

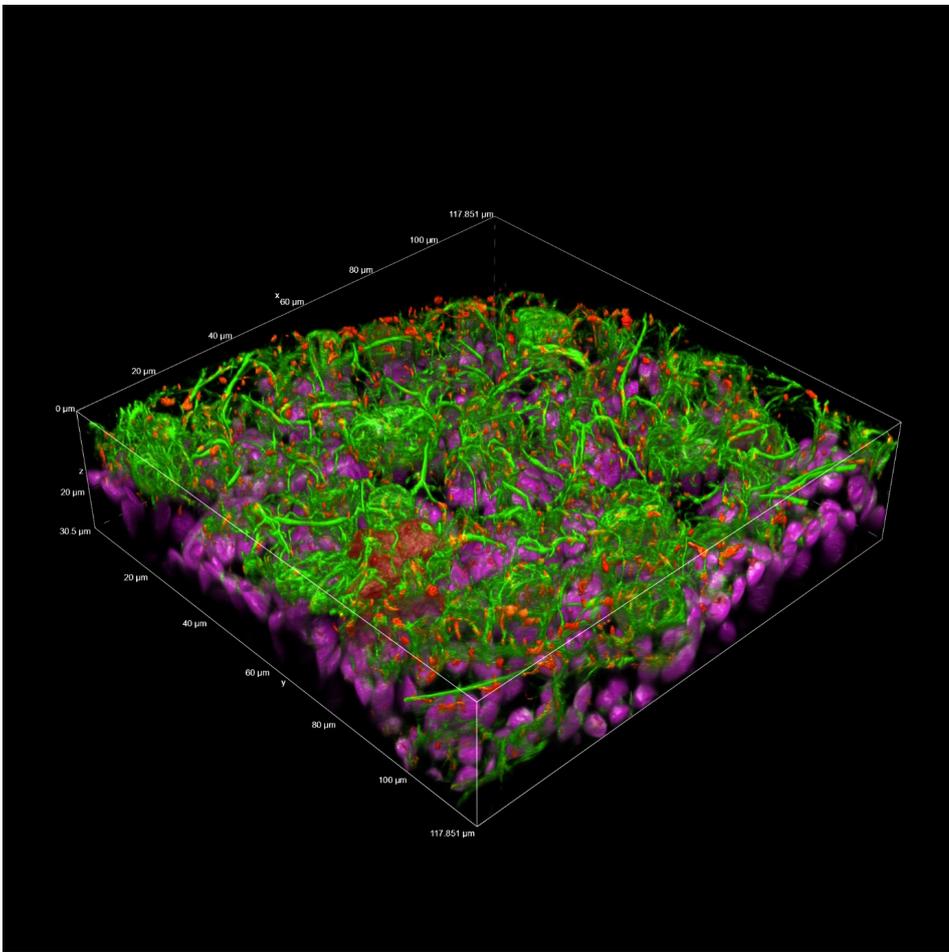
Pôle recherche Végétal SFR QUASAV

2023

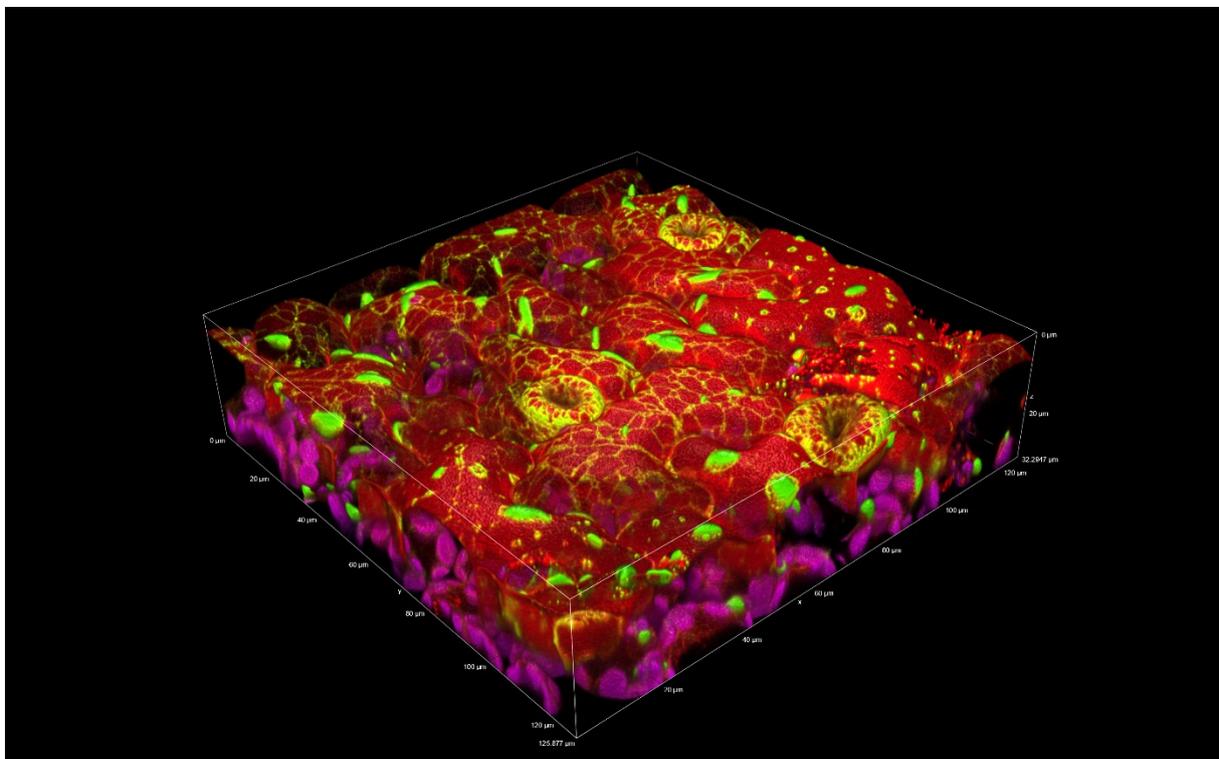
FAITS MARQUANTS

Structure Fédérative de Recherche
Qualité et Santé du Végétal





Visualisation des chloroplastes (magenta), des microfilaments d'actine (vert) et des mitochondries (rouges) d'une portion de surface de cotylédon de plantule d'*Arabidopsis*. L'image a été obtenue par reconstruction 3D d'une série d'acquisitions sériées avec le microscope confocal Nikon Ax.
 Crédit : Plateau IMAC QUASAV.



Visualisation des chloroplastes (magenta), du réticulum endoplasmique (vert) et de la membrane plasmique (rouge) d'une portion de surface de cotylédon de plantule d'*Arabidopsis*. L'image a été obtenue par reconstruction 3D d'une série d'acquisitions sériées avec le microscope confocal Nikon Ax.
 Crédit : Plateau IMAC QUASAV.



ÉDITO

Comme chaque année, nous sommes heureux de partager avec vous ce nouveau recueil des faits marquants de la SFR QuaSaV (Qualité et Santé du Végétal) pour l'année 2023. Ce recueil vous donnera une vision des différentes activités et animations de la SFR QuaSaV. La SFR QuaSaV est organisée autour de 3 axes scientifiques qui regroupent les principales thématiques de la SFR : "Gestion durable de la santé des plantes", "Biologie, Qualité et Santé des semences" et "Qualité et Valorisation des productions végétales spécialisées". Différentes animations ont été organisées par les différents axes dans le cadre de demi-journées sur les « Protéines végétales, accélérer les transitions agricoles et renforcer notre souveraineté en protéines » par l'axe 2 ou sur la "Valorisation des coproduits comme biostimulants ou Stimulateurs des Défenses Naturelles » par les axes 1 et 3. De plus, différentes animations ont été réalisées conjointement avec d'autres SFRs angevins comme la SFR ICAT (Santé) ou la SFR Confluence (Sciences humaines et Sociales).

Une autre activité importante de la SFR QuaSaV est la mutualisation des moyens avec le développement de quatre plateaux mutualisés (ANAN, IMAC, PHYTO et COMIC) et de deux plateformes (PHENOTIC et SENSOVEG). Ces plateaux et plateformes sont en constante évolution avec des investissements réguliers de la SFR pour proposer une nouvelle offre de services et répondre aux attentes des membres de la SFR. Ainsi, l'année 2023 aura été marquée par l'évo-

lution du plateau COMIC vers un plateau de culture-microbienne, c'est à dire de culture et de caractérisation à haut-débit des micro-organismes. Ceci a été possible grâce au projet HiMic, financé par la région Pays de la Loire, l'université d'Angers et l'INRAE, qui a permis d'investir dans un équipement Millidrop et un robot pipeteur. En 2023, une nouvelle tarification a également été mise en place sur les plateaux mutualisés avec l'intégration du plateau PHYTO dans la gestion budgétaire de la SFR. Les plateaux / plateformes sont également impliqués dans la formation avec l'accueil régulier d'étudiants du niveau Licence/Master et de doctorants.

