673072>, <https://hal.inrae.fr/hal-03251660>



## Faits marquants

### Axe 2 - Qualité physiologique et sanitaire des semences

#### LEVA

Prédire la durée de la floraison et la dynamique de développement de l'ombelle complexe du fenouil, un enjeu important pour la production semencière

En production semencière, les changements de pratiques ne doivent pas affecter la qualité germinative des semences. Or, la biologie de certaines espèces demeure encore peu connue, notamment du point de vue de la floraison et de l'acquisition de la maturité des semences.

Le partenariat de Bejo Productions avec le LEVA dans le cadre de la thèse de Céline Lefort a eu pour objectif d'améliorer les connaissances sur le fenouil, une production de semences exigeante, à haute valeur ajoutée.

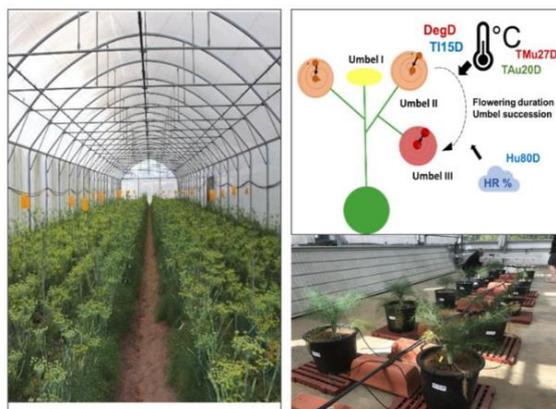
La floraison est une étape critique de la production de semences, qui dépend fortement des facteurs climatiques. Dans des cultures comme le fenouil, la complexité de la structure de l'ombelle et le manque de connaissances sur la dynamique de la floraison rendent difficile la prédiction de la durée de ce stade phénologique. Dans le contexte du changement climatique, un outil de prédiction fiable de la durée de la floraison du fenouil est nécessaire. Notre objectif était d'accroître les connaissances sur la dynamique de la floraison du fenouil et de proposer un modèle utilisable par les producteurs de semences. En 2018 et 2019, nous avons étudié le développement des ombelles secondaires et tertiaires pendant le stade de la floraison, chez des plantes de quatre génotypes différents, cultivées sous tunnel. Des modèles de régression linéaire multiple ont été utilisés pour sélectionner les équations les plus précises consistant en une ou plusieurs variables, comme prédicteurs de la durée de la floraison et de sa dynamique, à travers les ombelles secondaires et tertiaires.

Deux variables liées à la température, à savoir la somme des températures exprimée en degrés-jours

et le nombre de jours où la température est inférieure à 15°C, ont été identifiées comme des paramètres pertinents pour prédire la durée de floraison des ombelles secondaires et tertiaires. En outre, les équations et les prédicteurs précis identifiés pour modéliser les différences temporelles entre le début et la fin de la floraison des ombelles secondaires et tertiaires ont également mis en évidence l'importance du nombre de jours où l'amplitude thermique est supérieure à 20°C, du nombre de jours où la température moyenne est supérieure à 27°C et du nombre de jours où l'humidité relative est supérieure à 80%.

**Le + SFR :** La doctorante a bénéficié du plateau IMAC pour observer l'embryogenèse de la graine du fenouil.

Contact : Marie-Paule Raveneau – [mp.raveneau@groupe-esa.com](mailto:mp.raveneau@groupe-esa.com)



Cultures de fenouil sous tunnels chez Bejo Productions et dans la serre du LEVA. Facteurs influençant le développement des inflorescences de fenouil (nombre de degrés-jours, température et humidité).

PARTENAIRES ET FINANCEMENTS  
Bejo Production, France. Thèse CIFRE

#### PUBLICATION

Lefort C., Raveneau MP., Cannavacciuolo M., Guerry B., Fustec J. 2021. Predictors for assessing the flowering duration and dynamics of the complex umbellate of fennel in seed production. *Annals of Applied Biology*, doi: 10.1111/aab.12685



## Faits marquants

### Axe 2 - Qualité physiologique et sanitaire des semences

FUNGISEM, IRHS

**ScreenSeed, l'outil de phénotypage haut débit de la qualité germinative : repousser les limites du criblage d'actifs biostimulants ou de biocontrôle sur semences**

Le contrôle de la qualité germinative et sanitaire des semences est un levier stratégique pour anticiper le succès des cultures. Pourtant l'étude génétique et moléculaire de ces mécanismes, tout comme les recherches de solutions génétiques ou pharmacologiques pour améliorer cette qualité sont grandement limitées par la lourdeur expérimentale du suivi de la germination.

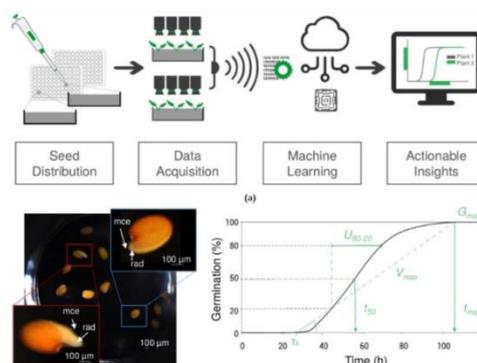
L'objectif de l'étude était de valider la précision et la fiabilité d'un outil de phénotypage haut débit de la germination par analyse d'image automatique. La technologie mise au point pour petites graines, telles que les semences d'*Arabidopsis* permet un suivi automatisé, heure par heure, de la germination de milliers de graines individuellement. Le traitement automatisé des toutes ces données permet de comparer avec une résolution sans précédent les cinétiques et les métriques du comportement germinatif de centaines de lots de semences.

Les cinétiques de germination obtenues par cette technologie reproduisent très fidèlement celles obtenues pas les tests de germination basées sur le comptage manuel. L'utilisation de petits volumes pour le milieu de germination (essais en microplaques) est particulièrement bien adaptée au criblage haut débit de banques d'extraits naturels pour la découverte d'actifs de biostimulation ou de biocontrôle. Cet outil, par son caractère haut débit, sa résolution et le traitement automatisé des données, repousse les

limites du criblage de la qualité des semences. Il offre de nouvelles perspectives pour la gestion des banques de semences, pour les approches de recherche en génétique fonctionnelle et génomique, et pour améliorer la qualité agronomique des semences par la sélection génétique et la découverte de nouvelles solutions de biocontrôle et de biostimulation.

**Le + SFR :** Ce travail permet de proposer un service de phénotypage haut débit de la qualité germinative des semences dans le cadre de prestations proposées par le GEVES.

Contact : Philippe. Grappin,  
[philippe.grappin@agrocampus-ouest.fr](mailto:philippe.grappin@agrocampus-ouest.fr)



Legende :

Les différentes étapes du Workflow de phénotypage haut-débit du comportement germinatif. Il intègre une reconnaissance automatisée des événements de germination et un traitement des données pour des modes de représentations / comparaisons démonstratifs

#### PARTENAIRES ET FINANCEMENTS

Projet GERMRESIST financé par le RFI Objectif Végétal. FUNGISEM - IRHS, GEVES, EfficSciency (start-up DataSciences), GEVES

#### PUBLICATION

Merieux, N., Cordier, P., Wagner, M. H., Ducournau, S., Aligon, S., Job, D., ... & Grappin, E. (2021). ScreenSeed as a novel high throughput seed germination phenotyping method. *Scientific Reports*, 11(1), 1-10.



## Faits marquants

### Axe 2 - Qualité physiologique et sanitaire des semences

EMERSYS, IRHS

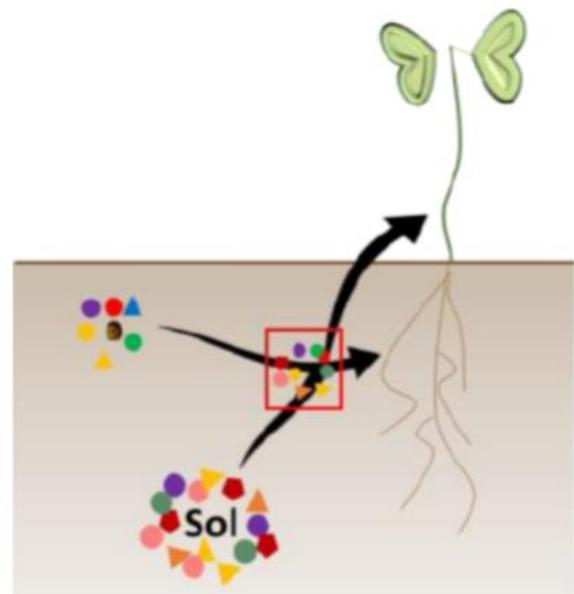
#### Transmission du microbiote des graines et du sol aux plantules

Le microbiote des semences peut jouer un rôle crucial dans l'installation des cultures en modulant la dormance et la germination. A ce jour, peu de connaissances sont disponibles sur la fraction du microbiote végétal qui est acquise par les graines.

Nous avons caractérisé la rencontre entre les communautés des graines et du sol et la façon dont elles colonisent ensemble la plantule. Le succès de la transmission de ces communautés aux plantules est influencé par la variation des pools microbiens initiaux, c'est-à-dire le génotype de la plante et l'année de culture pour les graines et le niveau de diversité pour les sols. Malgré un avantage supposé de résidence du microbiote de la graine, nous montrons que le succès de la transmission est en faveur du microbiote du sol. Nos résultats montrent également qu'une partie des taxons transmis aux plantules sont peu abondants (ou rares) dans les pools initiaux. L'ingénierie du microbiote des graines par inoculation de communautés synthétiques doit donc inclure ces taxons rares.

**Le + SFR :** Le plateau ANAN a permis de générer l'ensemble des banques d'amplicons utilisées pour analyser la diversité microbienne. Ces procédures sont dorénavant réalisées en routine par le plateau, ce qui permet d'augmenter le nombre d'utilisateurs du plateau.

**Contact :** Alain Sarniguet, [alain.sarniguet@inrae.fr](mailto:alain.sarniguet@inrae.fr)

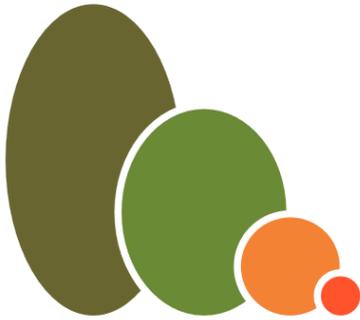


Importance relative des graines et du sol en tant que source d'inoculum des plantules

**PARTENAIRES ET FINANCEMENT**  
UMR IGEPP et IRHS. INRAE-Région

**PUBLICATION**

Rochefort A, Simonin M, Marais C, Guillerm-Erckelboudt A-Y, Barret M, Sarniguet A. 2021. Transmission of seed and soil microbiota to seedling. *mSystems* 6:e00446-21. <https://doi.org/10.1128/mSystems.00446-21>.



## Faits marquants

### Axe 2 - Qualité physiologique et sanitaire des semences

SMS, IRHS

#### Le mécanisme de la première enzyme de la planète enfin dévoilé

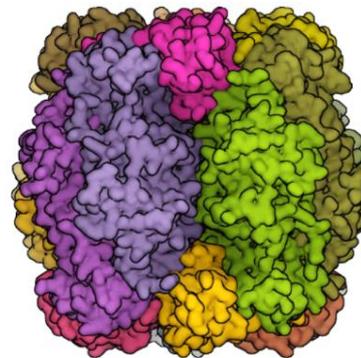
Le premier flux de matière dans la biosphère est la fixation de  $\text{CO}_2$  par la photosynthèse, catalysée par l'enzyme la plus abondante au monde, la ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase/oxygénase (Rubisco). Cette enzyme est cependant capable de fixer aussi de l'oxygène ( $\text{O}_2$ ), ce qui déclenche la photorespiration et une perte de carbone. Comprendre comment s'opère la fixation d' $\text{O}_2$  est crucial pour éventuellement envisager l'ingénierie d'une Rubisco sans activité oxygénase. Cette question est longtemps restée une énigme et ce n'est que récemment que le mécanisme réactionnel a été résolu.

En utilisant des outils isotopiques (fractionnement  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  et  $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ ), nous avons démontré que l'oxygène subit directement une réaction rédox conduisant à un ion superoxyde qui attaque secondairement le substrat (ribulose 1,5-bisphosphate). Cela implique que les propriétés rédox et électrostatiques du site actif sont propices à un transfert d'électron vers  $\text{O}_2$  pour déclencher la réaction, et donc qu'éliminer la fonction oxygénase sera sans doute très difficile. Il s'agit néanmoins d'une avancée majeure dans la compréhension de cette enzyme, qui a été rendue possible grâce aux analyses isotopiques.

Ces mêmes outils isotopiques seront utiles pour monitorer les propriétés réactionnelles de la Rubisco, y compris dans des contextes très intéressants comme les plantules, où la Rubisco refixe beaucoup de  $\text{CO}_2$  issu de la respiration, permettant une optimisation de l'utilisation du carbone mis en réserve dans les graines.

**Le + SFR :** Ce travail a bénéficié des nouveaux outils isotopiques de la SFR. En effet, les équipes de la SFR ont accès désormais à un plateau d'analyses isotopiques (Plateforme Ligérienne d'Isotopie) récemment labellisé par la région Pays de la Loire.

contact : [guillaume.tcherkez@univ-angers.fr](mailto:guillaume.tcherkez@univ-angers.fr)



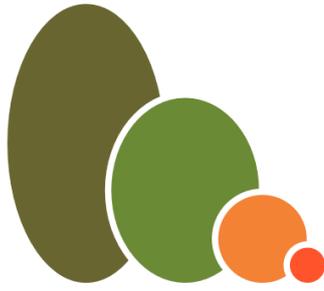
Structure (densité électronique) de la Rubisco (L8S8), montrant les différentes sous-unités avec des couleurs. (image publicly available from PDB, structure reference 1WDD).

#### PARTENAIRES

Australian National University (G. Farquhar et Michelle Coote), University of Maryland (George Lorimer). Financement : Australian National University et Australian Research Council

#### PUBLICATION :

Tcherkez G (2021) How Rubisco captures atmospheric  $\text{O}_2$ . Nature Reviews in Molecular and Cellular Biology 22: 304.



## Rayonnement scientifique

### Axe 2 - Qualité physiologique et sanitaire des semences

## Invitations à des colloques

– Philippe Simoneau, IRHS-FungiSem : Mécanismes de pathogénie chez *Alternaria brassicicola*, champignon nécrotrophe pathogène des Brassicacées. Communication orale au 16ème Congrès de la Société Française de Microbiologie, Microbes Nantes, 22-24 sept. 2021.

– Céline Lefort – LEVA. Effect of climatic factors on flowering durations and dynamics in fennel seed production. Communication orale au “Seed Technology webinar Plantum Working Group on Seed Technology” (Pays-Bas), 12 Mai 2021,

## Structuration de plateforme

La caractérisation physiologique à haut débit permettant de faire des analyses métaboliques quantitatives sur des collections génétiques est crucial. Précisément, l'IRHS bénéficie depuis Octobre 2021 de la labellisation "infrastructure régionale" par la région Pays de la Loire de son plateau d'isotopie. Ce dernier s'est associé au plateau isotopie du CEISAM (Université de Nantes) pour former la Plateforme Ligérienne d'Isotopie. Cette plateforme permet de réaliser des analyses élémentaires et isotopiques simultanées et à haut débit du carbone, du soufre et de l'azote, et utilise un cortège de technologies isotopiques uniques en France allant de la RMN intramoléculaire à la spectrométrie de masse. Cette reconnaissance montre l'importance des métabolismes primaires du carbone, de l'azote et du soufre dans la réponse intégrative des plantes aux conditions de culture et met en abyme la nécessité de revaloriser la physiologie végétale métabolique *via* les technologies qui y sont associées : métabolomique, isotopomique.

## Accueil & mobilités internationales

Michela Pirredda (Doctorante à l'Université PM, Espagne) au sein de l'équipe SEED (Février 2021) : Etude de la méthylation de l'ADN dans les processus de longévité des semences d'*Arabidopsis*.

Dr. Nabahat BESSADAT (MCF, Université d'Oran, Algérie) dans l'équipe FungiSem, IRHS (déc. 2021, 3 semaines) : le projet intitulé « *Alternaria* leaf blight and black rot diseases of Apiaceae in Algeria » (coordonné par N. Bataillé-Simoneau) a pour ambition d'initier une étude sur les Apiacées cultivées et sauvages présentant des symptômes d'alternarioses foliaires ou racinaires échantillonnés dans le Nord-Ouest de l'Algérie. Entre 2020 et 2021, 2 campagnes d'échantillonnage ont permis d'isoler une centaine de souches. L'objectif de la mobilité de N. Bessadat a été de réaliser l'analyse phylogénétique des souches collectées afin de confirmer leur identité par des outils moléculaires.

## Perspectives : initiations de nouveaux projets

ANR PRC SEEDREG (2022-2026) (coord. L. Lepiniec, IJPB ; Partenaires : IRHS-SEED et D. Bouyer IBENS). Unravelling the core genetic and chromatin-based regulations that control seed development and maturation.

## Financements par le RFI Objectif végétal

· EpiTherm (2021-2022) Coord. J. Verdier (IRHS-SEED) et M.H. & D. Macherel (IRHS-SMS). Effect of temperature on the mitochondrial and nuclear epigenomic and transcriptomic landscapes of *Arabidopsis* seedlings.

· Plasmaseed (2021-2022) Coord. P. Grappin, IRHS-FungiSem, T. Dufour, (UMR 7648 LPP, C. Bailly, IBPS UMR 7622). Development of Dry Atmospheric Cold Plasma Priming (DAPP) of seed vigor and resistance (18 mois). Ce projet propose d'étendre la méthode DAPP aux semences et plantules afin d'améliorer leur tolérance aux stress biotiques et abiotiques et de décrire à l'échelle moléculaire comment la méthode influence la qualité des semences et plantules.

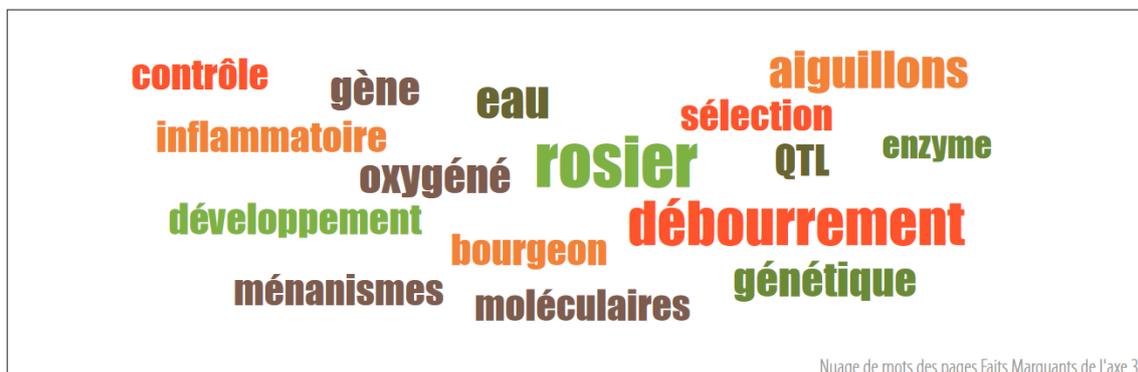
· DAM (2021-2022) Coord. G. Tcherkez, IRHS-SMS. Un projet a été initié sur le métabolisme des D-acides aminés chez les plantes. La forme isomérique D des acides aminés est rare mais la plupart des plantes contiennent certains acides aminés D en faible quantité. Le rôle biologique des D-acides aminés n'est pas très clair et ce projet se propose de mieux comprendre leur origine enzymatique et voir comment ils apparaissent en situation de stress ou de perte de qualité ou vieillissement des semences. La personne qui vient d'être recrutée, Jaime Ricardo Porras Dominguez, a réalisé sa thèse en biochimie enzymatique à Mexico et fait un post-doc en Belgique sur la biochimie des sucres et glycoprotéines avant de nous rejoindre à l'IRHS en nov. 2021.