Comme chaque année, la journée des doctorants (JDD) a été organisée par les doctorants eux-mêmes. Elle permet aux étudiants en fin de deuxième année de thèse de présenter leurs résultats devant l'ensemble de la SFR et devant un jury qui décerne 2 prix de la SFR d'une valeur de 1500€ pour permettre aux lauréats de participer à un congrès ou réaliser un séjour à l'étranger dans le cadre de leur formation. Nous tenions à féliciter l'ensemble des participants pour la qualité des présentations et des discussions, et tout cela dans un excellent anglais ! Nos félicitations plus particulièrement aux 2 lauréats du prix : Gontran Arnault (IRHS-Emersys) et Julien Thierry (EPHor) et un grand remerciement aux deux organisatrices : Laurine Lambelin et Marine Galloux. Les unités de la SFR ont accueilli cette année 17 nouveaux doctorants et 5 post-doctorants. Un grand bravo aux 14 doctorants qui ont brillamment soutenu leur thèse en 2023.

Dans le cadre d'une réflexion sur l'élargissement de son partenariat, la SFR QuaSaV a lancé des discussions avec deux instituts techniques dont une partie de leurs activités se retrouve dans le périmètre géographique et thématique de la SFR. Il s'agit de l'ITEIPMAI, institut technique des plantes aromatiques et médicinales, et de l'ASTREDHOR, l'institut des professionnels du végétal. Les activités de ces institut ont été présentées à la SFR et les discussions sont en cours pour établir la forme et le contenu du partenariat.

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

merci

pour le travail de mise en page à :

Catherine Pawlonski

Hélène Relandeau



SOMMAIRE

8	AXES SCIENTIFIQUES FÉDÉRATEURS	
9	AXE 1 « Gestion Durable de la Santé des Plantes »	
	Faits marquants	10
	Rayonnement scientifique	12
13	AXE 2 « Biologie, Qualité et Santé des Semences »	
	Faits marquants	14
	Rayonnement scientifique	17
22	AXE 3 « Qualités et valorisation des productions végétales »	
	Faits marquants	23
	Rayonnement scientifique	26
30	PLATEAUX TECHNIQUES MUTUALISÉS ET PLATEFORMES	
	ANAN - ANalyses des Acides Nucléiques	31
	COMIC - Collections de micro-organismes	35
	IMAC - Microscopie et Imagerie Cellulaire	39
	PHYTO - Analyses Phytochimiques et Métabolites Secondaires	49
	PHENOTIC - Phénotypage des Semences et des Plantes	55
	SENSOVEG - Analyse Sensorielle	59
63	RUBRIQUES LIBRES	
	LSV-BVO – Bactériologie, Virologie et OGM	64
	IRHS - Institut de Recherche en Horticulture et Semences	67
	EPHOR - Environnement Physique de la plante Horticole	69
	GRAPPE - Groupe de Recherche en Agroalimentaire sur les Produits et les Procédés	70
	LEVA - Légumineuses, Ecophysiologie Végétale, Agroécologie	71
	SIFCIR - Signalisation Fonctionnelle Canaux Ioniques et Récepteurs	72
	SONAS - Substances d'Origine Naturelle et Analogues Structuraux	74
	GEVES - Groupe d'Etude et de Contrôle de Variétés Et des Semences	75
	VÉGÉPOLYS - VALLEY	79
83	GLOSSAIRE	



AXES SCIENTIFIQUES FÉDÉRATEURS

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 ECOFUN, EMERSYS, FUNGISEM, GDO, QUARVEG, RESPOM et VALEMA), 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, biosimulation, priming, pratiques culturales innovantes, agro-écologie) est structurant pour cet axe.

Axe 2 « Biologie, Qualité et Santé des Semences »

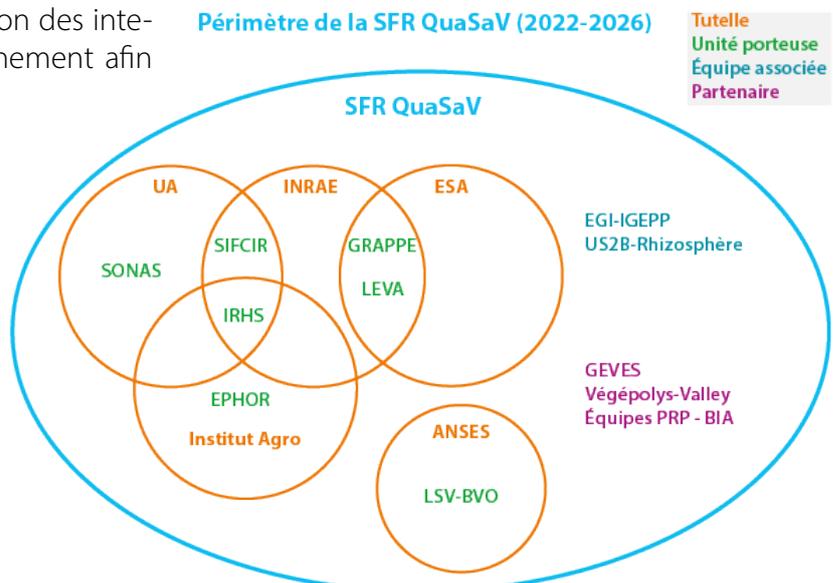
La semence est un identifiant fort des travaux de recherche conduits au sein de la SFR. Ces travaux sont menés en interaction étroite avec les partenaires locaux, que ce soient des structures d'expertises telles que le GEVES et la FNAMS, ou des entreprises semencières. Cet axe s'appuie sur les expertises des chercheurs de l'IRHS (équipes SMS, QUARVEG, SEED, EMERSYS, FUNGISEM), de l'US2B et du LEVA. La thématique structurante est 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-VA-DIPOM), 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.