· Projet Précompétitif PlantAlliance : SOYADAPT (2021-2024) (Coord. J Buitink, IRHS -SEED, M Dalmas, IPS2, Saclay, RAGT2n et Euralis). Développement de variétés de soja adaptées au semis précoce par la création de nouvelles ressources génétiques et identification de nouveaux allèles de gènes cibles.



## Axe 3 - Qualités et valorisation des productions végétales spécialisées

Animateurs:  
Séverine Derbré (SONAS)  
et Soulayman Sakr (IRHS-équipe STRAGENE)



### Focus sur une dynamique de l'axe

L'axe 3 est centré sur la qualité (visuelle, nutritionnelle) et la valorisation (thérapeutique, cosmétique, agronomique) des productions du végétal spécialisé et mobilise des approches transdisciplinaires et multi-échelles. Cet axe regroupe des équipes de l'IRHS (**GDO**, **QuarVeg QualiPom**, **VALEMA**, **STRAGENE**, **STREMHO**), le **GRAPPE** et le **SONAS**, dont les thématiques de recherche peuvent également être inter-axes.

Les activités de recherche des équipes de cet axe sont bien identifiées et s'inscrivent dans des thématiques de recherche impliquant des réseaux de collaborations nationaux et internationaux. En raison de la crise sanitaire, cette année 2021, à l'instar de l'année 2020, connaît une légère baisse de la dynamique de l'axe 3 notamment en ce qui concerne les mobilités internationales et l'organisation et la participation à des séminaires et colloques. Le nombre de projets acceptés durant l'année 2021 est très modeste ; un concerne une des principales thématiques de cet axe, qu'est le végétal en milieu urbain.

Cinq faits marquants impliquant, soient plusieurs équipes de l'axe 3, soient les équipes de l'axe 3 et les plateaux techniques de la SFR sont mis en avant dont un article d'**EPHor** et **STRAGENE** impliquant la **plateforme PHENOTIC** publié dans *Urban Climate*, sur l'effet des arbres sur le confort climatique dans une rue canyon. Outre la publication de **GDO** impliquant la **plateforme IMAC** sur la formation des aiguillons chez le rosier dans *Horticulture Research*, on relève également une co-publication de **STREMHO** (axe 3) et **SMS** (axe 1) impliquant la **plateforme ANAN** sur le rôle de l'eau oxygénée dans le photocontrôle du débourrement des bourgeons de rosier. Un article du **SONAS** impliquant le **plateau PHYTO** détaille les aspects pratiques du logiciel de déréplication par RMN <sup>13</sup>C MixONat, désormais mis à disposition de ses usagers sur ce même plateau. Enfin, impliquant deux équipes de l'axe 3, **STRAGENE** et **GDO** de l'IRHS, un autre fait marquant porte sur le rôle central de la signalisation par les sucres dans le contrôle de la ramification par les facteurs endogènes (auxine et sucre).

En termes de valorisation scientifique, les membres de deux équipes de l'axe 3 (**STRAGENE**, **STREMHO**) ont été impliqués, en 2021, dans la rédaction de deux revues.

En continuité avec la dynamique d'animation portée par l'axe 3 depuis plusieurs années, la thématique d'**animation prévue en 2022** portera sur la **place des nouveaux outils de modélisation (docking moléculaire, digital twin) pour répondre aux enjeux du végétal spécialisé**, toujours dans une démarche transdisciplinaire d'amélioration de la qualité du végétal spécialisé.

## Faits marquants

### Axe 3 - Qualités et valorisation des productions végétales spécialisées



EPHOR, STRAGENE-IRHS

#### Les arbres permettent d'améliorer le confort climatique dans une rue canyon

**Contexte :** Les villes connaissent une surchauffe due à des facteurs tels que la forme et les matériaux urbains, la concentration des activités humaines, la réduction de la quantité de végétation et des surfaces d'eau. La végétation est l'un des moyens de réduire les pics de température en ville lors des canicules.

**Objectif :** Le projet CliSeTiCS, dans lequel s'inscrit la thèse de S. Mballo, a pour objectif de mieux comprendre et de quantifier les services écosystémiques en termes de rafraîchissement et d'atténuation des îlots de chaleur urbain rendus par les arbres en ville sous différentes conditions climatiques. A cet effet, des arbres plantés dans une rue canyon à échelle réduite (1/5) orientée nord-sud ont été étudiés.

**Résultats** L'étude publiée dans Urban Climate offre une vision intégrée des mécanismes climatiques à travers la mesure d'un ensemble de variables, dont la température de l'air, l'humidité relative, la température des parois, les flux conductifs et radiatifs ainsi que la transpiration des arbres. Cette étude permet ainsi une meilleure compréhension des phénomènes physiques en jeu. Il montre que la rue canyon a créé une surchauffe urbaine allant jusqu'à 2,8 °C pendant la nuit, et jusqu'à 2,4 °C pendant la journée, et que les arbres ont réduit la température de l'air dans la rue jusqu'à 2,7 °C pendant la journée. Enfin, les arbres ont permis une amélioration du confort thermique humain avec une baisse de 8 °C de l'Indice Thermal Climatique Universel à midi.

**Importance du fait marquant :** Il s'inscrit pleinement dans l'axe émergent Végétal en milieu urbain de la SFR. Cette étude a été réalisée en collaboration avec la plateforme PHENOTIC (Rue Canyon)

**Perspectives :** Il est prolongé par une thèse démarrée en 2021, visant à identifier des paramètres écophysologiques, pour choisir des espèces d'arbres résistantes aux épisodes de sécheresse et de chaleur en ville et capables d'atténuer l'effet d'îlots de chaleur urbains (financement CPER).

**Personne contact :**

Pierre-Emmanuel Bournet, EPHor,

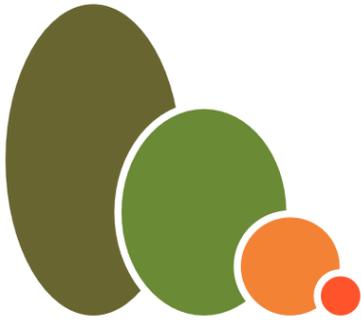
[Pierre-Emmanuel.Bournet@agrocampus-ouest.fr](mailto:Pierre-Emmanuel.Bournet@agrocampus-ouest.fr)



Vue en perspective de la rue canyon de l'Institut Agro à Angers (Photo S. Herpin)

**Partenaires :** EPHor et l'équipe STRAGENE de l'IRHS et la plateforme PHENOTIC, avec la participation de l'Université Gustave Eiffel. Financement ADEME, région Pays de la Loire, RFI Objectif Végétal.

**Bibliographie :** Impact of well-watered trees on the microclimate inside a canyon street scale model in outdoor environment, Mballo et al. Urban Climate,



## GDO-IRHS

## Les aiguillons du rosier : un sujet épineux !

**Contexte :** Les tiges de rosiers présentent une grande diversité d'aiguillons, qu'on appelle souvent par erreur des épines. Leur origine histologique est très controversée (épidermique, sous épidermique, vascularisée ou non...)

**Objectif :** ce projet vise à étudier la diversité de forme des aiguillons chez le rosier et de décrire leur origine tissulaire et leur développement.

**Résultats :** A partir de l'analyse de plus de cent cultivars de rosiers, les aiguillons peuvent être glandulaires (ou non), présentés des poils (ou non) et être ramifiés (ou non). La majorité des aiguillons observés sont non glandulaires et sans poil. A partir de ces critères, une classification a été proposée. Par une analyse histologique, nous avons montré que les aiguillons se développaient par division de cellules sous-épidermiques très tôt lors du développement de la tige et qu'ils ne sont pas connectés aux tissus vasculaires. Il ne s'agit donc ni d'épines, ni de trichomes, mais bien d'aiguillons.

**Perspectives :** Ces travaux permettent de clarifier les aiguillons de rosiers au regard d'autres structures présentes sur les tiges et sont une première étape vers l'identification des réseaux géniques permettant de comprendre comment ces structures se mettent en place.

**Importance du fait marquant :** Cette étude marque une étape importante dans la connaissance du

développement des aiguillons. Combinée à des approches génétiques et génomiques, elle permettra d'identifier les gènes clé de leur développement et améliorer la sélection de ce caractère (recherche de rose sans épine pour les fleurs coupées).

Ce travail a été réalisé en étroite collaboration avec le plateau IMAC pour l'analyse morphologique (coupe histologique, observation au microscope). Cette collaboration a permis de définir clairement l'origine des aiguillons chez la rose. Le PTM IMAC est ainsi co-auteur de la publication.

**Contacts :**

FOUCHER Fabrice, IRHS, [fabrice.foucher@inrae.fr](mailto:fabrice.foucher@inrae.fr)  
 HIBRAND-SAINT OYANT Laurence, IRHS,  
[laurence.hibrand-saint-oyant@inrae.fr](mailto:laurence.hibrand-saint-oyant@inrae.fr)



Observation sous loupe d'une tige *Rosa* 'Parkzauber' présentant des aiguillons glandulaires et non glandulaires (Crédit Ning-Ning Zhou)

**PARTENAIRES**

Plateau IMAC (Imagerie Cellulaire) de la SFR QuaSav (Université d'Angers, Angers, France), National Engineering Research Center for Ornamental Horticulture; Flower Research Institute (FRI), China, China Scholarship Council (CSC).

**BIBLIOGRAPHIE**

Zhou, N. *et al.*, (2021) Morphological studies of rose prickles provide new insights. *Hortic Res* 8, 221.



## Faits marquants

### Axe 3 - Qualités et valorisation des productions végétales spécialisées

STREMHO, IRHS

#### L'eau oxygénée contribue au photocontrôle du débourrement des bourgeons chez le rosier cultivé

**Contexte :** Chez le rosier, le débourrement des bourgeons ne survient qu'en présence de lumière. Des études antérieures ont démontré l'implication des cytokinines dans la régulation de ce phénomène.

**Objectif :** Ce projet vise à savoir si l'eau oxygénée, récemment impliquée dans le débourrement des bourgeons axillaires à la lumière contribue à réguler le photocontrôle.

**Résultats :** Les teneurs des bourgeons en  $H_2O_2$  restent constamment élevées dans les bourgeons à l'obscurité, ce qui inhibe leur débourrement. Nous avons montré que l'application de cytokinines sur des bourgeons cultivés à l'obscurité ramène les teneurs en  $H_2O_2$  des bourgeons à un niveau semblable à celui observé chez les bourgeons cultivés à la lumière. De plus, ce traitement restaure un niveau de glutathion (GSH) favorable au débourrement. Le traitement des bourgeons par la buthionine sulfoximine, un inhibiteur de la synthèse du GSH, nous a permis de préciser que l'eau oxygénée et le glutathion régulent le photocontrôle du débourrement des bourgeons en aval des cytokinines.

**Perspectives :** Les interactions du métabolisme oxydatif et particulièrement de l' $H_2O_2$  avec les autres acteurs de la régulation du débourrement (auxine, strigolactones, sucres, azote...) restent à préciser.

**Importance du fait marquant :** Cette étude souligne l'importance du métabolisme oxydatif dans la régulation du débourrement du bourgeon et la nécessité de l'intégrer dans les schémas fonctionnels du bourgeon.

**Contact :** Alain VIAN, IRHS, [alain.vian@univ-angers.fr](mailto:alain.vian@univ-angers.fr)



Débourrement et croissance de l'axe végétatif chez les bourgeons de rosier cultivés sur milieu nutritif à la lumière (Control), à l'obscurité en présence de cytokinine (BAP), de buthionine sulfoximine (BSO), de cytokinine et de BSO (BAP+BSO)

#### PARTENAIRES

Ce travail, réalisé dans le cadre d'une collaboration STREMHO/SMS (Thèse d'Alexis Porcher), a été mené dans le cadre du programme régional RFI « Objectif Végétal » et Angers Loire Métropole (projet ROSAROS). La plateforme PHENOTIC (ImHorPhen, IRHS, Angers) a produit les rosiers utilisés dans cette étude.

#### BIBLIOGRAPHIE

Porcher *et al.*, (2021) Ascorbate–glutathione pathways mediated by cytokinin regulate  $H_2O_2$  levels in light-controlled rose bud burst. *Plant Physiology* **186**: 910-928 (2021).



## Faits marquants

### Axe 3 - Qualités et valorisation des productions végétales spécialisées

#### SONAS

### MixONat, un logiciel d'identification rapide des métabolites spécialisés majoritaires basée sur la RMN du $^{13}\text{C}$ disponible sur le plateau PHYTO

**Contexte :** En matière d'analyse rapide de mélanges complexes de métabolites spécialisés, les chercheurs, chimistes ou biologistes, utilisent aujourd'hui la métabolomique, y compris des procédés de déréplication. Si les méthodes basées sur la spectrométrie de masse (SM) sont largement utilisées, la résonance magnétique nucléaire (RMN) du  $^{13}\text{C}$ , même si moins sensible, est complémentaire puisqu'elle permet la détection de tous les composés organiques majoritaires, y compris les stéréoisomères. Le SONAS a récemment développé un algorithme et le logiciel MixONat pour identifier rapidement les métabolites spécialisés dans des mélanges complexes.

**Objectif :** Promouvoir à l'échelle nationale et internationale le logiciel MixONat, libre de droit, et faciliter l'utilisation de cet outil de déréplication par le plateau PHYTO

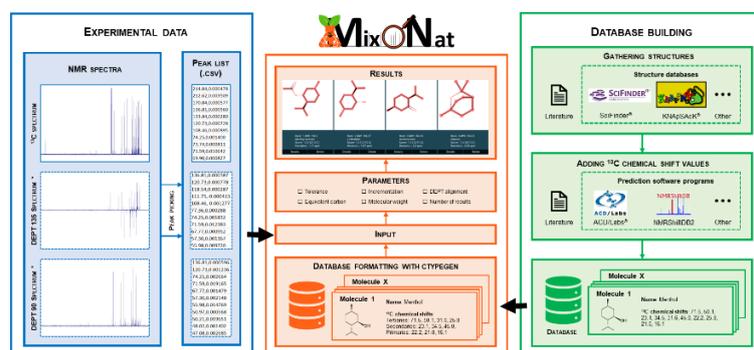
**Résultats :** L'article publié dans *Planta medica* fournit des instructions, étape par étape, pour utiliser MixONat, en partant de la création de bases de données (DBs) contenant les structures et déplacements chimiques ( $\delta_c$ ) prédits. Ensuite, à des fins de formation, le lecteur est guidé à travers une procédure de 30 à 60 minutes consistant en la déréplication par RMN  $^{13}\text{C}$  d'une matrice complexe avec MixONat.

**Perspectives :** Développer un logiciel en ligne intégrant *in fine* les données spectrales expérimentales de plus de 200000 métabolites spécialisés à des fins d'amélioration des hypothèses structurales.

**Importance du fait marquant :** Cette publication fait suite à celle dans *Anal. Chem.* (2020). Ces travaux ont été menés par le laboratoire SONAS en vue d'une mise

à disposition des prestations de déréplication basées sur la RMN du  $^{13}\text{C}$  utilisant le logiciel MixONat sur le **plateau PHYTO** de la SFR QUASAV, en complément des analyses par SM. Cet outil renforce les collaborations internationales avec le CICY (Merida, Mexique), l'Université de Malaya (UM, Kuala-Lumpur, Malaisie) et en crée de nouvelles (Université de Liège, Belgique) : publications en cours et organisation d'un workshop à distance de formation au logiciel en août 2021 avec l'UM.

**Contact :** Séverine DERBRE, SONAS,  
[severine.derbre@univ-angers.fr](mailto:severine.derbre@univ-angers.fr)



Représentation schématique du processus de déréplication basé sur la RMN  $^{13}\text{C}$ . MixONat (orange) nécessite des DB appropriées consistant en des jeux de données de  $\delta_c$  expérimentaux et/ou commerciaux prédits  $\delta_{c\text{-SDF}}$  (vert) ainsi que des listes de pics (fichiers.csv) exportés à partir de données expérimentales (bleu).

**Partenaires :** Ces travaux ont été menés par le laboratoire SONAS sur le plateau PHYTO avec les informaticiens du LERIA (UFR Sciences, UA), en partenariat avec des équipes nationales (Université de Corse-CNRS, Université Champagne-Ardenne-CNRS).

**Bibliographie :** Bruguère *et al.*  $^{13}\text{C}$  NMR dereplication using MixONat software: a practical guide to decipher natural products mixtures. *Planta Med.* **2021**, 87 (12/13), 1061-1068. Bruguère, A. *et al.* MixONat, a software for mixtures dereplication based on  $^{13}\text{C}$  NMR experiments. *Anal. Chem.* **2020**, 92, 8793-8801. Logiciel librement disponible sur <https://sourceforge.net/projects/mixonat>.



## Faits marquants

### Axe 3 - Qualités et valorisation des productions végétales spécialisées

#### STRAGENE et GDO, IRHS

#### La régulation de la ramification du rosier implique le métabolisme et la signalisation par les sucres

**Contexte :** La ramification de la plante est un levier central pour l'optimisation des traits agronomiques de la plante et la tolérance aux stress. Toutefois, sa régulation reste un des processus les plus complexes.

**Objectif :** Ce travail vise à comprendre l'intégration par le bourgeon, le site de la ramification, de deux régulateurs systémiques et antagonistes de la ramification : sucre et auxine.