Périmètre de la SFR QuaSaV (2022-2026)





Axe 1 - Gestion durable de la santé des plantes (état sanitaire et physiologique)

Animateurs:
Valérie le Clerc (IRHS-équipe QUARVEG)
et Bruno Le Cam (IRHS-équipe ECOFUN)



Nuage de mots des pages FM de l'axe 1

Face aux enjeux de réduction de l'utilisation des intrants chimiques de synthèse en agriculture et ce, dans un contexte mondial de changement climatique, la combinaison des leviers d'action toujours plus innovants pour une gestion durable de la santé des plantes est au cœur des préoccupations afin de contribuer à la production d'aliments sains et de qualité. Les équipes de l'axe 1 de la SFR travaillent en ce sens, afin d'identifier et de caractériser les modes d'action de ces leviers, en partenariat avec les équipes des autres axes de la SFR ou plus largement en collaboration avec de nombreux acteurs nationaux et internationaux.

Les deux faits marquants présentés ici illustrent ces propos puisque le premier propose une innovation prometteuse dans les stratégies de biocontrôle, fruit d'une collaboration entre l'équipe FungiSem de l'IRHS et du laboratoire SONAS tandis que le second fait marquant, issu également d'une collaboration entre

le SONAS et l'équipe QuarVeg, présente des résultats surprenants sur la relation entre une plante hôte et son bioagresseur, constituant potentiellement une nouvelle voie d'étude de ces interactions.

L'interdisciplinarité est également mise en avant avec l'animation conjointe organisée cette année entre l'axe 1 et l'axe 3 de la SFR sur la valorisation des co-produits comme produits biostimulants ou produits de biocontrôle.



Faits marquants

Axe 1 - Gestion durable de la santé des plantes (état sanitaire et physiologique)

FungiSem, IRHS

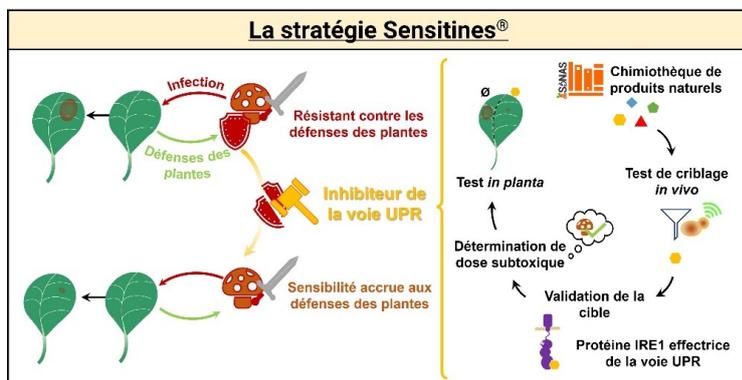
La sensibilisation des champignons phytopathogènes : une nouvelle stratégie de biocontrôle pour une gestion plus respectueuse des cultures

La recherche de nouvelles solutions de protection des cultures est un enjeu majeur pour les prochaines décennies pour garantir la sécurité alimentaire, réduire l'impact écotoxicologique des intrants et faire face aux conséquences du dérèglement climatique.

Les travaux de recherche de l'équipe FungiSem de l'IRHS et du laboratoire SONAS s'inscrivent dans ce contexte et ont pour objectif de développer de nouvelles solutions de biocontrôle, en identifiant des produits naturels inhibiteurs de voies de protections fongiques contre les défenses des plantes.

L'établissement d'un test de criblage *in vivo* de produits naturels a permis d'identifier la classe des xantones polyhydroxylées et prénylées comme classe d'inhibiteur potentiel de la voie UPR. L'inhibition de cette voie chez les mycètes entraîne *in vitro* une sensibilité accrue aux composés de défenses synthétisés par les plantes. Des concentrations sublétales de trois xantones candidates ont été appliquées sur des plantes inoculées respectivement par deux champignons phytopathogènes *Alternaria brassicicola* et *Botrytis cinerea*. Chacun de ces traitements a entraîné une réduction significative de la taille des nécroses sur les organes aériens.