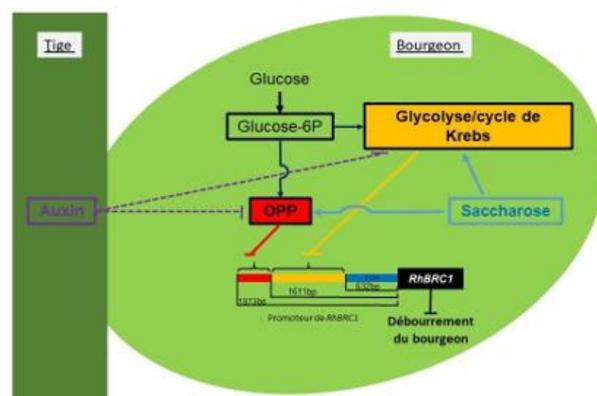
**Résultats :** La combinaison des approches pharmacologiques, métabolomiques et transcriptomiques a permis de montrer, pour la première fois, que le métabolisme du sucre- la glycolyse, le cycle de Krebs et la voie oxydative des pentoses phosphates- est sous l'effet antagoniste de l'auxine (répresseur) et de sucres (stimulateur). Le métabolisme est réprimé par l'auxine dont l'effet est atténué par la disponibilité en sucres, permettant ainsi au bourgeon de débourrer. De façon très intéressante, ces deux voies agissent de façon synergique pour réguler l'activité promotrice du facteur de transcription BRANCHED 1 (BRC1), intégrateur de la ramification. Deux régions distinctes du promoteur du gène codant BRC1 (-1973/-1611pb ; -1611/-709pb) ont été identifiées jouant un rôle clé dans cette régulation.

**Perspectives :** Identification des facteurs de transcriptions du réseau moléculaire gouvernant la régulation du gène *BRC1* par l'auxine et le sucre.

**Importance du fait marquant :** Ces résultats constituent une étape clef dans la compréhension des mécanismes de régulation de la ramification chez les

plantes, tout en renforçant la collaboration entre des équipes de la SFR (**STRAGENE** et **GDO**).

**Contact :** Soulayman SAKR, STRAGENE, [soulaiman.sakr@agrocampus-ouest.fr](mailto:soulaiman.sakr@agrocampus-ouest.fr)



Effet antagoniste de l'auxine et du saccharose sur les voies de la glycolyse/cycle de Krebs et de pentose phosphate (OPP). Ces dernières régulent le débourrement du bourgeon en agissant sur le promoteur de *RhBRC1* (*BRANCHED 1*). Crédit : Ming Wang

#### PARTENAIRE

Ce projet a été mené dans le cadre de collaborations nationales (Institut de Biologie Moléculaire des Plantes, Strasbourg, France ; Institute of Plant Sciences Paris-Saclay, France ; Institut Jean-Pierre Bourgin) et internationales (Qingdao Agricultural University, Chine; University of Queensland, Australie) et a bénéficié d'un financement CSC (China Scholarship Council).

#### BIBLIOGRAPHIE

Wang *et al.*, (2021) Outgrowth of the axillary bud in rose is controlled by sugar metabolism and signaling. *Journal of Experimental Botany*, 72 (8), 3044-3060



## Animation scientifique de l'axe

L'animation annuelle de l'axe 3 portait en 2021 sur de « De nouveaux outils de modélisations pour répondre à des enjeux du végétal spécialisé ». Elle s'est déroulée le 23 mars 2021 sous la forme d'un webinaire. Deux personnalités extérieures à la SFR sont intervenues : Mehdi Beniddir (Université Paris Saclay) a présenté les outils et stratégies permettant la découverte et la déréplication de produits naturels par spectrométrie de masse. Christophe Godin (INRIA, ENS de Lyon) a exposé les outils de modélisation dans l'étude de la biologie des systèmes. En écho à leurs exposés, deux chercheurs de la SFR ont présenté des outils mis en place par la SFR dans le domaine : Mickaela Skopikova (**SONAS**) a présenté la LDI-MS comme outil d'analyse et de quantification des produits naturels et Jessica Bertheloot (**STRAGENE**) a exposé comment la modélisation pouvait être un outil de compréhension dans le domaine de la ramification des plantes face aux stress abiotiques.

En 2022, nous poursuivrons la dynamique mise en place : la thématique d'animation portera sur la **place des nouveaux outils de modélisation (*docking moléculaire, digital twin*) pour répondre aux enjeux du végétal spécialisé**, toujours dans une démarche transdisciplinaire d'amélioration de la qualité du végétal spécialisé. En effet, les réponses aux nouveaux enjeux climatiques et de transitions sont complexes et impliquent non seulement une hybridation disciplinaire, mais également l'ouverture à des outils innovants, déjà employés, par exemple dans les domaines de la santé humaine, de la physiologie végétale ou encore de l'aéronautique. En dehors des équipes de l'axe 3, cette animation pourra intéresser celles des deux autres axes de la SFR et contribuera à la dynamique globale de la SFR en faisant émerger des nouvelles questions et collaborations.

## Action structurante

En 2022, une action structurante est en lien avec la thématique du végétal en milieu urbain, tout en s'inscrivant dans la continuité de l'effet marquant intitulé « Les arbres permettent d'améliorer le confort climatique dans une rue canyon ». Il s'agit d'identifier des marqueurs écophysiologiques pour rationaliser le choix des essences d'arbres, en termes d'adaptation aux épisodes de sécheresse et de chaleur en ville et leur capacité à atténuer l'effet d'îlot de chaleur urbain. Ce projet sera mené au cours de la thèse SpecHyUrb (Dorine Canonne, **STRAGENE**, Institut Agro Rennes-Angers, 2021-2024) en partenariat avec l'unité **EPHor** et en collaboration étroite avec l'UMR PIAF (Physique et Physiologie Intégrative de l'Arbre en environnement Fluctuant) à Clermont Ferrand. Bénéficiant d'un financement CPER, ces travaux utiliseront la rue Canyon expérimentale de la **plateforme PHENOTIC** de la SFR.

## Revue et articles d'opinion

- M Wang, J Le Gourrierec, F Jiao, S Demotes-Mainard, M-D Perez-Garcia, L Ogé, L Hamama, L Crespel, J Bertheloot, J Chen, P Grappin, S Sakr **Convergence and Divergence of Sugar and Cytokinin Signaling in Plant Development (2021)**. M. Int. J. Mol. Sci., 22, 1282. <https://doi.org/10.3390/>
- Kaur, S., Vian, A., Chandel, S. et al. **Sensitivity of plants to high frequency electromagnetic radiation: cellular mechanisms and morphological changes (2021)**. Rev. Environ. Sci. Biotechnol. 20, 55–74. <https://doi.org/10.1007/s11157-020-09563-9>

## Organisation de congrès

Congrès du GP2A, Groupement des pharmaco-chimistes de l'arc Atlantique, Virtual congress, 25-27 août 2021, Membre de comité d'organisation : J.J. Helesbeux (SONAS).

## Invitations à des colloques et séminaires

Fabrice Foucher. Genomics of ornamental traits in rose. Symposium on horticultural plant Biology and Biotechnology, Beijing, November 17<sup>th</sup> – 18<sup>th</sup>, 2021.

Valéry Malecot. Towards a reclassification of Rosa. Symposium on horticultural plant Biology and Biotechnology, Beijing, November 17<sup>th</sup> – 18<sup>th</sup>, 2021

I. Maitre. (2021) From the sensory properties of products to the full sensory experience: take the consumer's voice into account in product innovation for a healthy and environmentally friendly diet. CIAGRO congress, Brasil, 10 – 11<sup>th</sup>, June 2021.

S. Derbré, A. Bruguiere, M. Meunier, J. Dietsch, J. Leguy, V. Rahier, A. Schinkovitz, F. Saubion, P. Richomme MixONat: a <sup>13</sup>C NMR-based dereplication of natural products mixtures as a complementary tool to MS analysis. AFERP Virtual symposium, Juillet 2021.

S. Boisard. Extraction et analyses qualitatives et quantitative des métabolites secondaires des plantes. Séminaire « Innovation du végétal en santé : Les métabolites secondaires des plantes et leur valorisation pour la santé » Chaire "Innovation Agro-Santé" créée par DelleD et la fondation AgroCampus Ouest, 25 nov. 2021

S. Derbré. Pharmacognosie : De l'usage ancestral des plantes médicinales aux valorisations actuelles des métabolites secondaires. Séminaire « Innovation du végétal en santé : Les métabolites secondaires des plantes et leur valorisation pour la santé ». Chaire "Innovation Agro-Santé" créée par DelleD et la fondation AgroCampus Ouest, 25 nov. 2021

## Accueil & mobilités internationales

- Mobilité internationale (19-20 juillet 2021) du Pr. Andrea Schubert (Plant Stress Lab, Université de Turin, Italie) au sein de l'équipe **STREMHO** dans le cadre du projet MORHYS « Memory of Ornamentals to HYdric Stress » (RFI Objectif Végétal). Conférence du Pr Schubert à l'IRHS, discussions et échanges avec les équipes, réflexion sur un programme collaboratif entre STREMHO et le laboratoire du Pr Schubert.

- Dans le cadre de la collaboration entre le laboratoire SONAS et la Werner Siemens-Lehrstuhl für Synthetische Biotechnologie (WSSB, Prof. Thomas Brück) de l'Université Technique de Munich (TUM), Andreas Schinkovitz (MCU, **SONAS**) a pu réaliser son déplacement financé par une mobilité Internationale pour la Recherche (MIR, UA, obtenue en 2019 dans le cadre de la thèse de M. Skopikova) en décembre 2021 pour y réaliser des analyses par UPLC-HRMS<sup>n</sup> et poursuivre les travaux sur la mise en place d'un programme collaboratif entre les deux structures. Les résultats scientifiques obtenus lors de ce séjour complètent un manuscrit qui sera prochainement soumis.

- Dans le cadre de collaboration entre l'unité **EPHor** et le laboratoire NCSU (USA) portant sur les substrats horticoles, Stan Durand (doctorant en 2<sup>nde</sup> année de thèse) a bénéficié d'une bourse Fulbright pour une période de 5 mois (janvier-juin 2021) pour étudier et analyser la texture (forme et taille) des particules des substrats horticoles à base de fibres de bois, responsables de leurs propriétés de ré-humectation. Ces travaux ont déjà fait l'objet de deux communications orales dans des congrès internationaux et une publication de rang A.

Référence publication :

Durand S., Jackson B.E., Fonteno W.C., Michel J.C. **2021**. The use of wood fiber for reducing risks of hydrophobicity in peat-based substrates. *Agronomy*, 11, 907. [doi:10.3390/agronomy11050907](https://doi.org/10.3390/agronomy11050907)

Partenaires du projet :

- académiques: L'Institut Agro (EPHor, Jean-Charles MICHEL), North Carolina State University (Department of Horticultural Science, William C. FONTENO, Brian E. JACKSON)
- industriels: Evadea, Floragard GmbH, Klasmann-Deilmann, Premier Tech, TurfTech Ltd

## Perspectives : initiation de nouveaux projets

### Thématique VEGETAL EN MILIEU URBAIN

Comme spécifié précédemment, le dispositif « Rue Canyon » de la **plateforme PHENOTIC** mis en place en 2020-2021 sera exploité au cours de la thèse SpecHyUrb (2021-2024) impliquant plusieurs équipes de l'axe 3 de la SFR (**EPHor**, **STRAGENE**).

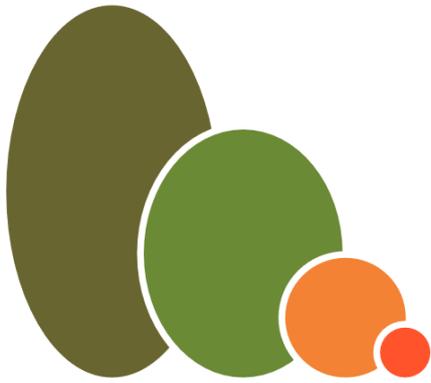
### Thématique AGRO-SANTE : Compréhension des relations entre le développement architectural de *Cannabis sativa* et l'accumulation des métabolites spécialisés d'intérêt thérapeutiques

L'entreprise DELLED, une startup angevine avec un modèle économique basé sur la valorisation des métabolites secondaires du chanvre médical, a sollicité en 2021 trois équipes de l'axe 3 de la SFR (**STRAGENE**, **SONAS**, **PHENOTIC**) et le Plateau **PHYTO** pour élaborer le projet collaboratif régional CANNATECH. Dans le cadre de ce projet, l'entreprise DELLED cherche à comprendre comment : i) des facteurs environnementaux (notamment la lumière) contrôlent le développement architectural de la plante et ii) ce développement architectural influence la productivité de la plante, en termes de quantité et qualité de cannabinoïdes et autres métabolites spécialisés.

### Thématique VALORISATION DES METABOLITES SPECIALISES COMME NOUVELLES GENERATIONS DE NANIFIANTS

L'architecture de la plante résulte de l'organisation spatiotemporelle des ramifications mais également du degré de compacité de la plante. Au-delà du levier génétique, les producteurs de plants ornementaux et dans certaines mesures les arboriculteurs ont introduit, dans leur itinéraire cultural, l'utilisation des produits chimiques qualifiés de nanifiants, pour contrôler l'élongation du rameau et donc la compacité de la plante. Ces intrants qui sont d'origines synthétiques constituent une menace pour la préservation de l'environnement et de la biodiversité. Dans la perspective de leur interdiction, l'identification d'une nouvelle génération de régulateurs de croissance, non synthétiques, naturels, non rémanents est une piste envisagée pour remplacer les produits existants.

Dans ce cadre, la collaboration initiée en 2020 entre des équipes de l'axe 3 (**STRAGENE**, **SONAS**) et de l'axe 1 (**SMS**) s'est poursuivie en 2021 autour de l'identification de produits naturels modulateurs de la croissance pour remplacer certains intrants. Dans ce cadre, un test biologique a été développé permettant de cribler une chimiothèque de métabolites spécialisés sur la croissance de l'hypocotyle d'*Arabidopsis thaliana*. Neuf hits ont été retenus à l'issue du criblage. Des essais préliminaires sur de jeunes plants confirment la pertinence de l'approche. Afin de poursuivre dans une démarche de valorisation des ressources végétales, les extraits choisis pourraient également provenir de la valorisation de co-produits non exploités en horticulture ou par l'industrie agro-alimentaire. Parmi les stratégies envisagées pour la suite du projet, figurent une approche par fractionnement bioguidé ou un criblage virtuel par *docking moléculaire*. Une recherche active de financement sera menée en 2022.



## Moyens techniques mutualisés

La SFR met en commun des outils et compétences autour de trois plateaux techniques mutualisés et trois plateformes :

### Analyse des acides nucléiques

L'activité de ce plateau technique initialement dédié principalement au génotypage s'est étendue à la génomique (NGS) et à l'analyse à haut-débit de l'expression de gènes (micro-array, RNAseq).

### Imagerie Cellulaire (IMAC)

Basé sur un service commun de microscopie antérieur à la SFR, ce plateau technique a évolué vers des techniques de microscopie moderne : microscopie confocale, analyse MEB, microscopie à épifluorescence et récemment hybridation *in situ*.

### Collection de microorganismes (COMIC)

Adossé à la Collection Française de Bactéries associées aux Plantes (CIRM-CFBP) gérée par l'IRHS, ce plateau technique fait bénéficier d'autres unités des compétences de la CFBP pour la gestion des collections de microorganismes et leur conservation.

### Analyses phytochimiques (PHYTO)

Cette plateforme propose des outils et compétences dédiées aux analyses qualitatives ou quantitatives de métabolites secondaires d'origine végétale. Cette extension d'un service commun universitaire répondant aux besoins spécifiques des sciences du végétal a été labellisée en 2014 par le réseau de métabolomique CORSAIRE de BiogenOuest.

### Phénotypage des Semences et des Plantes (PHENOTIC)

Phénotypage des Semences et des Plantes : cette plateforme est basée sur un ensemble d'équipements dédiés au phénotypage des végétaux et sur les expertises co-développées par les biologistes et chercheurs spécialisés en imagerie (LARIS). Elle a été labellisée BiogenOuest en 2014, et infrastructure scientifique collective (ISC) par INRAE en 2021.

### Analyse sensorielle du Végétal (SENSOVEG)

Cette plateforme mise en place depuis plusieurs années à l'ESA est adossée à la SFR depuis janvier 2014 pour mettre à disposition ses compétences et son expertise méthodologique pour l'analyse sensorielle des produits et l'appréciation des consommateurs.

Chaque structure est d'une manière générale autonome d'un point de vue budgétaire pour son fonctionnement (avec des soutiens financiers potentiels de la SFR), la SFR intervenant principalement au niveau de l'acquisition, l'entretien ou la jouvence des équipements et, dans la mesure de ses possibilités, pour le recrutement de personnels dédiés et le soutien aux projets. La SFR se mobilise plus particulièrement pour soutenir auprès des tutelles, les demandes jugées prioritaires, en particulier pour renforcer les plateaux techniques mutualisés.

# PLATEAU TECHNIQUE / PLATEFORME

## ANAN : *Analyse des Acides Nucléiques*

### Responsables

Responsable scientifique :

**Sandrine BALZERGUE** : INRAE-IRHS, 42 rue George Morel, BP 60057, 49071 Beaucouzé

Tel : 02 41 22 57 77 ; sandrine.balzergue@inrae.fr

Responsable technique :

**Muriel BAHUT** : Campus du Végétal, 42 rue George Morel, 49071 Beaucouzé

Tel : 02 41 22 56 76 ; muriel.bahut@univ-angers.fr

### Comité de pilotage

- Fabrice Foucher
- Valérie Raymond
- Pascal Poupard
- Sandrine Balzergue
- Muriel Bahut

### Référents, par ordre alphabétique :

Sandrine Balzergue (0.1 ETP) : Projets de séquençage

Annie Chastellier (0,1ETP) : Robot de pipetage

Vincent Guérin (0,1 ETP) : Broyeurs

Laurence Hibrand - Saint Oyant (0,1 ETP) : Projets de génotypage

Julien Jeauffre (0,2 ETP) : Projets RNAseq / qPCR / Bioanalyste

David Lalanne (0,1 ETP) : qPCR / Bioanalyste

Coralie Marais (0.2 ETP): Projets de séquençage Miseq Barcoding

### Introduction

Le plateau technique ANAN (Analyse des Acides Nucléiques) met à disposition des outils de caractérisation et d'analyse des acides nucléiques. Ce Plateau Technique est ouvert en priorité aux membres de la SFR QUASAV et à ses partenaires associés.

Le plateau technique a pour but de permettre aux équipes de la SFR d'accéder facilement à des technologies de génomique à moyen et haut débit de manière environnée ou non. Ceci permettant des études préliminaires et/ou des mises au point technologiques notamment avant le passage en très haut débit vers des plateformes dédiées.

Le plateau technique a également un rôle de conseil auprès des équipes de la SFR sur les approches en génotypage, transcriptomique et plus largement en séquençage afin de répondre au mieux à leurs questions biologiques.

### Faits marquants 2021

#### Projets :

- **KASPORO** : Le projet KASPoRo a été soutenu par la SFR QUASAV dans le cadre des appels à projets techniques de la SFR. Il se proposait de mettre en place sur le plateau ANAN, la technologie KASP (Kompetitive Allele Specific PCR) pour effectuer des études de génotypage SNP pour des projets à bas et moyen débit avec peu d'échantillons ou peu de marqueurs. Ce projet a permis de proposer cette technique en routine, avec sept programmes différents mis en place sur le robot de pipetage pour s'adapter à la taille des études menées. Il a débouché également sur l'achat d'une qPCR384 supplémentaire permettant de répondre aux besoins croissants d'analyse. En 2021, 65 plaques de 384 échantillons ont ainsi été analysées par cette technique.

- Plusieurs projets de **metabarcoding**, analysés sur Miseq, sont réalisés sur le plateau en routine, sur des matrices très diverses : graines, vers de farine, poulet, foraminifères, compost, dépôt de siphons d'évier... Ainsi 12 projets ont été menés sur le plateau en 2021.

### Equipements

Le plateau ANAN a investi dans des équipements pour faciliter et améliorer la préparation des échantillons d'acides nucléiques :

- Pour proposer aux utilisateurs une offre automatisée pour l'extraction d'ADN et d'ARN totaux, le plateau ANAN a acquis un robot d'extraction IDEAL32 moyen débit permettant de réaliser 32 extractions en parallèle. Ouvert à tous types de kits d'extraction en billes magnétiques, il est déjà programmé avec les protocoles d'extraction des kits Macherey Nagel qui sont les plus utilisés au sein de la SFR.
- Au vu de l'utilisation croissante de la qPCR384, ANAN a acquis une seconde machine (BIORAD) rendant plus souple la programmation des manipulations pour les utilisateurs.

### Animation

- Le séminaire « Le séquençage dans tous ses états » du 11 juin 2021 a été réalisé en virtuel (orateurs en présentiel) et a rencontré un beau succès de participation. L'occasion d'échanger autour de sujets diversifiés dans lesquels le plateau ANAN est impliqué en collaboration.

### Valorisations 2021

Le plateau ANAN a été cité dans les auteurs d'une publication pour les analyses de transcriptomique sur puces réalisées sur le plateau et remercié dans 4 publications.

Perchepied L, Chevreau E, Ravon E, Gaillard S, Pelletier S, Bahut M, Berthelot P, Cournol R, Schouten HJ, Vergne E. Successful intergeneric transfer of a major apple scab resistance gene (Rvi6) from apple to pear and precise comparison of the downstream molecular mechanisms of this resistance in both species. BMC Genomics. 2021 Nov 22;22(1):843. doi: 10.1186/s12864-021-08157-1. PMID: 34802418; PMCID: PMC8607633.

### Perspectives 2022

- Participation à un module de la maquette du Master Biologie Végétale de l'Université d'Angers en collaboration avec la société Illumina : mise en place de TP, d'une table ronde autour des métiers de la génomique et de cours thématiques sur le séquençage.
- Mise en place de réunions régulières avec la plateforme PACeM - Plateforme d'Analyse Cellulaire et Moléculaire de l'IBS-IRIS - CHU Angers pour du partage d'expérience (Plateforme rattachée à la SFR ICAT de l'université d'Angers).
- Collaboration avec l'ANSES sur un projet de séquençage en métagénomique de phytovirus sur Illumina.
- Collaboration avec le Laboratoire d'Hématologie – CHU Angers, CRCINA, INSERM, IBS sur un projet de séquençage MinION pour la reconstruction d'un haplotype complet d'un fragment d'ADN génomique humain.



**qPCR 384 Opus BIORAD**



**IDEAL 32 – Macherey-Nagel**



## PLATEAU TECHNIQUE / PLATEFORME COMIC: *Collection de Microorganismes*

### Responsables

Perrine Portier (IRHS EmerSys, CIRM-CFBP)

### Présentation du plateau technique

Le plateau technique mutualisé COMIC, pour COLLECTION de MICROorganismes a pour objectif d'apporter un soutien aux membres de la SFR Quasav pour mieux organiser, préserver et valoriser leurs ressources microbiennes. Pour cela, le plateau COMIC et ses utilisateurs s'appuient sur le personnel, les compétences et les équipements du CIRM-CFBP. Le CIRM-CFBP est la Collection Française des Bactéries associées aux Plantes. Celle-ci préserve plus de 7000 accessions de bactéries, ressources stratégiques pour la protection des plantes.

Les missions de la collection sont de préserver les ressources et les données associées, rendre disponibles ces ressources pour la communauté scientifique internationale à des fins de recherche, développement et enseignement, et enfin, de valoriser les ressources.

### Faits marquants 2021

#### Projet BioFun

Le projet Biofun a fait l'objet d'un financement par la SFR Quasav pour la période 2020-2022. La méthode Biolog permet de mesurer le métabolisme microbien. Des plaques, contenant un ensemble de substrats et un indicateur coloré, sont ensemencées. Si le microorganisme étudié métabolise le substrat, il respire et provoque l'apparition d'une coloration violette. L'appareil Omnilog permet de mesurer 50 plaques en même temps et de produire les courbes de métabolisation. Cependant, pour les champignons filamenteux cela ne fonctionne pas correctement, de nombreux puits montrant des résultats non homogènes et non exploitables.

L'objectif du projet BioFun est d'adapter la technologie Biolog aux champignons filamenteux. Il a été décidé de modifier la méthode de mesure : mesurer la croissance du champignon au sein de chaque puits par néphélométrie (méthode par réfraction laser qui permet de mesurer la croissance des champignons). En 2021, Eva Tanneau, stagiaire de M1 a été accueillie pendant 4 mois sur le projet BioFun. Au cours de cette année, les paramètres d'analyse ont été établis et validés (type et concentration d'inoculum, paramètre d'acquisition des données au néphélomètre). Les données de respiration (mesurées à l'Omnilog) et de croissance fongique (obtenues au néphélomètre) ont été obtenues pour *Alternaria brassicicola* Abra43, la levure *Saccharomyces cerevisiae* SKQ2n, *Trichoderma atroviride* MMS1295, *Venturia inaequalis* 104, et *Alternaria dauci* FRA001. Une stratégie d'analyse des résultats des plaques Biologs a été développée. Les données issues de l'Omnilog et du néphélomètre ont été comparées. Ceci confirme d'une part l'hétérogénéité des résultats obtenus par l'Omnilog, et d'autre part, que le néphélomètre est utilisable pour mesurer le métabolisme des champignons filamenteux par la technologie Biolog. En parallèle, une procédure pour l'acquisition des images des microplaques Biolog au microscope (plateau IMAC) a été rédigée. Ceci permet l'acquisition rapide d'images permettant d'illustrer le comportement du champignon en présence d'une diversité de substrats. En 2022, la suite des données sera obtenue, et si possible les données de métabolisme seront comparées à des données génomiques (ressources pour lesquelles le génome complet est disponible).

## Valorisations 2021

- Becerra-Rodríguez C., Taghouti G., Portier P., Dequin S., Casal M., Paiva S., Galeote V. (2021) Yeast Plasma Membrane Fungal Oligopeptide Transporters Display Distinct Substrate Preferences despite Their High Sequence Identity. *Journal of Fungi*. Vol. 7 Issue 11 Pages 963. <https://doi.org/10.3390/jof7110963>

## Perspectives 2022

### Acquisition Quantom TX

Le Quantom TX est un appareil qui permet la quantification rapide de suspension de cellules bactériennes. La technique est basée sur le marquage des cellules, prise d'images et analyse d'images. Cet appareil permet de marquer soit l'ensemble des cellules, soit uniquement les cellules vivantes. Plusieurs équipes de la SFR Quasav se sont dit intéressées par cet appareil. Ce sera notamment une aide efficace pour quantifier des bactéries dans un macérat de semences, calibrer des suspensions pour construire des communautés synthétiques, quantifier un inoculum avant expériences sur plantes... L'appareil est commandé et arrivera au premier trimestre 2022.

**Poursuite du projet Biofun** : acquisition de données, valorisation.

**Acquisition de souches** : Intégration de ressources isolées pour le projet SUCSEED.

## IMAC : Microscopie et Imagerie Cellulaire

### Noms des Responsables :

Responsable opérationnelle : [Aurélia Rolland](#), Ingénieure, Université Angers (UMR1345 IRHS) [aurelia.rolland@univ-angers.fr](mailto:aurelia.rolland@univ-angers.fr)

Responsable scientifique : [David Macherel](#), Prof. Université Angers (UMR1345 IRHS)

Responsable technique : [Fabienne Simonneau](#), Tech. INRAE (UMR1345 IRHS)

### Introduction (présentation du PTM/PTF)

Le plateau technique IMAC de la SFR4207 QUASAV a pour vocation de proposer aux chercheurs de la SFR et de ses partenaires, et plus largement à la communauté scientifique et entrepreneuriale du pôle végétal angevin, un accès à des technologies et équipements indispensables à la conduite de travaux de recherche en microscopie et imagerie.

Sur le plateau, il est possible de réaliser les techniques classiques d'histologie (fixations, inclusions, coupes au microtome, colorations et analyses d'images, préparations extemporanées avec coupes au cryostat ou au vibratome), de cytologie (caryotype, hybridation in situ...) et d'observation en microscopie optique, électronique (MEB de paillasse) et photonique (microscopie à épifluorescence, microscopie confocale à balayage laser). Les préparations pour la microscopie électronique à transmission et à balayage sont également possibles en collaboration avec le service commun de microscopie de l'université d'Angers (SCIAM).

### Principaux équipements

Le PTM-IMAC est localisé dans le bâtiment Campus du Végétal. Le montant global du parc équipement sur le plateau s'élève à 770 k€. Seuls les équipements d'un montant d'achat supérieur à 10 k€ sont listés ci-dessous :

Equipement de microtomie	Observations et analyses
Cryostat Leica CM3050 S-mot/tr (2006)	- <i>Microscopie optique et photonique (fluorescence) :</i> Microscope Leica DM1000 (2006) Microscope Olympus BH2 (1984) Stéréomicroscope Olympus SZX16 (2007) Microscope confocal à balayage laser NIKON A1 (2010) Microscope Zeiss Axio Imager Z2, (2013) Macroscopie Zeiss Axio Zoom V16 (2019) Spinning disk Crest-Optics X-Light V3 (2020)
Microtome automatique Leica RM2165 (2001)	
Microtome automatique Leica RM2265 (2013)	
Vibratome MICROM HM 650V (2008)	
	- <i>Microscopie électronique :</i> Microscope électronique à balayage de table Phenom MEB PRO G2 (2012)

### Faits marquants 2021

#### Principaux projets :

L'activité du plateau peut être évaluée en considérant le nombre de projets d'imagerie cellulaire déposés par les chercheurs de la communauté scientifique végétale angevine et de ses partenaires.

La répartition des projets depuis ces cinq dernières années en fonction des axes de recherche de la SFR sont listés ci-dessous. Une baisse d'activité est enregistrée sur l'année 2020 en raison du contexte sanitaire lié à la COVID-19.

Axe	2016	2017	2018	2019	2020 COVID	2021		
Axe 1 : Gestion durable de la santé des plantes	8	8	19	15	10	13		
Axe 2 : Qualité physiologique et sanitaire des semences	8	9	8	10	10	8		
Axe 3 : Qualités des productions végétales spécialisées	7	17	14	8	5	12		
Autres : Axes hors SFR, ou Axe 1-2, Axe 1-3	0	0	0	4	2	4		
							Moy	
	<b>Total :</b>	<b>23</b>	<b>34</b>	<b>41</b>	<b>37</b>	<b>27</b>	<b>37</b>	<b>35</b>
	<i>Moyenne annuelle de projets / axe :</i>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>8</b>

**Evolution du nombre et de la répartition des projets, par axe depuis, 5 ans sur le PT IMAC.**

Au cours de l'année 2021, **37 projets** ont été initiés ou poursuivis sur le plateau IMAC, dont **sept** en lien avec des sujets de thèse. L'activité a bien été relancée, avec un niveau équivalent à celui de 2019, avant la crise sanitaire liée à la COVID.

**Partage de savoir-faire et de connaissances : Démonstration et utilisation d'outils d'imagerie à l'interface enseignement-recherche, accueil d'étudiants sur le plateau IMAC.**

**Essais pour des TIPE-étudiantes en classe préparatoire. Date : sept-nov. 2021**

Rencontre de 4 étudiantes de classe préparatoire au lycée Le Fresne à Angers, dans le cadre de leurs Travaux d'Initiative Pratique Encadrés (TIPE). Des essais ont été réalisés pour essayer de mettre en évidence l'absorption certains métaux lourds (Cu ou Zn) par des chlorelles (microalgues d'eau douce) en MEB-couplé à la diffraction aux rayons X (sonde EDX) et en microscopie optique.

**Ateliers pratiques : 30 étudiants, L3 SPV, Equipement IMAC : Microscopie confocale**

**Responsable : David Macherel\_IRHS-SMS, date : 26/02/2021-26/03/2021**

30 étudiants du module UE4 Biologie Cellulaire et Biotechnologie de la Licence 3 Sciences des Productions Végétales, ont participé à un atelier pratique sur l'imagerie de fluorescence (microscope confocal) de différents tissus et organites cellulaires (mitochondries, réticulum, cytosquelette) à travers 5 demi-journées

**Forte implication du plateau IMAC dans l'atelier expérimental Veg-Lab « IMASEED » (financement SFR QuaSav), octobre à décembre 2021, 2 après-midis par semaine.**

Laboratoire / équipe d'accueil : Plateaux IMAC et PHYTO de la SFR QUASAV, Equipe IRHS-FungiSem

Responsable du projet : Aurélie ROLLAND (IMAC), David GUILLET (PHYTO) et Claire CAMPION (FungiSem) – co-encadrante : Josiane LE CORFF (FungiSem)

Mise au point avec 2 étudiants de Master 2 Biologie Végétale Parcours Gestion de la Santé des Plantes d'une méthode de préparation d'échantillons de siliques et de graines (inoculées ou non par *A. brassicicola*) de différentes espèces de Brassicacées (colza et plantes sauvages) permettant leur analyse par imagerie HRMS (High Resolution Mass Spectrometry) sur le plateau PHYTO, pour identifier et localiser des composés essentiels pour comprendre le dialogue moléculaire plante-champignon lors de la transmission d'*A. brassicicola* aux graines.

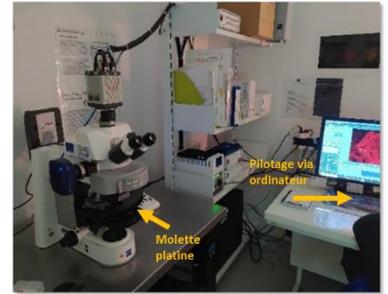
**Duo Day : Accueil de personnes en situation de handicap**

Programme découverte sur une journée pour partager son quotidien avec une personne en situation de handicap et peut-être susciter des vocations. Un court créneau de cette journée a été dédié à la visite et à la présentation du plateau IMAC et de ses activités.

## Nouvelles acquisitions :

- Platine motorisée pour le **microscope à fluorescence Axio Imager Z2** (Tiles et Positions)

L'Axio Imager Z2 est un microscope à épifluorescence très performant pour réaliser des acquisitions d'images en 2D, time lapse et en 3D (avec post-déconvolution des images). Il n'est cependant pas équipé avec une platine motorisée en xy, et l'utilisateur ne dispose donc que du système de molette classique sous la platine pour déplacer l'échantillon. Comme les autres réglages (choix des cubes de fluorescence, réglage caméra, focus, mode d'acquisition...) et les observations s'effectuent à 95% à partir de l'écran de l'ordinateur, cela implique pour l'utilisateur une gymnastique délicate avec un fort risque de perdre la zone d'intérêt. Il n'est également pas possible de garder en mémoire des positions d'intérêt, ou de réaliser une mosaïque d'image. Par ailleurs nos autres microscopes performants (Macroscope Axiozoom, Confocal A1-V3) disposent bien sûr de platines motorisées en xyz, et il sera maintenant possible d'offrir cette fonction à la fois confortable et performante pour nos utilisateurs.



L'installation de la platine motorisée est couplée avec l'ajout des modules logiciels permettant de réaliser des acquisitions de mosaïques (large image) ainsi que du multipoint (mémorisations des coordonnées de positions).

- Modules additionnels "ZEN Analyse d'image/Intellis" et "ZEN Experiment designer" pour l'AXIO ZOOM V16 (Macroscope)

Notre **macroscopie Axio Zoom V16** à fluorescence et entièrement automatisé (acquisition 2D, 3D, 4D, multi-points, mosaïque) acquis en 2019 est très utilisé du fait de ses performances et de sa facilité d'utilisation. Avec le recul que nous avons acquis lors de la mise au point des expérimentations avec les utilisateurs sur des modèles diversifiés, nous disposerons dorénavant de modules logiciels supplémentaires pour la conception et le pilotage d'expériences complexes, et pour une analyse d'image plus poussée.

Le module Analyse d'image sera ajouté au poste de travail informatique déporté et permettra la création de programmes de mesure automatique, segmentation, séparation d'objets et masques, mesures géométriques et d'intensité, affichage des données sous forme de tableau/liste/nuages de point/histogramme, mesures hiérarchiques, mesure de zone d'influence (ZOI), fonction de traitement par lots pour générer des listes de données cumulées ou des images avec des données de mesure intégrées...

Le Module Experiment Designer, est un module nécessaire pour la configuration des essais d'acquisition non homogènes, comme des séries temporelles, des série multi-temporelles, des piles en Z (avec des variations dans les pas), variation du grossissement, changement du type de caméra (de sensibilité différente) ...

## Rayonnement :

- **Brochure :**

3e édition « Angers & le végétal », publiée le 15 avril 2021

L'agence de **développement économique** d'Angers Loire Métropole (Aldev) présente de manière complète la filière du végétal sur le territoire dans une brochure « Angers & le végétal » dont le contenu a été réactualisé. Le MEB de table du plateau IMAC illustre les équipements et infrastructures dédiés à la formation, recherche et innovation de la filière végétale (voir page 14).



Brochure disponible en ligne : [www.angers-developpement.com/angersetlevegetal](http://www.angers-developpement.com/angersetlevegetal)

Version anglaise : [www.angers-developpement.com/angersandplants](http://www.angers-developpement.com/angersandplants)

#### - Sites internet :

Le réseau des microscopistes INRAE (Rmul, <https://www6.inrae.fr/rmui>) propose un **inventaire en ligne des équipements** de microscopie et d'imagerie utilisés par les adhérents au réseau. L'ensemble des équipements de microscopie et d'imagerie du plateau IMAC ainsi que toutes leurs caractéristiques techniques est à présent recensé dans cette base de données. La recherche peut s'établir par plateaux ou plateformes, ou bien par type d'équipement, et par mots clés. Prochainement, la recherche pourra se faire par localisation géographique.

Pour en savoir plus, <https://www6.inrae.fr/rmui/Equipements/Inventaire-equipement>

#### - Congrès

Le plateau IMAC a été représenté aux **10èmes Journées Scientifiques et Techniques du Réseau des Microscopistes INRAE (RμI)** qui se sont déroulées du 24 au 26 novembre 2021, et qui étaient organisées par le centre INRAE Val de Loire à Polytech Tours.

<https://colloque.inrae.fr/rmui2021/>

#### - Participation du personnel à des conférences et webinaires

### Principales valorisations 2021

#### Articles :

Sur l'année 2021, le Plateau IMAC a été co-auteur dans une publication et remercié dans cinq publications, sans oublier les citations dans les posters, mémoires de master et dans les thèses de doctorat de l'Université d'Angers.