Le développement de cette nouvelle stratégie de biocontrôle comprendra, d'une part, l'identification de nouveaux inhibiteurs de la voie UPR pour avoir une meilleure compréhension des relations structures activités et d'autre part, l'évaluation de son efficacité sur d'autres pathosystèmes.



Crédit : Thomas Charpentier, SONAS.

CONTACT

thomas.guillemette@univ-angers.fr
IRHS - Fungisem



LE + SFR

Ces travaux sont le fruit d'une longue collaboration entre l'équipe FungiSem de l'IRHS et le laboratoire SONAS, et illustrent les savoir-faire des deux laboratoires. Cette innovation prometteuse dans les stratégies de biocontrôle, permettra, à la suite du développement industriel, de proposer de nouveaux produits aux filières agricoles.

PARTENAIRES

IRHS Fungisem, SONAS. Financements « Objectif végétal, Recherche, Formation et Innovation en Pays de la Loire », Région pays de la Loire, Angers Loire Métropole, Fonds Européen de développement régional

PUBLICATION

Charpentier, T. et al. Natural Products Targeting the Fungal Unfolded Protein Response as an Alternative Crop Protection Strategy. *J. Agric. Food Chem.* 71, 13706–13716 (2023); Bataillé-Simoneau, N. et al. Compositions and Methods for Controlling Phytopathogenic Infections. WO2023099609A1, June 8, 2023
<https://patents.google.com/patent/WO2023099609A1/fr?inventor=pascal+richomme&oq=pascal+richomme> (accessed 2023-06-22).



Faits marquants

Axe 1 - Gestion durable de la santé des plantes (état sanitaire et physiologique)

QuarVeg, IRHS

La résistance de la carotte à *Alternaria dauci* : les connaissances s'accumulent

Le champignon *Alternaria dauci* provoque chez la carotte une maladie foliaire très préjudiciable car elle peut empêcher toute récolte. Cette maladie est répandue dans toutes les zones du globe où l'espèce est cultivée. Construire des variétés assez résistantes pour éviter des traitements fongicides potentiellement dommageables pour l'environnement est un enjeu majeur. Nous avons comparé les constituants de variétés de carotte sensibles et résistantes et identifié des métabolites susceptibles d'expliquer cette résistance. Nous avons également identifié des gènes potentiellement responsables de leur accumulation chez les résistants. Nous avons purifié les molécules candidates et les avons confrontées au champignon in vitro ou sur la plante. Certaines molécules bloquent le développement du champignon tandis que d'autres, de façon très surprenante, le stimulent ! Il est probable qu'une co-évolution entre l'agresseur, *Alternaria dauci*, et la plante hôte, la carotte, ait eu lieu au fil du temps. Des cals de plantes sensibles transformées avec les gènes candidats accumulent effectivement une quantité plus élevée de molécules candidates que les plantes non transformées. Des extraits de ces cals sont, selon les constructions, soit stimulants, soit toxiques pour le champignon. Les molécules qui stimulent la germination des conidies du champignon pourraient avoir été développées par la plante pour « épuiser » son agresseur. Des analyses futures devraient permettre de mieux comprendre les mécanismes mis en œuvre.

Importantes pour la filière, ces connaissances pourront permettre aux sélectionneurs d'orienter leur programme de sélection vers les combinaisons favorables de gènes ou de choisir dans leurs collections les génotypes de carotte riches en molécules d'intérêt et les utiliser comme parents

de croisement pour obtenir les variétés plus résistantes de demain. Elles ouvrent également une vision nouvelle et surprenante de ce que pourrait être la lutte entre hôte et pathogène, au travers de la stimulation et non uniquement l'inhibition de l'agresseur.



Conidie d'*Alternaria dauci* (en marron) émettant de très nombreux tubes germinatifs (blancs) sous l'action d'un extrait de cal de carotte

Crédit : Mathilde Briard, QuaRVeg-IRHS

CONTACT

mathilde.briard@institut-agro.fr

IRHS - QuaRVeg



LE + SFR

Travail de thèse pluridisciplinaire co-dirigée par deux équipes, QuaRVeg et SONAS en collaboration avec d'autres équipes de la SFR et s'appuyant sur l'expertise de nombreux plateaux de la SFR QuaSav

PARTENAIRES

IRHS - QuaRVeg, SONAS, IRHS - ImHorPhen, plateaux Phyto, IMAC et plateforme Phenotic de la SFR

PUBLICATION

Koutouan, C.E. ; Le Clerc, V. ; Suel, A. ; Hamama, L. ; Claudel, P. ; Halter, D. ; Baltenweck, R. ; Hugueney, P. ; Chich, J.-F. ; Moussa, S.A. ; Champlain C. ; Huet S. ; Voisine L. ; Pelletier S. ; Balzergue S. ; Chevalier W. ; Geoffriau E. ; and Briard M. 2023. Co-Localization of Resistance and Metabolic Quantitative Trait Loci on Carrot Genome Reveals Fungitoxic Terpenes and Related Candidate Genes Associated with the Resistance to *Alternaria dauci*. *Metabolites* 2023, 13, 71. <https://doi.org/10.3390/metabo13010071> ; Ramaroson M. L. 2023. Role of Flavonoids in the resistance of Carrot to *Alternaria dauci*. These de doctorat, Univ. Angers, 149pp