Zhou, N., Simonneau, F., Thouroude, T., Oyant, L.H.-S., Foucher, F., 2021. Morphological studies of rose prickles provide new insights. *Hortic. Res.* 8, 221. <https://doi.org/10.1038/s41438-021-00689-7>

#### Poster :

Le personnel du plateau est cité dans les auteurs du poster **SCOOP12: an Arabidopsis primary root growth moderator also promotes defence against herbivory**, présenté par Marie-Charlotte Guillou (doctorante, équipe IRHS-BIDEFI) aux « 9th International Workshop on Plant Peptides and Receptors » qui a eu lieu à Regensburg (Allemagne) le 8 au 10 septembre 2021.

## Perspectives 2022

**La priorité sera donnée à la rédaction des dossiers d'appel d'offre** dans le cadre du projet CPER 2021-2027 **IMAX-Veg** : Imagerie d'excellence pour le végétal : Soutien à la plate-forme d'excellence PHENOTIC (membre du réseau Phenome-Emphasis, labélisée IBISA), porté par David Rousseau.

Le plateau IMAC dispose d'une enveloppe de 800 k€ / 2,510 M€.

En complément des équipements de phénotypage à l'échelle macroscopique demandé par la plate-forme PHENOTIC, une série d'équipements vise à élargir l'offre proposée sur le Plateau IMAC. Il s'agit ici de permettre le phénotypage des populations de cellules ou des tissus végétaux sur site à l'état natif.

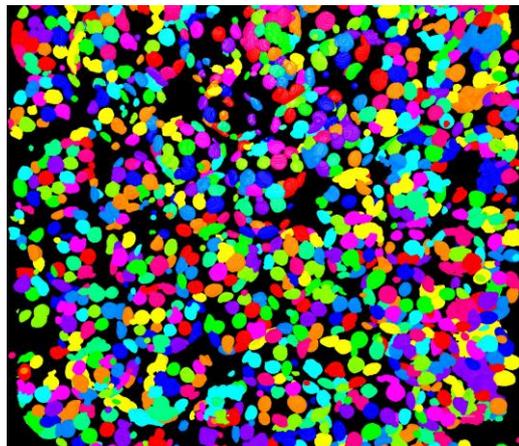
**-Jouvence du microscope confocal Nikon A1 (acquis en 2010).** Disposer sur site d'un microscope confocal performant est essentiel pour pouvoir analyser avec une grande finesse et souvent *in vivo* des échantillons biologiques variés. Le microscope confocal actuel est vieillissant et doit être rénové ou remplacé par un système à présent beaucoup plus performant en termes de sensibilité, de vitesse d'acquisition et de pilotage. Cet équipement qui sera complémentaire à ceux disponibles au SCIAM pourra être utilisé par des chercheurs de la santé, notamment pour des échantillons fixés.

**-Acquisition d'un nouveau microscope à balayage.** Le microscope à balayage de table (Mini-MEB Phenom) acquis en 2012 est saturé du fait de l'analyse de grandes séries d'échantillons végétaux. Equipé uniquement d'une sonde BSD (observation du contraste) avec un grossissement de 80-45 000 x, il ne répond pas à tous les besoins. Le nouveau microscope à balayage avec un grossissement de 80-150 000 x sera plus performant et surtout adapté à la nouvelle génération d'observations nécessaires dans le cadre des projets innovants dans lesquels s'engagent les chercheurs du site. Outre la sonde BSD, il sera équipé d'une sonde EDS pour l'acquisition de spectres de fluorescence X (mesures de composition en éléments), d'un détecteur SED qui augmente la résolution et permet d'acquérir des images topographiques, et d'un système de métallisation des échantillons.

**-Acquisition d'un scanner de lames.** Un tel système permet une acquisition automatisée rapide (portoir 100 lames) avec de multiples canaux, et en assurant une grande reproductibilité des conditions d'acquisition, il permet d'optimiser l'analyse d'image et d'améliorer ainsi la quantité et la qualité des résultats. Ce scanner sera également mobilisé pour reconnaître et quantifier des spores capturées sur des films plastiques incorporés dans des pièges à spores situés en serres.

Les demandes des différents systèmes d'imagerie numérique cités ci-dessus sont accompagnées de systèmes de traitement et de stockage de l'information avec des ordinateurs haute performance pour l'acquisition, la reconstruction et l'analyse images 3D ainsi que d'une station informatique dédiée à l'analyse d'image 4D (3D + temps).

Des animations lors des démonstrations par les sociétés leader du domaine seront proposées aux utilisateurs intéressés.



### **Les chloroplastes, une histoire de poi(d)s !**

Projet Chlorosize. Étude de l'influence des interactions nucléo-cytoplasmiques sur les chloroplastes des cotylédons d'*Arabidopsis thaliana*.

(Logiciel d'analyse d'image 3D, Logiciel NIS-A 3D Measurement NIKON)

*D. Macherel, microscopie confocale, IMAC*

# PLATE-FORME PHENOTIC

## **Responsables :**

Directeur : T. Boureau, Directeurs Adjointes D. Demilly, E. Belin et R. Gardet

## **Présentation du PTM/PTF**

La plate-forme PHENOTIC, dédiée au phénotypage des semences et des plantes, comprend deux sites : PHENOTIC-IRHS au sein de l'UMR IRHS, sous délégation générale de gestion INRAE, et PHENOTIC-SNES hébergée et gérée par le GEVES. PHENOTIC associe des compétences scientifiques en Biologie Végétale, et en Sciences et Techniques de l'Information et Communication pour intégrer l'innovation technologique au sein d'installations expérimentales. Ainsi, PHENOTIC propose à l'utilisateur un continuum depuis la production de matériel biologique jusqu'à l'acquisition et le traitement de données et métadonnées de phénotypage.

PHENOTIC propose des services de production de plantes et de phénotypage de la semence à la plante adulte. Ces services impliquent des flottes de capteurs destinées à l'imagerie de la plante (RGB, NIR, hyperspectral, imagerie de fluorescence de chlorophylle, 3D, ...), ainsi qu'à la caractérisation de son environnement (température, hygrométrie, luminosité). Ces capteurs peuvent être déployés en serre ou sont intégrés dans des chambres de culture robotisées.

L'objectif scientifique du dispositif vise à constituer une chaîne de phénotypage de la semence sèche à la plante entière susceptible de couvrir l'ensemble du cycle de développement de la plante. Ainsi, les utilisateurs peuvent :

- Evaluer la qualité et suivre la germination des semences et l'élongation des plantules.
- Caractériser le développement et l'architecture des parties aériennes des plantes.
- Evaluer l'impact de stress biotiques.

## **Faits marquants 2021**

### **PHENOTIC-Plant :**

Outre les importantes activités de production et suivi de matériel végétal dans un climat maîtrisé, une activité importante a été consacrée à la prise en main et au déploiement des équipements acquis dans le CPER PHENOTIC 2 et livrés en 2020, notamment :

- les enceintes robotisées Phenobean et les réseaux de caméra Phenogrid qui permettent l'imagerie en vue de dessus des parties aériennes des plantes au cours de leur croissance (projet CLIGDI, financé par la SFR QuaSAV).
- Les phytotrons CONVIRON qui permettent la croissance de plantes en conditions contrôlées, au sein desquels l'ajout de CO<sub>2</sub> est envisageable.

Le chantier pour la construction de la halle technologique et de nouvelles serres semi fermées pour le phénotypage de cultures horticoles en conditions réelles de production a démarré en avril 2021 et devrait s'achever en mars 2022.

### **PHENOSEM :**

L'activité de tomographie 3D a été réduite suite à une panne du tomographe. La suppression de tout service support en Europe pour cet équipement d'origine américaine et l'évolution technologique de ce type d'équipement conduisent à demander son remplacement sur budget CPER dès 2022.

Le report du financement des jouvences pour les bancs de germination afin de les adapter à des analyses sur papier plissé mieux adapté que le papier plat pour certaines espèces a réduit les activités de développement de ces analyses initialement prévues en 2021.

Le 6<sup>ième</sup> banc de germination acquis dans le cadre du CPER PHENOTIC2 a été mis en service

### **Principaux projets :**

- OSMOSE
- CLIGDI

- SUCSEED
- ECLA
- ZERO PHYTO
- MATCH
- ISOSEED
- SEED MICROBIOME
- XF ACTORS
- PROTECT+
- PROMETEUS
- CARO
- ROSA GALLICA

#### **Demande de labélisation :**

Les installations PHENOTIC Plantes (sur le site IRHS) de la plateforme PHENOTIC ont été labellisées Infrastructures Scientifiques Collectives (ISC) par l'INRAE.

#### **Nouvelles acquisitions :**

- 6 phytotrons CONVIRON
- Cabine automatisée de pulvérisation

#### **Valorisations 2021**

##### **Articles dans des revues à comité de lecture :**

- Zhijuan Chen, Joseph Ly Vu, Benoit Ly Vu, Julia Buitink, Olivier Leprince, et al.. Genome-Wide Association Studies of Seed Performance Traits in Response to Heat Stress in *Medicago truncatula* Uncover *MIEL1* as a Regulator of Seed Germination Plasticity. *Frontiers in Plant Science*, Frontiers, 2021, 12, pp.673072. [10.3389/fpls.2021.673072](https://doi.org/10.3389/fpls.2021.673072)
- Grégoire Bianchetti, Cécile Baron, Aurélien Carrillo, Solenne Berardocco, Nathalie Marnet, Marie-Hélène Wagner, Didier Demilly, Sylvie Ducournau, Maria Manzanares-Dauleux, Françoise Le Cahérec, Julia Buitink, Nathalie Nesi, 2021. Dataset for the metabolic and physiological characterization of seeds from oilseed rape (*Brassica napus* L.) plants grown under single or combined effects of drought and clubroot pathogen *Plasmodiophora brassicae*. Data in Brief, Volume 38, 2021 <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107247>
- Shinohara T., Ducournau S., Matthews S., Wagner M.-H., and Powell A.A., 2021. Early counts of radicle emergence, counted manually and by image analysis, can reveal differences in the production of normal seedlings and the vigour of seed lots of cauliflower. *Seed Science and Technology* 49, 3, 219-235. <https://doi.org/10.15258/sst.2021.49.3.04>

##### **Communications orales:**

- Belin E., 2021. Approches d'active learning appliquées aux données du robot Phenobean. Journée Scientifique de l'axe ASM Biogenouest. 9 décembre 2021.
- Boureau T., 2021. High Throughput Phenotyping for monitoring the growth of rosettes size and symptoms on various mutants of interest of *Arabidopsis thaliana*. Meeting French Network on *Xanthomonas*, 22-24 novembre 2021, Piriac France.
- Bosc A, Grenier T, Lare E. 2021. Suivi de la croissance de 16 génotypes d'*A. thaliana* à l'aide du robot de phénotypage Phenobean. Journée Scientifique de l'axe ASM Biogenouest. 9 décembre 2021.
- Boureau T, Belin E., Gardet R., 2020. Phenobean : un robot pour du phénotypage haut-débit de petites et moyennes plantes en milieu contrôlé. Journée scientifique de l'axe ASM de BioGenOuest- Jeudi 6 octobre 2020
- Boureau T., Belin E. 2020. Présentation de la plateforme PHENOTIC. IMABIO online 4 novembre 2020. Disponible sous forme de vidéo commentée sur <https://www.youtube.com/watch?v=YfdlYg9UXSk>
- Wagner M.-H., Demilly D., and Ducournau S., 2021. Seed germination phenotyping in controlled conditions to measure genetic diversity and address climate change. ISSS/ISTA webinar "Phenotypic plasticity of seed traits", 15 December 2021, online.

### Rapports et soutenances orales:

- Redon M. 2021. Imagerie pour le phénotypage du végétal. Application au robot Phenobean. Rapport de projet M2 PSI, Université d'Angers. 09/02/2021.
- Redon M. 2021. Imagerie pour le phénotypage du végétal. Application au robot Phenobean. Rapport d'alternance M2 PSI, Université d'Angers. 26/08/2021.
- Bosc A, Grenier T, Lare E. 2021. Suivi de la croissance de 16 génotypes d'*A. thaliana* à l'aide du robot de phénotypage Phenobean. Soutenance Module VEGLAB, M2 BV Université d'Angers. 7 décembre 2021.
- Redon M. 2021. Imagerie pour le phénotypage du végétal. Application au robot Phenobean. Soutenance M2 PSI, Université d'Angers. 30/08/2021.
- Blanchard L, Brard L, Ligonnière M., 2020. Prise en main du Robot de phénotypage PHENOBEAN. Soutenance Module VEGLAB, M2 BV Université d'Angers. 9 décembre 2020.

### Perspectives 2022

Les nouveaux bâtiments et la nouvelle serre financés dans le cadre du CPER PHENOTIC2 seront livrés en mars 2022. Les personnels IRHS de PHENOTIC pourront donc déménager du bâtiment G vers les nouveaux locaux.

Un projet autour de la gestion du climat dans les nouvelles serres est en cours de construction avec des partenaires privés pour commencer à envisager l'exploitation des nouvelles serres. Un projet visant au phénotypage haut débit de solutions biostimulantes a été déposé auprès de la Région Pays de Loire. Lors d'un tel projet, l'utilisation de la nouvelle cabine de pulvérisation automatisée permettra d'assurer la précision, la reproductibilité et la traçabilité des traitements effectués sur les parties aériennes des plantes. Des collaborations avec des équipes de pathologistes de l'IRHS devraient permettre de calibrer les conditions d'inoculation à l'aide de cette cabine de pulvérisation automatisée. Enfin, la plateforme participe au dépôt d'un projet européen autour de l'adaptation des plantes à des conditions climatiques sub-optimales.

Technologiquement, la prise en main de la seconde enceinte de phénotypage robotisée représentera un gros challenge, dans la perspective d'un phénotypage en 3D des plantes suivies, ou de l'imagerie des parties aériennes de plantes dont les feuilles sont à port vertical (ex : monocotylédones).



Photo de l'installation PHENOBEAN 1 en cours d'expérimentation lors du projet CLIGDI. Essai de culture et d'imagerie sur pommiers semis.

# PLATEAU TECHNIQUE

## Phyto

### Responsables

Responsable : **Séverine BOISARD**

Ingénieur d'étude (1/2 temps) : **Dimitri BREARD**

### Présentation du PTM/PTF

Le plateau technique PHYTO est un ensemble mutualisé d'équipements dédiés à l'analyse phytochimique et couvrant les principaux besoins dans ce domaine :

- Réalisation d'extraits végétaux,
- Développement de méthodes chromatographiques analytiques couplées [UV, spectrométrie de masse (MS), etc.]
- Fractionnement et purification par chromatographie semi-préparatives et préparatives,
- Identification structurale, notamment par spectrométrie de Résonance Magnétique Nucléaire (RMN) mono et bidimensionnelle

L'objectif principal de ce plateau est d'apporter un support scientifique et technique aux membres de la SFR souhaitant réaliser des analyses qualitatives ou quantitatives de métabolites secondaires d'origine végétale.

### Faits marquants 2021

#### Projet pédagogique

Initiation à l'imagerie HRMS par la source DESI dans le cadre du projet étudiant VegLab (partenariat FungiSem/PT IMAC/PT PHYTO).

#### Nouvelles acquisitions du PT PHYTO sur l'année 2021

Il ne s'agit pas d'une nouvelle acquisition d'appareil dans sa totalité, mais du remplacement du module UPLC de l'UPLC-TSQ-MS (ThermoFisher Scientific) qui était défectueux et dont les pièces détachées n'étaient plus disponibles sur le marché. Montants module UPLC Dionex : 19851 € HT (chaîne de démo + upgrade logiciels) + PC : 1892€ HT, financés sur fonds propres (LabCom FIT).

#### Principaux projets utilisateurs du PT PHYTO sur l'année 2021

Thème	Équipe	Besoin
DEPICT (Déréplication LDI MS/RMN 13C)	SONAS	Analyse
Projet FLARESCAD	SONAS/QuaRVeg	Analyse
UPROAR	SONAS/FungiSem	Analyse/Synthèse
Projet DIVE (PRCI ANR)	SONAS	Synthèse
Projet Aldautox	SONAS/FungiSem	Analyse/Synthèse
Projet SiTa-PC	SONAS/ResPom +partenaires européens	Analyse/Synthèse
Projet CIDEPA	SONAS/FungiSem	Analyse/Synthèse
Labcom Feed In'Tech (ANR)	SONAS/NorFeed	Analyse
Dosage caroténoïdes	QuaRVeg	Quantification

### Valorisations 2021

Un article sur la déréplication par RMN du 13C en utilisant le logiciel MixONat, développé au SONAS

Bruguière, Antoine ; Derbré, Séverine ; Bréard, Dimitri; Tomi, Felix ; Nuzillard, Jean-Marc; Richomme, Pascal. (13) C NMR Dereplication Using MixONat Software: A Practical Guide to Decipher Natural Products Mixtures. PLANTA MEDICA, 2021, 87 (12/13), 1061-1068.

Deux posters en lien direct avec les activités du plateau PHYTO

(1) Boisard Séverine, Azonwade François Ezin, Le Ray Anne-Marie, Derbré Séverine, Goubalan Elvire, Baba-Moussa Lamine Saïd, Richomme Pascal. Phytochemical study of propolis samples collected in Benin, Africa. AFERP Virtual symposium, Juillet 2021.

(2) Maxime Le Bot, Sekhou Cissé, David Guilet. Quantification of *Citrus limon* (L.) Burmin in complete feed with UHPLC-MS/MS using a double “one-point” standard addition. 69th International Congress and Annual Meeting of the Society for Medicinal Plant and Natural Product Research (GA), Virtual meeting 5-8 sept. 2021

## Perspectives 2022

Concernant le fonctionnement du plateau, le projet sur l'année 2022 est de passer d'une gestion sur le centre financier du laboratoire SONAS à celui de la SFR QUASAV (discussions en cours actuellement).

Au niveau scientifique, trois projets importants : 1) Dosage de la phloridzine et dérivés dans les pommes à chair rouge (IRHS-VALEMA), 2) Dosage de la delphinidine et co-pigments dans les inflorescences d'hortensias (LabCom MATCH) et 3) dosage de plusieurs classes de métabolites secondaires dans les fleurs de cannabis (Projet Cannatech partenariat Delled/IRHS/SONAS).

Nous proposons également d'organiser une animation autour du nouvel équipement UPLC-QTOF-MS Waters : Sources ESI et DESI (Imagerie), Module QTOF, Logiciel Progenesis (identification/quantification de composés dans des séries d'échantillons).

### Analyseur Temps de vol

(a)

### Spectre de masse Haute résolution

(b)

Module UPLC

Source électrospray

Liste de formules brutes potentielles

Formule développée proposée

Appareil UPLC-QTOF-MS (a) et logiciel Progenesis (b)

# PLATE-FORME

## SENSO'VEG: *Analyse Sensorielle*

### Responsable

Ronan SYMONEAUX :

Groupe ESA - 55, rue Rabelais – BP 30748 - 49007 Angers

tél. 33 (0)2.41.23.56.05,

E-mail : [r.symoneaux@groupe-esa.com](mailto:r.symoneaux@groupe-esa.com)

### Présentation du PTM/PTF

L'objectif de la plateforme mutualisée Senso'Veg est de :

- Faire bénéficier les membres de la SFR QUASAV des compétences et de l'expertise méthodologique pour l'analyse sensorielle des produits et l'appréciation des consommateurs.
- Mettre à disposition l'équipement d'analyse sensorielle, les consommateurs et panels entraînés et le savoir-faire en sensométrie
- Développer, adapter les méthodes d'évaluation en lien avec les problématiques sensorielles des chercheurs de la SFR
- Intégrer les attentes et préférences sensorielles des consommateurs dans le processus d'innovation et d'amélioration des plantes et des produits

La plateforme mutualisée repose sur l'expertise sensorielle portée par l'unité de recherche GRAPPE du groupe ESA.

### Principaux équipements

Les équipements de la plateforme sont :

- Salle de dégustation à 20 box normalisée (NF ISO 8589) pour la réalisation des dégustations
- Salle de Focus Group réaménagée pour une montée en gamme avec un équipement Audio-Video pour études qualitative et observationnelle permettant l'enregistrement multivoix, streaming en live et replay
- Suite de logiciels spécialisés pour les études sensorielles (FIZZ, VISO, The Observer)
- Un panel entraîné de 18 juges spécialisée Fruits et Légumes (frais et transformés)
- 24 tablettes windows pour acquisition à l'extérieur
- Cuisine de préparation avec matériel de chauffage (four mixte, micro-onde, gaz...) et de préparation
- Un fichier consommateurs de 2000 consommateurs

## Bilan des activités et Faits Marquants

### Une activité maintenue malgré le COVID-19 et la mise en service de la salle pour les études qualitatives

Les activités sensorielles nécessitant de fortes interactions avec le public et la plateforme SENSOVEG étant situé dans un établissement ERP, l'activité a été particulièrement impactée par le télétravail, les distanciations... Néanmoins, les protocoles mis en place nous ont permis de maintenir nos activités à un niveau très satisfaisant.

Nous avons pu organiser nos premières séances dans notre nouvelle salle dédiées aux études qualitatives. Les sept caméras, trois télévisions HD, six microphones, trois haut-parleurs, une grande vitre sans tain et la réfection de l'ensemble du mobilier et des salles permettent aujourd'hui d'entrer dans une nouvelle dimension pour les études qualitatives et observationnelles.

Ces outils seront très utiles pour l'intégration des consommateurs dans les processus d'innovation alimentaire. Ainsi, par exemple, dans le cadre de la co-conception de produits, l'équipe R&D située en cuisine peut reformuler en direct les prototypes en fonction des avis et idées émises par les consommateurs en salle. L'interconnexion des outils numériques permet également une analyse sémiologique plus fine après les séances.

### Des développements méthodologiques

Le HRATA (Hierarchical Rate All That Apply), une nouvelle méthodologie mise au point par la plateforme dans le cadre du projet SENSTAX fait l'objet de travaux complémentaires pour améliorer l'acquisition et le traitement des données. Néanmoins, la méthodologie est proposée à nos clients dans nos prestations.

Le projet JINNOV a permis de développer une dégustation hédonique en contexte immersif. Cette approche permet de recontextualiser en cabine de dégustation un contexte alimentaire (petit déjeuner, apéro...) qui permet de ce fait d'étudier la cohérence d'un produit ou d'un concept produit dans un contexte donné.

La plateforme SensoVeg est également représentée à la SFAS (Société Française d'Analyse Sensorielle) est dans ce cadre, elle a contribué au projet VocaConso qui s'intéresse à la compréhension et la valence des attributs sensoriels par les consommateurs.

### Axe Fruits & Légumes, Vin & Cidre, Protéine Végétale

Plusieurs projets intégrant la qualité des produits et la perception des consommateurs sont en cours ou se terminent au sein de l'unité de Recherche GRAPPE et utilisent la plateforme SensoVeg. Au-delà de l'ancrage sur les Fruits et Légumes, le vin et le cidre, la plateforme travaille désormais également sur l'évaluation sensorielle des Protéines Végétales et le panel entraîné suit une formation dans ce sens.

- Cidre et Pommes à Cidre :

JINNOV : Développement des Jus de pomme INNOVants issus de la filière cidricole pour diversifier l'offre, et en adéquation avec la demande des consommateurs (FranceAgriMer porté par IFPC) – Ce projet s'est terminé en 2020 mais la journée technique de clôture a dû être reportée en 2022 à cause du COVID.

- Vin :

SENSTAX : Développement d'une nouvelle méthode d'acquisition des données sensorielles en intégrant une taxonomie sémantique des odeurs (Thèse cofinancé ESA-RFI Food For Tomorrow) – Terminée en 2020, le travail se poursuit par le transfert de la méthodologie HRATA vers d'autres produits dont les pommes.

VSS2020 : Acceptabilité des Vins Sans Sulfites (Projet CASDAR) - Ce projet implique la plateforme dans la coordination d'enquêtes auprès de professionnels de la filière viticole

- Fruits et Légumes :

FLEGME : Fermentation des légumes : Un projet de sciences participatives pour une conservation plus durable des légumes et une diversification de leurs modes de consommation

- Protéine Végétale : Différents projets impliquent la plateforme à la fois pour l'expertise de son panel sur la caractérisation des matrices contenant des protéines végétales et pour l'étude de l'acceptabilité des consommateurs.

ARSENE (Détermination des caractéristiques sensorielles, et notamment aromatiques, des protéines végétales dans des matrices simples et complexes)

AAGINOV : Développement de solutions innovantes et gourmandes intégrant des protéines végétales pour lutter contre la dénutrition des seniors (FUI)

AGAPE : Apport de la GAstronomie Pour Elargir la consommation de légumineuses

La plateforme est également impliquée dans la chaire AAPRO : « Avantages et acceptabilité des PROtéines alternatives (Advantages and Acceptability of alternatives PROteins) »,

## **Axe Plantes ornementales**

La plateforme Senso'Veg est impliquée dans l'UMT STRATEGE qui a pour ambition d'apporter de nouvelles stratégies techniques et marketing pour mieux répondre aux marchés urbains émergents. Dans ce cadre, la plateforme Senso'Veg apporte également son expertise pour l'évaluation des concepts testés et l'intégration des consommateurs dans les processus d'innovation.

- CREA'GAMME : Définition de gammes de végétaux en fonction de leurs usages pour répondre aux attentes des consommateurs (FranceAgriMer & VALHOR porté par Astredhor)
- DEXinnov : Développer un outil d'analyse multicritère pour augmenter la performance des innovations de la filière horticole : une analyse de l'amont de la chaîne de valeur jusqu'aux consommateurs – Projet accepté CASDAR RT et Thèse Cifre Astredhor
- PRODECO : PRODUCTION ECO-responsable en horticulture ornementale –

Une contribution significative de 2021 est la contribution à un ouvrage collectif « *Nonfood Sensory Practices* » qui fait un état des lieux de l'utilisation des sciences sensorielles pour les plantes d'ornement.

## **Activités de prestations**

En parallèle des activités avec des équipes de recherche, la plateforme Senso'Veg réalise des prestations pour des entreprises privées. Trois types de prestations principales sont réalisés : des analyses sensorielles par panel entraîné, des tests hédoniques et des « focus group » par des consommateurs.

La plateforme Senso'Veg a réalisé des études pour des obtenteurs, des semenciers, des producteurs et transformateurs de fruits et légumes. Les produits les plus étudiés sont les tomates, les melons et les pommes, puis les carottes, les poireaux, des oignons, des échalotes, le vin et le cidre mais d'autres Fruits et Légumes et d'autres produits alimentaires ont également été dégustés. Nous avons également été sollicité sur l'univers de la jardinerie et des substrats.

Notre expertise méthodologique a également été sollicitée pour des consultances et formations au sein d'entreprises de la filière Fruits et Légumes.

## Perspectives

Pour 2022, plusieurs projets de recherche sont en cours de validation et intégreront l'expertise de la plateforme SensoVeg.

D'un point de vue méthodologique, l'accent sera mis sur le déploiement de la méthodologie HRATA qui est très prometteuse mais nécessite encore des améliorations et des adaptations à différents espaces produits.

## Valorisations 2021

Symoneaux, R., Segond, N., & Maignant, A. (2022). Sensory and consumer sciences applied on ornamental plants. In *Nonfood Sensory Practices* (pp. 291-311). Woodhead Publishing.

Thomas, C., Maître, I., Picouet, P. A., & Symoneaux, R. (2021). Organic consumers' perceptions of environmental impacts of food overlap only partially with those considered by life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 298, 126676.

Koenig, L., Cariou, V., Symoneaux, R., Coulon-Leroy, C., & Vigneau, E. (2021). Additive trees for the categorization of a large number of objects, with bootstrapping strategy for stability assessment. Application to the free sorting of wine odor terms. *Food Quality and Preference*, 89, 104137.

Khiari, R., Le Meurlay, D., Patron, C., Symoneaux, R., Zemni, H., Mihoubi, D., & Maury, C. (2021). Characterization of physico-chemical, textural, phytochemical and sensory properties of Italia raisins subjected to different drying conditions. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(5), 4635-4651.

# Rubriques libres



## LSV - BVO

### Bactériologie, Virologie et OGM

'*Candidatus Phytoplasma phoenicium*' est l'agent causal de la maladie du balai de sorcière des amandiers. Il est présent au Liban et en Iran où il provoque des dégâts importants sur Prunus. En 2017, ce phytoplasme a été détecté pour la première fois en Italie. Le projet Euphresco 'DIPCAPP' auquel le LSV a participé, a permis de comparer et d'évaluer quatre PCR conventionnelles et deux PCR en temps réel pour sa détection et son identification. Les résultats de l'essai inter-laboratoires ont montré que les PCR conventionnelle et temps réel développées par Jawhari et al. (2015) sont les plus performantes pour la détection de '*Candidatus Phytoplasma phoenicium*'. Les résultats de ces travaux ont permis la rédaction et la publication d'un protocole OEPP publié en 2021.

Rapport du projet : <https://doi.org/10.5281/zenodo.5075511>

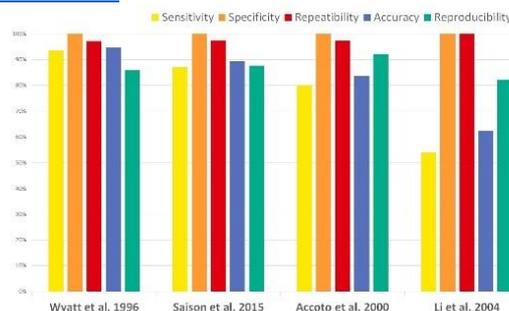
Protocole OEPP : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/epp.12799>



Symptômes de balai de sorcière sur amandier associés à la présence de *Candidatus phytoplasma phoenicium* (Gauche : infecté ; Droite : sain).

Le genre *Begomovirus* (Famille *Geminiviridae*) est le plus grand genre de virus végétaux (>400 espèces). Les begomovirus infectent un large éventail de plantes dicotylédones économiquement importantes et représentent un problème émergent dans le monde entier, en raison de la large distribution de leurs vecteurs (ex : *Bemisia tabaci*) dans toutes les zones de production de légumes. Récemment, un autre begomovirus, le Tomato leaf curl New Delhi virus (ToLCNDV) a été officiellement signalé dans plusieurs pays méditerranéens et en France présentant une menace potentielle pour les cultures de Cucurbitacées et Solanacées. Dans ce cadre et à travers le projet international Euphresco Begomoval, piloté par le laboratoire de la santé des végétaux (LSV-UBVO), une évaluation de la performance de plusieurs tests de détection a été faite. Elle avait pour objectif de comparer et identifier une méthode de PCR conventionnelle conduisant à la détection d'une large gamme de begomovirus. Ce projet a regroupé huit laboratoires internationaux. L'ensemble a fait l'objet d'un rapport et sert de base à la rédaction d'un nouveau protocole international OEPP.

<https://zenodo.org/record/5909640#.YfJbkurMKUm>

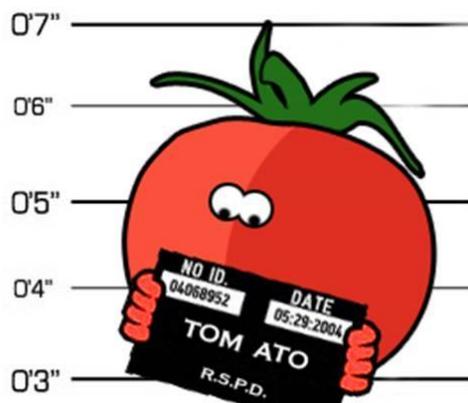


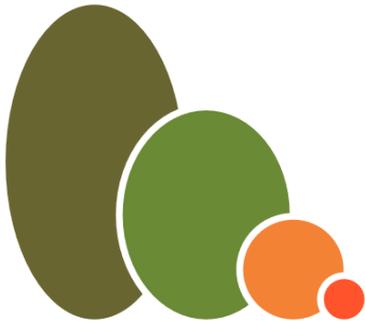
Graph : Results of the performance different criteria of the evaluated methods

Dans le cadre de la surveillance officielle du territoire, deux nouveaux « sequence type » (ST) de la sous-espèce multiplex de *Xylella fastidiosa* ont été récemment détectés, suite à des analyses MultiLocus Sequence Typing (MLST), sur plusieurs espèces végétales en région PACA (Cunty et al., in prep). Le premier, nommé ST88 a été identifié sur la commune de Saint-Raphaël (Var). Ce ST est très proche du ST7 avec seulement deux nucléotides différents sur un seul gène de ménage parmi les sept portions analysées. Le second, nommé ST89 a été identifié sur la commune de Villeneuve-Loubet (Alpes Maritimes) et présente un profil MLST très différent du ST7 ou ST6 détectés en PACA. D'après les résultats de MLST, celui-ci semble proche de ST identifiés aux USA (ST41 et ST43). Ces deux nouveaux ST, qui se maintiennent dans le temps, mettent en évidence la diversité des souches de la sous-espèce multiplex et des sources d'introduction en France, et en Europe où ont déjà été reportés ST6, ST7, ST81, ST87, et maintenant ST88 et ST89. Une souche de chaque ST a pu être isolée ; elles font l'objet d'un projet collaboratif d'analyse génomique avec l'équipe EmerSys. [https://shiny-public.anses.fr/Xylella\\_fastidiosa/](https://shiny-public.anses.fr/Xylella_fastidiosa/)



Les denrées alimentaires d'origine végétale peuvent être contaminées par une grande variété d'agents pathogènes, pour l'homme et pour les plantes. Le projet Pathobiome, financé par l'Anses et impliquant le Laboratoire de la santé des végétaux et le Laboratoire de la sécurité des aliments, vise à évaluer la détection de ces différents pathogènes grâce au séquençage métagénomique et métabarcoding avec le MinION. Une collaboration avec les unités d'Evaluation des risques liés aux aliments (UREALIM) et d'Expertise des risques biologiques (ERB) a permis d'identifier les couples agent pathogène / aliment végétal les plus à risques en termes de sécurité des aliments, et d'évaluer les risques d'un transfert vers l'environnement, en particulier des agents phytopathogènes. Pour les bactéries et les champignons, les résultats obtenus montrent qu'une approche uniquement métagénomique avec le MinION est compliquée en fonction des matrices, et nécessitera une optimisation des protocoles d'extraction afin d'améliorer la pureté des ADN. Un séquençage métabarcoding (16S bactérien et ITS fongique) a en revanche permis la détection des différents pathogènes à de faibles concentrations, mais avec quelques problèmes de spécificité jusqu'au genre. Concernant les virus, les premiers essais sur les ARN ont montré que l'approche métagénomique était pertinente sur les phytovirus, mais demande une amélioration des protocoles d'extraction pour les virus entériques.





# GEVES

## Groupe d'Étude et de contrôle des Variétés Et des Semences



### Le GEVES déploie son plan de prise en charge du LNR Santé des Végétaux

Le GEVES a été nommé LNR (Laboratoire National de Référence) en santé des végétaux (LNR SV) sur les Organismes Réglementés Non de Quarantaine (ORNQ) sur matrice semences et plants de fraisier, griffes d'asperge et bulbes du genre *Allium*, par le ministère en oct. 2020. C'est l'Unité technique Détection de bioagresseurs, composée de 3 laboratoires : Pathologie Qualité Sanitaire, Analyses

Physiques et BioGEVES, qui prend en charge ce nouveau mandat composé de 56 lignes d'analyses pour 34 bioagresseurs. Après priorisation, le plan de travail 2020-2023 a été déployé.

Une responsable de projet LNR SV a été recrutée. Justine Foucher, ancienne doctorante de l'IRHS à Angers, travaille en particulier cette année sur la rédaction des méthodes officielles GEVES pour *Clavibacter michiganensis subsp. michiganensis* (Cmm) sur tomate et *Xanthomonas* sur haricot. Elle prend en charge la validation des méthodes *Phomopsis complex/soja*, *Botrytis cinerea/ Helianthus annuus*, 5 bioagresseurs / *Linum usitatissimum*. Le Laboratoire d'Analyses Physiques travaille sur la validation de la détection de Bruches et explore d'autres techniques dans le cadre d'un projet co-financé par l'ISTA, détaillé ci-dessous. Le laboratoire de BioGEVES s'attache au transfert de la méthode de détection de *Plasmopara halstedii* sur tournesol. L'Unité a par ailleurs validé une amélioration de la filtration pour la détection des nématodes *Ditylenchus dipsaci* sur luzerne pour les analyses morfo-biométriques et de SE-PCR.

Le GEVES a organisé 4 EIL en 2021 dont la liste peut être consultée sur <https://www.geves.fr/essais-interlaboratoires-eil/>, dont un pour la détection de *Ditylenchus dipsaci* sur luzerne par analyse morfo-biométrique dans le cadre de l'encadrement des laboratoires agréés. Les EIL du GEVES sont également ouverts aux laboratoires de l'ensemble de la filière semence.



### Faire face à la problématique Insectes dans les lots de semences : le GEVES en action

La relation entre insectes ravageurs et semences est une problématique croissante. La lutte contre ces insectes devient de plus en plus complexe en raison d'enjeux mondiaux, tels que l'augmentation des échanges entre les pays, le changement climatique, la volonté d'évoluer vers une agriculture plus respectueuse de l'environnement... Pour les insectes, la plante fait partie de la chaîne alimentaire ou est un hôte obligatoire. Les dégâts causés par les insectes dans les champs et/ou lors du stockage peuvent avoir un impact très important sur l'économie, l'environnement et la sécurité alimentaire. Par ailleurs, les semences peuvent devenir des vecteurs importants de la propagation des insectes. Les restrictions imposées par les pays sur l'importation de lots de semences sont de plus en plus strictes afin d'empêcher l'importation de lots de semences de mauvaise qualité et infestés d'espèces d'insectes non endémiques

et/ou envahissantes. Cependant, actuellement les règles de l'ISTA ne prévoient pas de méthodes capables de répondre à ces demandes.