Rayonnement scientifique

Axe 1 - Gestion durable de la santé des plantes (état sanitaire et physiologique)

Animation scientifique de l'axe

Les animateurs de l'axe 1 et de l'axe 3 de la SFR ont souhaité proposer une animation commune permettant d'illustrer les liens qui peuvent et doivent être faits entre les thématiques et les chercheurs de ces axes. En effet, il s'agissait de traiter de la valorisation des co-produits comme produits biostimulants ou de biocontrôle, l'objectif étant *in fine* de pouvoir proposer des solutions innovantes en protection des plantes et pour la maîtrise de la qualité des produits tout en valorisant des co-produits considérés très souvent jusqu'ici comme des déchets.

Cette animation réalisée le 27 Novembre 2023 a rassemblé une trentaine de participants qui ont pu échanger avec les cinq conférenciers invités sur divers sujets tels que *les plantes ornementales une ressource négligée ou peu exploitée de molécules d'intérêt biologique*, conférence de Pierre-Eric Campos, de l'Institut de Chimie Organique et Analytique (ICOA) d'Orléans; une seconde conférence de Bénédicte Bakan, de l'équipe Biopolymères Interactions Assemblages (BIA) de Nantes et Matthieu Gaucher de l'IRHS sur *la valorisation des drêches industrielles de conserveries pour la protection du pommier*; l'intervention d'Ali Siah de la Grande école Junia, UMR-t BioEcoAgro 1158 de Lille sur *le biocontrôle de la septoriose du blé avec des composés de biocontrôle biosourcés à partir de coproduits agroalimentaires* et enfin, la conférence de Guillaume Viault, de l'équipe EA921 SONAS d'Angers sur *la valorisation de produits d'origine naturelle ciblant les résistances aux phytoalexines des champignons phytopathogènes : vers une protection alternative des cultures*.

Invitation à des colloques

. **Raymond V., Ligonnière S., Bantz A., Goven D.** (2023). Using RNA interference targeting a nicotinic acetylcholine subunit to control insect pest populations. Control of Human Disease Vectors, Pests and Parasites: meeting the challenges of resistance and sustainability, Cambridge, UK, 18-21 september.

Accueil & Mobilité internationale

. **Lilija Duckena** : doctorante en co-tutelle Univ. Angers – Université Lettone de Sciences de la vie et Technologies (LBTU), Directeur thèse en France : P. Simoneau. Mobilité à l'IRHS - équipe FungiSem du 22/9 au 22/12/2023 (3 mois). Titre de la thèse : *Alternaria species diversity on Solanaceae in northern Europe depending on control practices and agroclimatic conditions*.

. **Nabahat Bessadat** (MCF Univ. Oran), mobilité à l'IRHS-FungiSem (3 semaines) en collaboration avec N. Bataillé-Simoneau et P. Simoneau sur des travaux d'identification moléculaire d'espèces d' *Alternaria* pathogènes des Solanaceae.

Perspectives : initiation de nouveaux projets

Projet SeqDetectVeg

Financement : FranceAgriMer

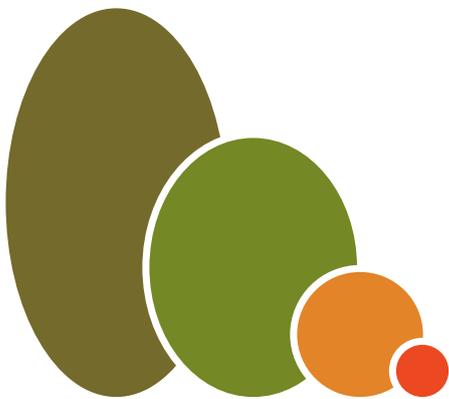
Détection multi-cibles par séquençage de pathogènes transmis par les semences potagères ;

Organisme chef de file : GEVES.

Partenaires : UMR IRHS (EmerSys, FungiSem), SFR QUASAV – Plateau ANAN, Vilmorin-Mikado SA, HM Clause SA, Sakata Vegetables Europe.

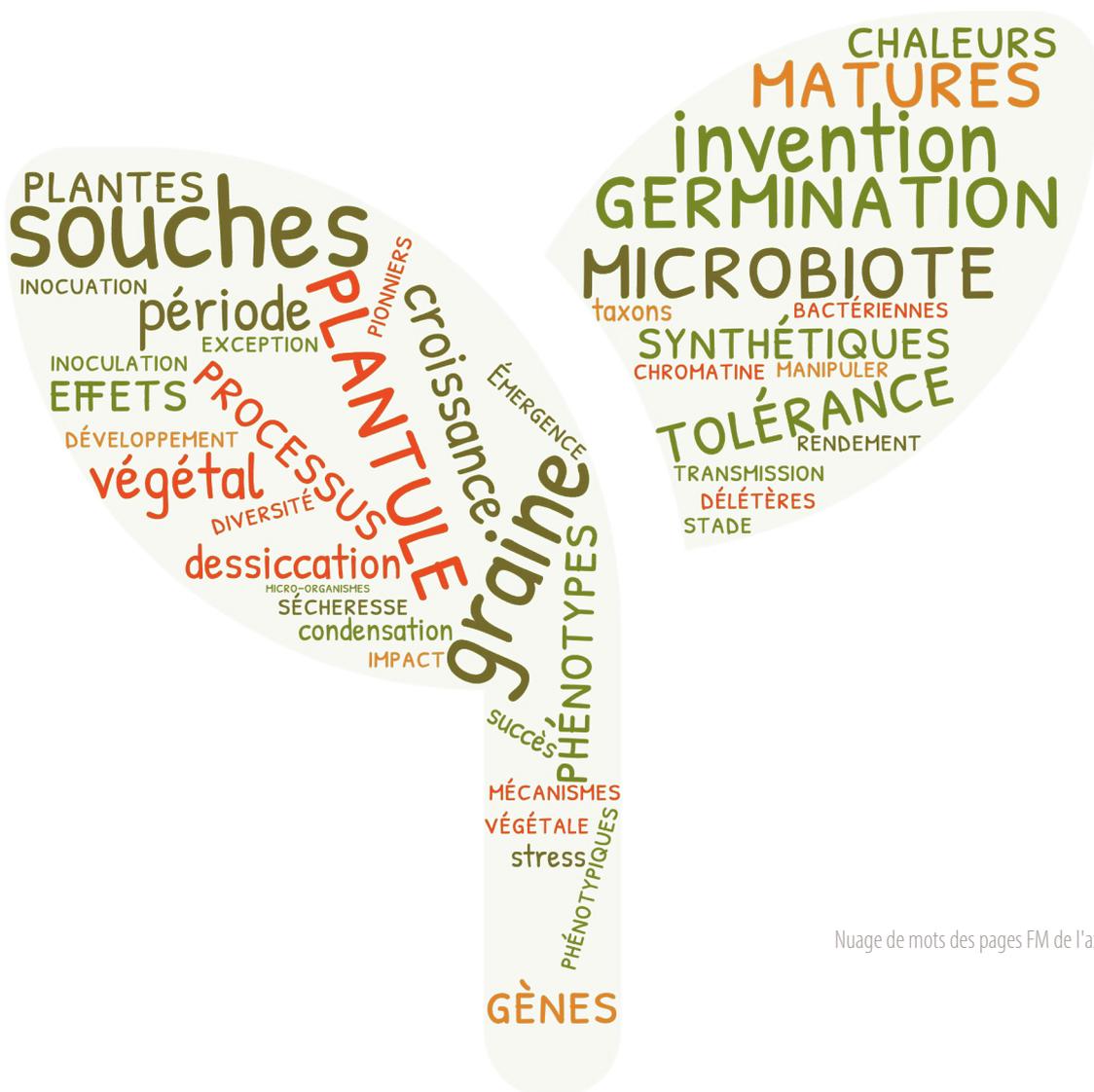
Date de début de projet : Octobre 2023,

Durée : 42 mois.



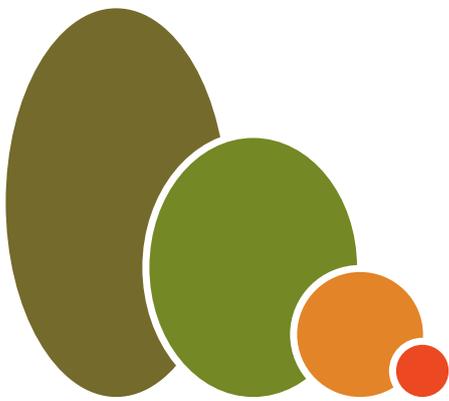
Axe 2 - Biologie, Qualité et Santé des semences

Animateurs:
 Matthieu Barret (IRHS-équipe EMERSYS)
 et Jérôme Verdier (IRHS-équipe SEED)



Nuage de mots des pages FM de l'axe 2

Le bilan de cette année regroupe 2 faits marquants, une animation scientifique de l'axe, 8 invitations à des colloques nationaux/internationaux, 4 mobilités internationales, ainsi que 3 nouveaux projets de recherche. Ces items sont développés dans les sections ci-dessous.