Dans ce but, un projet de recherche financé par l'ISTA et réunissant plusieurs partenaires internationaux (dont le GEVES-SNES et ANSES-LSV) a débuté en 2021. L'objectif est de rechercher des méthodes efficaces de détection et de surveillance de la présence d'insectes dans les lots de semences. La première étape du projet consiste à identifier les besoins des laboratoires, des organismes de réglementation et des parties prenantes en ce qui concerne les insectes associés aux semences. En combinaison avec une enquête bibliographique sur les méthodes existantes, des décisions seront prises concernant le choix des combinaisons semences-insectes et des tests préliminaires seront effectués sur un nombre limité d'espèces. Différentes techniques de détection et d'identification des insectes seront étudiées en utilisant les mêmes lots de semences pour toutes les techniques. Ces travaux pourront ensuite aboutir à la proposition de méthodes pour intégration dans les Règles ISTA ou encore la rédaction de méthodes officielles par le GEVES en sa qualité de LNR Santé des Végétaux sur les bruches.

### **ToBRFV : renouvellement de l'agrément du GEVES et premiers travaux d'évaluation de la résistance variétale**



Après avoir été le seul laboratoire agréé par le ministère, pendant plus d'un an, l'agrément du GEVES pour la détection du ToBRFV sur semences a été renouvelé le 21/07/21 à la suite de sa participation avec succès à l'Essai Inter Laboratoires organisé par l'ANSES sur la méthode officielle MA066. En parallèle, le laboratoire de Pathologie du GEVES a travaillé sur la mise au point d'un test d'évaluation de la résistance des variétés de tomate pour la filière semences avec l'acquisition de souches et de variétés dont le niveau de résistance est en cours d'étude. La prestation d'évaluation de la résistance au ToBRFV est désormais disponible au GEVES par biotest et détection par RT-qPCR. Le GEVES a augmenté ses capacités d'analyses en renforçant ses équipements de broyage d'échantillons et d'extraction d'ARN. Un broyeur SeedShaker permet le broyage simultané de 16 (piment) ou 32 (tomate) échantillons. Un robot d'extraction d'ARN, KingFisher Flex automatise l'extraction d'ARN. Les essais pour la validation de méthode par étude des critères de performance ont été menés avec efficacité. Ces deux équipements permettent de quadrupler les capacités d'analyses du GEVES pour la détection de ToBRFV et au-delà pour la détection de virus sur semences.

En octobre 2021, l'OCVV a validé le co-financement du projet : "Mise à jour des tests de résistance de DHS en lien avec l'évolution des pathogènes" pour la mise au point des tests de résistance de la tomate et du piment au ToBRFV et l'évolution du test de résistance du melon à *Aphis gossypii*.

### **Suivi automatisé de la germination des semences : Le GEVES s'associe à la start-up ScreenSeed®**

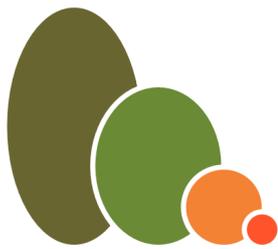


Depuis près de deux ans, le GEVES travaille avec ScreenSeed® pour le co-développement d'une méthode de suivi automatisé de la germination des semences. Le GEVES accompagne la start-up par son expertise méthodologique et sa connaissance des semences dans le développement de son outil de phénotypage haut débit. Le partenariat mis en place se poursuit cette année avec désormais la mise en place d'une offre commune de prestation de service portée par le GEVES. Les robots ScreenSeed® hébergés au GEVES permettent à l'aide d'un dispositif automatisé de prise d'images le suivi en temps réel de la germination de semences, préalablement déposées dans des puits indépendants de microplaques. Les images sont ainsi automatiquement collectées, traitées et les données générées sont ensuite vérifiées. Le résultat de l'essai est rendu disponible *via* une application internet permettant de modifier la présentation des données de manière personnalisée. Le dispositif a déjà été testé avec des graines d'*Arabidopsis thaliana*, ainsi

qu'avec des semences d'espèces cultivées de petite taille (carotte, laitue, tomate, colza). Placés dans une enceinte climatique, les robots ScreenSeed® offrent la possibilité d'étudier la germination dans des conditions de températures variées. Cette méthode de phénotypage haut-débit peut avoir de très nombreuses applications -notamment, l'évaluation de la germination de semences issues de différents génotypes, le criblage de molécules, d'agents ou de produits appliqués sur semences, ou l'étude de l'effet de traitements sur la germination. Ce partenariat avec la start-up ScreenSeed® permet au GEVES de compléter et renforcer son expertise méthodologique de phénotypage des semences au service des acteurs scientifiques ou professionnels de la filière semences, engagés dans la transition agroécologique.

## **Bibliographie**

Mérieux, N., Cordier, P., Wagner, MH. et al. ScreenSeed as a novel high throughput seed germination phenotyping method. *Sci Rep* 11, 1404 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79115-2>



## GRAPPE

Groupe de recherche en agroalimentaire sur les produits et procédés

L'unité de recherche GRAPPE a organisé un colloque « Œnotourisme et développement durable : l'éco-œnotourisme est-il possible ? », le 18 juin 2021. La filière vitivinicole a en effet connu de nombreux bouleversements depuis les années 1980. Aujourd'hui, l'un de ses défis principaux est de répondre, à son échelle, à l'urgence environnementale tout en préservant sa viabilité économique et la qualité de sa production. Alors que les vignobles se sont ouverts et adaptés à l'œnotourisme depuis les années 2000, ce colloque visait à comprendre la manière dont l'activité œnotouristique peut favoriser les actions mises en place par les vignerons en faveur du développement durable et de la transition agroécologique, voire les impulser. Un « éco-œnotourisme » est-il pleinement envisageable ?

Les conférenciers invités étaient Christian Vital (InterLoire), Joël Rochard (VitisPlanet, expert OIV), Olivier Etcheverria (Université d'Angers), Sophie Lignon-Darmaillac (Sorbonne-Université), Elsa Gatelier (Université de Reims Champagne-Ardenne), Sylvie Jolly (Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne), Amélie Robert (CNRS, Université de Tours), France Gerbal-Medalle (Université de Toulouse), Chiara Mazzocchi (Université de Milan, Italie). Nashidil Rouiaï (post-doctorante) et Diana Ugalde (doctorante), de l'unité ont également présentées une communication orale. Ronan Symoneaux et Nashidil Rouiaï ont animé ce colloque.

La CHAIRE AAPRO (Avantages et Acceptabilité des PROtéines alternatives) se déploie avec l'arrivée de la post-doctorante Amel Hedhli. Ce projet est réalisé en partenariat avec l'Université d'Angers et implique également les Universités de Laval au Canada, Wageningen et Condordia aux Pays-Bas. Cette thématique est renforcée par le projet AGAPE sur les propriétés fonctionnelles des légumineuses.



L'unité continue à travailler sur le lien entre impacts environnementaux et consommateurs. Une étude sur la perception, la compréhension et les attentes des consommateurs français face aux affichages environnementaux des produits alimentaires a été conduite en partenariat avec l'ADEME.

Dans le domaine de l'œnologie, l'unité GRAPPE a concrétisé un partenariat avec l'entreprise Chêne et Cie afin de travailler sur l'objectivation et la construction du goût umami dans les vins blancs secs tranquilles de Chenin.

Enfin, en décembre 2021, la thèse de Liebe GOKA, en co-tutelle avec l'Université de Lomé (Togo), a été soutenue. Elle traitait de la contribution à la valorisation des agro-ressources : cas du *Solanum lycopersicum* L. cultivé au Togo.

**La liste des nouvelles thèses** commencées en 2021 : Pas de nouvelle thèse commencée en 2021 au GRAPPE.

**La liste des nouveaux post-docs** commencés en 2021 :

Fifamé Lorène AKISSOE, projet AGAPE : Propriétés fonctionnelles d'espèces de légumineuses, pour des applications culinaires adaptées. Référent scientifique : Marie DUFRECHOU [m.dufrechou@groupe-esa.com](mailto:m.dufrechou@groupe-esa.com)

Amel HEDHLI, projet CHAIRE AAPRO : Avantages et Acceptabilité des PROtéines alternatives (Advantages and Acceptability of alternatives PROteins). Référent scientifique : Marie DUFRECHOU [m.dufrechou@groupe-esa.com](mailto:m.dufrechou@groupe-esa.com)



## IRHS Institut de Recherche en Horticulture et Semences

L'année 2021 a, comme 2020, été sensiblement perturbée par le contexte sanitaire qui nous a tous contraint à annuler la majorité des déplacements prévus ou à les transformer en interventions en ligne. Ainsi, les mobilités entrantes et sortantes ont été drastiquement réduites. Les communications scientifiques sont en nombre restreint par rapport aux années précédentes, puisque de nombreux congrès ou colloques ont été reportés. Heureusement, les expérimentations n'ont pas été aussi dramatiquement impactées qu'en 2020, si ce n'est par la difficulté d'approvisionnement en certains consommables et équipements, et par la grande difficulté voire l'incapacité à effectuer des travaux en collaboration dans de bonnes conditions.

2021 a été l'année de la visite du comité HCERES d'évaluation de notre unité. Le rapport avait été remis à la tutelle dépositrice en juillet 2020 et la visite de la commission a eu lieu du 4 au 6 octobre 2021 en visioconférence. Nous nous sommes bien sûr adaptés à ce format, les présentations ont toutes été d'une très grande qualité et nous n'avons eu à déplorer aucun problème. Il n'en reste pas moins que l'impression générale est que le moment est moins marquant, moins solennel, et que les discussions sont moins riches dans ce format. Le rapport nous a été communiqué début décembre et globalement l'avis est très positif pour l'unité. Les critères sont tous qualifiés d'excellents ou de très bons à excellents pour la production. Cette appréciation reflète la qualité du travail fourni par l'ensemble des équipes de l'unité et Jean-Pierre Renou et ses équipes de direction pour ce mandat. Les recommandations permettront d'améliorer encore l'organisation, la vie et la production de l'IRHS.

Un autre élément marquant de 2021 aura été la rédaction d'une Convention d'Objectifs et de Moyens (COM) entre l'Université d'Angers et INRAE. Nous l'avons axée sur deux Fronts de Sciences, c'est-à-dire des questions scientifiques stratégiques non encore résolues, qui signent les travaux du site angevin. Ces fronts de science constituent les priorités scientifiques des actions partagées de cette COM et s'articulent naturellement avec les politiques scientifiques de nos tutelles. Le 1<sup>er</sup> front de science vise à faire de l'immunité végétale un levier pour permettre l'adaptation des plantes horticoles et des semences aux changements environnementaux et assurer la durabilité de leur protection. Il repose sur des travaux de recherche multidisciplinaires et des approches intégratives et vise à produire des géotypes résilients aux différents stress auxquels les plantes sont confrontées en culture. Le second front de science propose de piloter le microbiote pour améliorer la vigueur des plantes et leur protection. On vise ici à moduler la composition des communautés microbiennes associées aux semences et leur perception par la plante pour résister à l'invasion par des agents pathogènes et promouvoir la santé des plantes par biostimulation. L'engagement entre INRAE et l'Université d'Angers a été signé début janvier 2022, virtuellement, en raison du contexte sanitaire interdisant les manifestations rassemblant de nombreuses personnes. Cette COM a vocation à être étendue à l'avenir à Institut Agro.

Nous avons également eu la chance d'apprendre en 2021 que les 2 Chaires de Professeurs Juniors (CPJ) déposées par l'Université d'Angers, dont une émanant du pôle végétal, étaient acceptées au niveau ministériel. Ainsi, l'équipe EcoFun de l'IRHS pourra recruter en 2022 un chercheur sur une CPJ de 5 ans dont le projet portera sur « Hybridation et émergence de maladies fongiques chez les rosacées ».

L'IRHS était également fortement impliquée dans le projet de Graduate Institute déposé par la COMUE Angers-Le Mans. Malheureusement, le résultat ne nous a pas été favorable. Une 2<sup>ème</sup> vague de cet appel d'offre a été lancée fin

2021 et la COMUE a choisi de présenter une version révisée de ce projet. L'IRHS est impliqué dans ce projet, comme précédemment, pour le projet de Graduate School en « Plant Sciences and Technologies ».

Côté plateformes, l'année aura été favorable : i) Saluons la labélisation ISC (Infrastructure Scientifique Collective) qu'a obtenu PHENOTIC et félicitons son équipe de Direction qui s'est fortement mobilisée pour rédiger ce dossier. C'est une étape importante pour cette Plateforme qui est membre de Phenome-Emphasis (infrastructure nationale en biologie santé). Le travail est déjà engagé pour prendre en compte les recommandations émises par le comité de labélisation. ii) Le projet de Plateforme Ligérienne d'Isotopie déposé par l'Université de Nantes pour CORSAIRE (UMR6230) et l'IRHS a été accepté par la région Pays de la Loire. L'objectif est de construire une plateforme IRMS qui aura le rôle de levier essentiel pour la recherche régionale utilisant les isotopes pour des applications dans le domaine de la nutrition-santé, l'environnement, l'agroalimentaire et le végétal. Cette plateforme a vocation à intégrer les réseaux BioGenOuest et Metabohub. La partie angevine est dirigée par Guillaume Tcherkez (équipe SMS). iii) Enfin, la Région Pays de la Loire a également validé le projet HiMic (High throughput Microbiology) porté par le CIRM-CFBP et portant création d'une Plateforme en culturomique haut Débit à l'IRHS. Marion Le Saux et Perrine Portier ont proposé un projet visant à faire émerger des solutions écoresponsables autour du biocontrôle, de la biostimulation et du pilotage des microbiotes afin de renforcer la visibilité du site au niveau national et international, en tant que centre de recherche et d'innovation sur le microbiome des plantes.

Outre les doctorants et post-doctorants arrivés courant 2021 et listés dans les tableaux ci-dessous, nous avons eu le plaisir d'accueillir Nizar BOULEL (MCF à AgroCampus Ouest qui intègre l'équipe IMHORPHEN), Anne-Laure FANCIULLINO (CR-INRAE qui rejoint l'équipe VALEMA), Alba NOËL (MCF à l'Université d'Angers qui rejoint l'équipe EMERSYS), Florent PANTIN (MCF Montpellier Sup-Agro en délégation à AgroCampus Ouest qui rejoint l'équipe STREMH0), Enora DUPAS (IR sur le projet PRIMA BiOrange Pack qui rejoint l'équipe EMERSYS), Ali AHMAD (IR accueilli à IMHORPHEN), Florian BRYONE (IE de GREEN IMPULSE accueilli à FUNGISEM), Rayan EID (IE sur le projet ANR Stress-Pept accueilli à BIDEFI), Anthony JULLIARD (IE sur le projet CapOPhyto accueilli dans l'équipe RESPOM), Anne-Sophie POISSON (IE sur le projet SUCSEED accueillie à EMERSYS), Kévin GUERIF (AI accueilli à VADIPOM), Agathe CAILLEAU (TR sur le projet SUCSEED accueillie à FUNGISEM), Anaïs HARDOUIN (TR sur le projet SUCSEED accueillie à PHENOTIC), Annaëlle PAGNOUX (TR Green Impulse accueillie à FUNGISEM) et Agathe Brault (AT INRAE accueillie à EMERSYS).

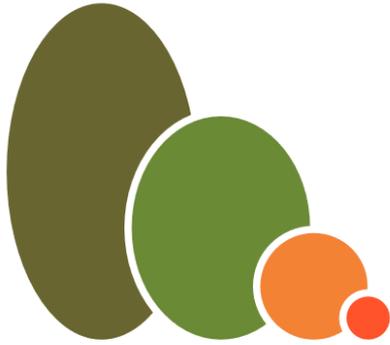
Enfin, cette rubrique libre est l'occasion de remercier Jean-Pierre Renou pour sa direction éclairée et efficace de l'IRHS pendant 10 années. Le challenge était élevé. Il a su faire de la fusion des 4 unités initiales, un institut à la réputation nationale bien acquise, en enrichissant très sensiblement les forces présentes par de nouvelles disciplines grâce à l'accueil de nouveaux chercheurs. Il s'est pour cela impliqué personnellement dans de très nombreux projets. Espérons que l'amélioration du contexte sanitaire en 2022 nous permette de célébrer les 10 ans de l'IRHS.

### Liste des nouvelles thèses commencées en 2021 à l'IRHS :

Nom Prénom	Equipe	Directeur de thèse (encadrant)	Titre du projet
LAMBELIN Laurine	GDO	F. Foucher	Identification de gènes candidats impliqués dans la résistance quantitative à la maladie des taches noires du rosier ( <i>Diplocarpon rosae</i> )
MOBARAK Terence	RESPOM	MN Brisset (M. Orsel, M. Delaire)	Etude des interactions entre le statut azoté du pommier et l'efficacité des stimulateurs de défense des plantes (SDP) pour un meilleur compromis entre productivité et immunité
BOUILLON Pierre	VALEMA	J.M. Celton	Caractérisation du déterminisme génétique du développement de la chair rouge et du brunissement en conservation de la pomme
ARNAULT Gontran	EMERSYS	M. Barret (M. Simonin)	Étude de la transmission du microbiote des graines et de son impact sur le phénotype de la jeune plante
GIHAUT Christopher	EMERSYS	T. Boureau	Impact d'effecteurs de <i>Xanthomonas</i> sur le métabolisme des sucres et la défense de la plante
LERENARD Thomas	FUNGISEM	J. Le Corff (P. Poupard)	Rôle des défenses des plantes dans les interactions entre champignons phytopathogènes et antagonistes chez les brassicacées sauvages
HUBERT Benjamin	SEED	J. Buitink (O. Leprince)	Identification des voies d'activation de défense dans les graines dormantes
MOHAMMAD Abdulastar	SEED	O. Leprince (J. Buitink)	Impact de l'environnement maternel sur la réponse des graines de tomate face aux hautes températures pendant l'imbibition.
TRAN VAN CANH Loup	BIDEFI	J.P. Renou (S. Aubourg)	Exploiter la diversité des peptides de signalisation chez les solanacées en réponse aux stress

### Liste des nouveaux post-docs commencés en 2021 à l'IRHS :

Nom	Prénom	Equipe	Projet
LEROY	Thibault	GDO	RFI CARO
CATTANI	Amanda	VALEMA	RFI EpiRoot
VAYSSIERES	Alice	EcoFun	RFI VENI VICI
PORRAS	Jaime		
DOMINGUEZ	Ricardo	SMS	RFI DAM
AHMADI-			
AFZADI	Masoud	BIDefI	ROPBIO
PORCHER	Alexis	STREMHO	Contrat SNCF
CHEVALIER	Wilfried	FungiSem	ATER à l'Université d'Angers



## LEVA

Légumineuses, Ecophysiologie Végétale,  
Agroécologie



Insertion de féverole dans les systèmes de cultures méditerranéens (projet PRIMA DiVicia)

En 2021, le LEVA a co-organisé deux colloques internationaux qui se sont déroulés à distance en raison de la crise sanitaire. Ainsi, les « Rencontres Francophones pour les Légumineuses », co-organisées avec INRAE pour sa troisième édition, se sont déroulées les 24 et 25 février. Cette manifestation, qui vise à renforcer les échanges et les partenariats entre les acteurs du développement, des filières et de la recherche, entre pays de la Francophonie, a été un réel succès. Ensuite, les 1-3 septembre 2021, le LEVA a co-organisé la seconde édition du colloque international « Advances in Legume Science and Practice 2 » de l'*Association of Applied Biologists*. Grâce à l'aide financière du RFI Objectif Végétal, deux sessions thématiques sur « Les légumineuses en Afrique » ont pu être intégrées au programme.

Le projet AGAPE, financé par Angers Loire Métropole, représente une opportunité pour développer de nouvelles collaborations avec une autre unité de la SFR QUASAV, le GRAPPE, pour développer de nouvelles questions de recherche intégrant production de légumineuses associées et alimentation.

Céline Lefort a soutenu sa thèse financée par Bejo Production, le 24 septembre. En fin 2021, dans le cadre d'une nouvelle collaboration, le LEVA a accueilli Francesco Angeletti, doctorant de l'Université de Pise, pour réaliser un essai en serre dans le cadre de sa thèse.

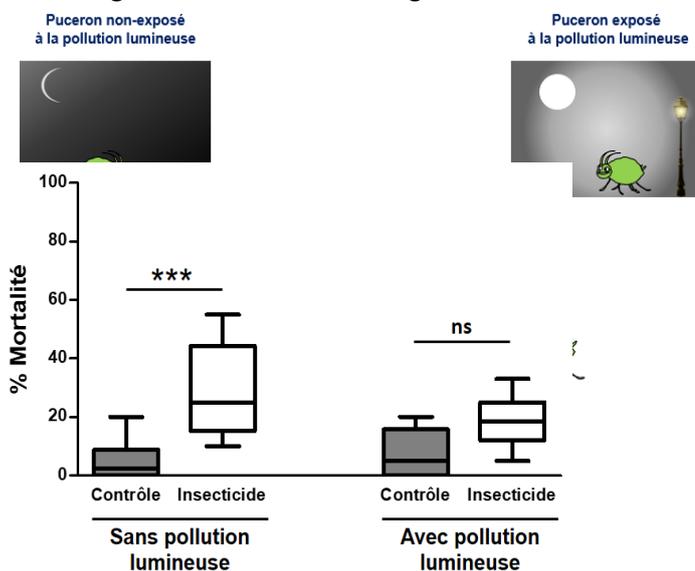
En 2021, l'équipe a accueilli Tanegmart Redjala, pour co-coordonner le projet PRIMA DiVicia, en contrat à durée déterminée.



## SiFCIR Signalisation Fonctionnelle Canaux Ioniques et Récepteurs

Au cours de l'année 2021, le laboratoire SiFCIR a débuté une collaboration avec l'UMR CNRS 5023 LEHNA (Lyon) sur un projet portant sur l'impact de la pollution lumineuse sur l'efficacité des insecticides chez un ravageur de culture, le puceron du pois.

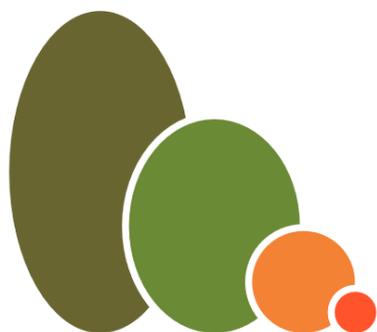
L'agriculture est confrontée à l'important défi de s'assurer que suffisamment d'aliments de qualité sont disponibles pour répondre aux besoins d'une population mondiale en constante augmentation. Même si les pesticides chimiques tels que les insecticides ont été utilisés avec succès pour lutter contre un certain nombre d'insectes nuisibles, leur utilisation sur plusieurs décennies a conduit à une diminution de l'efficacité des insecticides. La modulation de l'efficacité de l'insecticide est liée à plusieurs facteurs intrinsèques tels que la mutation ponctuelle dans la cible de l'insecticide. Seuls les facteurs intrinsèques qui modifient la sensibilité des insectes aux insecticides ont souvent été considérés dans la lutte contre les ravageurs. Cependant, il est essentiel de prendre en compte le rôle des facteurs environnementaux dans la modulation de l'efficacité des insecticides. En effet, la pollution lumineuse qui est un facteur environnemental désormais considéré comme un perturbateur de la fitness des populations d'insectes pourrait jouer un rôle dans l'efficacité des traitements insecticides. L'objectif de ce projet est de déterminer les effets d'une exposition combinée à la pollution lumineuse et à un insecticide sur la fitness des pucerons. Nous avons donc exposé le puceron à un insecticide, l'imidaclopride, que nous avons associé à la pollution lumineuse, afin d'étudier l'interaction de ces deux stressseurs sur la fitness du puceron et les mécanismes moléculaires mis en jeu. Nos résultats préliminaires montrent qu'en présence de pollution lumineuse l'insecticide est moins efficace sur les larves de pucerons (figure 1). Les connaissances apportées par cette étude permettront d'envisager de nouvelles stratégies de lutte et de gestion des insectes ravageurs de cultures.



Graphique représentant le taux de mortalité des pucerons du pois *Acyrtosiphon pisum* après un traitement combiné insecticide/pollution lumineuse.

*Thèse soutenue* : en décembre 2021, S. Perrier a soutenu sa thèse financée par la Direction Générale de l'Armement (DGA) et la région Pays de La Loire. Ses travaux portaient sur l'étude des mécanismes de compensation moléculaires et cellulaires associés aux résistances ace-1 R et kdr pour l'optimisation d'une stratégie de lutte contre les moustiques vecteurs d'agents pathogènes.

Depuis septembre 2021, l'équipe accueille Alexandre Bantz en tant qu'Attaché Temporaire d'Enseignement et de Recherche (ATER) de l'Université d'Angers.



## SONAS

### Substances d'Origine Naturelle et Analogues Structuraux

Comme l'année passée, 2021 a été perturbée par le contexte sanitaire. Les marqueurs principaux en sont des retards dans la mise en place de plusieurs projets et une production scientifique ralentie (8 publications ACL et 1 brevet).

#### Projets

- Dans le cadre du projet I-Lab, le contrat de recherche SENSITINES entre GREENIMPULSE-UA-INRAE a démarré en juin 2021 (01/06/2021 au 31/05/2024). SONAS et FUNGISEM, les partenaires SFR du projet poursuivent ainsi leur collaboration pour « Sensibiliser les pathogènes des végétaux pour une protection des cultures respectueuse des hommes et de l'environnement, sans pesticide »
- Dans le cadre du Plan de relance, le LabCom Feed In Tech (SONAS et NORFEED) a démarré le projet PHYTOGUT (Devenir de phytomarqueurs d'additifs d'origine végétale dans le tractus gastro-intestinal de monogastriques). Personnel recruté : Natacha Lescault (IgE, oct 2021 à sept 2023).

#### Nouveau post-doctorant

GHIDINI Andrea, Projet SiTa-PC (Pharmacomodulation par hémisynthèse de dihydrochalcones du pommier ciblant la 17b-hydroxystéroïde deshydrogénase 5), Financement RFI Objectif Végétal (06/2021-10/2022), Supervision : J-J Helesbeux.

#### Colloques

Les chimistes organiciens du laboratoire ont participé activement à l'organisation du congrès virtuel du Groupement des pharmacochimistes de l'arc Atlantique : « 29th Annual GP2A Medicinal Chemistry Conference » qui s'est déroulé du 25 au 27 août 2021.

#### HCERES/Nouvelle direction

L'évaluation du laboratoire par l'HCERES s'est déroulée le 15 octobre 2021. Le projet de laboratoire pour le nouveau contrat a été porté par une nouvelle équipe de direction : David Guilet (Dir.), Denis Séraphin (Dir. Adj.) et Séverine Derbré (Dir. Adj.). L'équipe profite de cette rubrique pour exprimer toute sa reconnaissance à Pascal Richomme pour le travail réalisé à la direction du SONAS depuis 2000.



Fin 2021, le pôle de compétitivité VEGEPOLYS VALLEY compte **517 adhérents** répartis sur tout le territoire français. Le pôle est implanté sur les **4 régions** : Bretagne, Pays de la Loire, Centre Val de Loire, Auvergne Rhône Alpes.

Les Pays de la Loire sont un territoire fort d'implantation qui compte 178 adhérents dont 139 entreprises (35% du total).

Les adhérents sont des **entreprises (76%)**, des organismes de recherche, expérimentation et enseignement (11%), **des structures représentatives et autres organismes de développement et des chambres consulaires (13%)**.

VEGEPOLYS VALLEY couvre l'ensemble des productions végétales (grandes cultures, maraichage et arboriculture, horticulture ornementale, viticulture et cidriculture, semences, plants et plantes aromatiques et médicinales et toutes les nouvelles cultures végétales.

Le pôle est actif sur toute la chaîne de valeur, de la génétique aux usages, ce qui en fait un pôle unique en son genre. La mission du pôle est de soutenir et rassembler les acteurs du végétal pour faire naître les innovations qui feront le monde de demain. Il stimule et accompagne la co-conception des innovations de l'amont à l'aval.

**L'innovation se décline principalement en 7 axes :**

• **3 axes** pour une **PRODUCTION** végétale compétitive et de qualité, respectueuse de l'environnement, de la santé des consommateurs et des producteurs :

- **Innovation Variétale et Performance des semences et plants** #biotechnologies #phénotypage #génotypage
- **Santé du Végétal** #biocontrôle #biostimulation #biointrants #agroécologie #nutrition #protection des sols #post-récolte
- **Nouvelles Technologies et Pratiques pour les systèmes de production** #agtech #robotique agricole #big data #intelligence artificielle #Outil d'Aide à la Décision #hors-sol #agriculture de précision #agroéquipement #IoT

• **4 axes** pour le développement des **USAGES** alimentaires et non-alimentaires des végétaux en gagnant en qualité, praticité, services, naturalité :

- **Végétal pour l'alimentation humaine et animale** #qualités #procédés #transformation #accessibilité #clean label
- **Nutrition, Prévention santé, Bien-être, Cosmétique** #actifs végétaux #ingrédients fonctionnels #biodisponibilité #validation en prévention santé #biomarqueurs #maladies chroniques
- **Agromatériaux et Biotransformation** #coproduits #bioplastiques #synthon #bioconversion #biosourcés #économie circulaire
- **Végétal Urbain** #agriculture urbaine #cadre de vie #ville #paysage

L'équipe du pôle compte **une trentaine de personnes** dont 17 en Pays de la Loire et des implantations à Clermont-Ferrand (agence de 6 collaborateurs), Roscoff, Orléans et Lyon.

**Animation et mise en réseaux :**

Perturbé par la crise COVID à l'image de de 2020, le programme s'est tenu est majorité en distanciel et a compté **une centaine d'animations réunissant plus de 3500 participants**. L'équipe des Pays de la Loire a organisée plus spécifiquement 74 animations réunissant plus de 1600 participants, sachant que 400 participations d'acteurs ligériens ont été enregistrées sur des évènements pilotés par d'autres équipes.

### L'activité du pôle autour des projets :

- **63 projets de R&D** déposés, labellisés ou soutenus, dont 12 avec un rayonnement régional, 36 national et 16 européens. Il convient de noter la forte disparité des typologies d'appel à projets (>20).
- **Aujourd'hui**, le pôle a labellisé **près de 1000 projets** représentant un **investissement de près de 3 milliards d'euros** dont près de **la moitié financée** pour près d'**1 milliard d'euros d'investissements**.
- Le Comité de labellisation et d'Orientation de la Stratégie Innovation qui étudie la labellisation et le soutien des projets CLOSI s'est réuni 10 fois en séance plénière et aussi pour 4 séances en comité restreint. Sur ses 32 membres, le comité compte 14 ligériens dont 5 issus de la SFR QUASAV.
- Une bonne activité d'accompagnement de groupes d'émergence et de projets malgré le contexte COVID
- Organisation de la 6ème édition du Concours de start-ups de VEGEPOLYS VALLEY avec un lauréat issu de la région Pays de la Loire, Mycéliance, une entreprise qui innove dans le domaine des biostimulants pour la filière champignon de couches.

### Les projets européens

Le pôle intègre une cellule Europe qui vise à accompagner les adhérents vers les projets européens d'innovation, en lien avec la cellule Europe de l'Université d'Angers. Cette cellule s'appuie sur le réseau international du pôle pour repérer des propositions d'intérêt.

En 2021, le pôle a soutenu l'intégration de 41 adhérents dans 32 projets européens.

Le pôle a été intégré dans des consortiums de projets déposés avec pour rôle : "Actions de communication et de dissémination", en France voire à l'international et/ou "participation à l'Advisory board" avec le portage d'un projet d'interclustering.

### Les projets précompétitifs :

L'Unité Précompétitive VégéUP, un service du pôle financé par les Régions Bretagne et Pays de la Loire pour anticiper collectivement les mutations

- Le lancement du projet CLIMAVEG avec 74 partenaires
- La continuation des projets SERRES + et FLEGME
- Une étude sur « végétal sauvage d'origine locale »
- Une implication dans la structuration de projets TETRAE en régions Auvergne Rhône-Alpes et Pays de la Loire

### Initiatives de développement des entreprises et des filières

- 1 bulletin mensuel de veille économique
- 1 Etude prospective "eau en agriculture".
- 4 régions d'implantation avec un soutien aux politiques territoriales
- Le carrefour des adhérents centré sur le carbone avec une intervention du cabinet Carbone 4

### L'international

- 9 webinaires
- 4 groupes de travail (Asie, Amérique latine, Europe et Afrique) avec 90 implications d'adhérents
- Participation à 2 salons virtuels : ExpoCeres (Mexique) et AAHC (Sénégal) et deux missions du pôle sur classe Export (Sénégal), Fruit Attraction (Espagne)

### La formation :

- 692 étudiants aux Rencontres des Etudiants Végépolytains organisées durant 4 jours à Angers sur le site de TerraBotanica, en partenariat avec Terre des Sciences. Il s'agit de présenter l'écosystème végétal professionnel aux étudiants des formations végétales.
- Participation au Forum de l'orientation à Angers

## La communication

- Le pôle VEGEPOLYS VALLEY était **partenaire des Rencontres du végétal** qui se sont tenus en format hybride le 30 et 31 mars 2021. Des membres de l'équipe étaient associés à des sessions et un soutien logistique a été apporté pour les visio conférences. Un relais de l'évènement auprès des professionnels a été assuré. Ceux-ci ont apprécié l'évènement et particulièrement la table ronde autour de témoignages d'entrepreneurs sur l'optimisation des ressources dans leur process pour améliorer la durabilité de leur entreprise.
- **Congrès IHC2022** : L'année 2021 était stratégique dans la construction du programme puisqu'elle a correspondu à la période d'ouverture des appels à communication. Le pôle s'est concentré sur la diffusion de ceux-ci auprès de ses membres. Au travers de webinaires et lors d'évènements, ce congrès a été expliqué et décrypté notamment aux instituts techniques et aux entreprises moins habitués à ce genre de congrès pour les inciter à y répondre.
- Le pôle mène chaque année des relations avec la presse et le grand public pour valoriser ses membres et des innovations (Convention avec Terre de sciences, fêtes et espace à Terra Botanica, Plant fascination day, fête de la science...). A noter cette année 2021, le reportage de l'émission de France 3 « Envie dehors » qui a mis en avant les acteurs du pôle et en particulier : la formation (via le reportage d'un TD d'un enseignant d'Agrocampus Ouest) et la recherche collaborative (via le reportage avec l'IRHS et Cybele Agrocare sur le projet TRICHODERMA) – A voir dans le replay du 30 janvier 22.

Enfin, en 2021, le pôle a réfléchi à un programme d'actions pour favoriser une pleine coopération entre l'ensemble des typologies de membres : instituts de recherche et établissements de formation supérieure, instituts techniques, entreprises et filières. Il s'agira principalement de mieux faire connaître les services du pôle auprès des chercheurs, de développer les liens avec les équipes et chercheurs compétents sur les axes du pôle, de susciter des projets multidisciplinaires complexes et ambitieux pour répondre aux enjeux actuels de la production végétale.

# Structure de la SFR QuaSaV

## Unités de recherche

**IRHS** : Institut de recherche en horticulture et semences (INRAE, L'Institut Agro, Université d'Angers)

**SIFCIR** : Signalisation fonctionnelle des canaux ioniques et récepteurs (Université d'Angers, INRAE)

**SONAS** : Substances d'origine naturelle et analogues structuraux (Université d'Angers)

**LEVA** : Légumineuses, écophysiologie végétale, agroécologie (ESA, INRAE)

**GRAPPE** : Groupe de recherche en agroalimentaire sur les produits et procédés (ESA, INRAE)

**EPHOR** : Environnement physique de la plante horticole (L'Institut Agro)

**BVO** Bactériologie, virologie, OGM (ANSES)

## Équipes associées

**Rhizosphère de l'US2B** : Equipe Interactions plante-plante et signaux rhizosphériques, Unité en Sciences Biologiques et Biotechnologiques (Nantes Université, CNRS)

**EGI de l'IGEPP** : Équipe écologie génétique des insectes, Institut de Génétique, Environnement et Protection des Plantes (INRAE, Université Rennes 1, L'Institut Agro)

**PRP de BIA** : Équipe polyphénols, réactivité, procédé, Unité Biopolymères Interactions Assemblages (INRAE).

## Partenaires

**GEVES** : Groupe d'étude et de contrôle des variétés et des semences

**VEGEPOLYS VALLEY** : Pôle de compétitivité sur le végétal

## Plateaux Techniques Mutualisés

**ANAN** : Analyse des acides nucléiques

**IMAC** : Imagerie cellulaire

**COMIC** : Collection de microorganismes

**PHYTO** : Analyses phytochimiques

## Plateformes Technologiques

**PHENOTIC** : Phénotypage des semences et des plantes

**SENSOVEG** : Analyses sensométriques

## Glossaire équipes IRHS

**STREMHO** : Stress Mémoire des Plantes horticoles

**STRAGENE** : Structure et Ramification en réponse à l'Interaction Génotype-Environnement

**GDO** : Génétique et Diversité des plantes Ornementales

**VADIPOM** : Valorisation de la Diversité des Pomoidées

**RESPOM** : Résistance du pommier et du poirier aux bioagresseurs

**ECOFUN** : Écologie évolutive chez les champignons

**QUARVEG** : Qualité et résistance aux bioagresseurs des espèces légumières

**EMERSYS** : Émergence, systématique et écologie des bactéries associées aux plantes

**FUNGISEM** : Pathologies fongiques des semences

**SEED** : Semences, Environnement et Développement

**SMS** : Seedling, Metabolism and Stress

**BIDEFI** : Bioinformatics for plant Defense Investigations

**VALEMA** : VALORIZATION of Epigenetic Marks in plAnts

**IMHORPHEN** : Imagerie pour l'Horticulture et le Phénotypage