Première utilisation de microbiotes synthétiques pour étudier le microbiote des graines et son impact sur la croissance végétale

Contexte : Les micro-organismes transmis par les graines peuvent être des taxons pionniers pendant la germination et l'émergence des plantules. Pourtant, l'identité et les effets phénotypiques de ces taxons qui constituent un inoculum primaire du microbiote végétal restent largement inconnus.

Objectif : L'équipe EmerSys de l'IRHS a publié une étude pionnière dans *Peer Community in Microbiology* sur l'inoculation de microbiotes synthétiques (SynComs) sur graines pour comprendre sa transmission à la plantule et son impact sur la levée.

Résultats : Toutes les souches et microbiotes synthétiques ont colonisé avec succès les plantules et nous avons pu reconstruire un gradient de richesse (6, 8 et 12 souches) à la fois sur les graines et les plantules. La bactérie *Stenotrophomonas rhizophila* est devenue dominante sur les plantules des trois SynComs, mais la plupart des souches ont eu un succès de transmission variable. La plupart des souches individuelles n'ont eu aucun effet sur les phénotypes des plantules, à l'exception de *Pseudomonas viridiflava* et *Paenibacillus sp.* qui ont eu des effets délétères sur la germination et le développement des plantules. Il est intéressant de noter que certaines souches bactériennes précédemment identifiées comme membres du « core » microbiote des graines de radis (*P. viridiflava*, *E. persicina*) étaient associées à des effets délétères sur les phénotypes des plantules.

Perspectives : Ces résultats montrent que l'inoculation de microbiotes synthétiques peut manipuler efficacement la diversité du microbiote des graines et des plantules et représente ainsi un outil prometteur pour mieux comprendre les premières étapes de l'assemblage du microbiote végétal et aller vers l'ingénierie du microbiote des plantes.

CONTACT

marie.simonin@inrae.fr

IRHS - équipe EmerSys



LE + SFR

La caractérisation du microbiote des graines et plantules a été réalisée sur le plateau ANAN de la SFR QuaSav.

PARTENAIRES

IRHS - EmerSys.

PUBLICATION

Simonin, M., Préveaux, A., Marais, C., Garin, T., Arnault, G., Sarniguet, A., & Barret, M. (2023). Transmission of synthetic seed bacterial communities to radish seedlings: impact on microbiota assembly and plant phenotype. *Peer Community Journal*, 3.10.24072/pcjournal.329



Première utilisation de microbiotes synthétiques pour étudier le microbiote des graines et son impact sur la croissance végétale

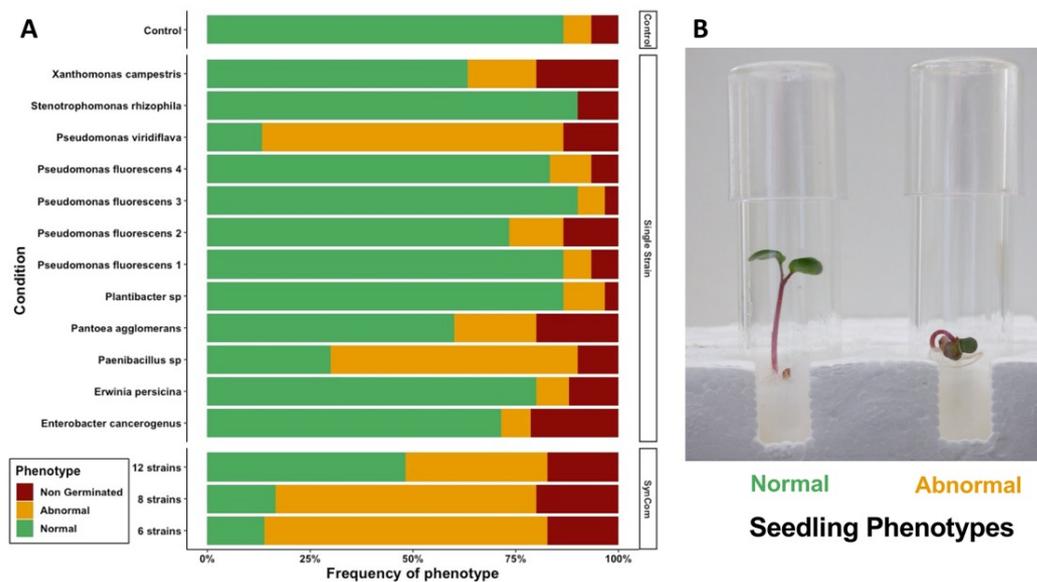


Figure : A) Effet de l'inoculation de souches bactériennes seules ou d'une communauté bactérienne synthétique sur les phénotypes des plantules. B) Image des phénotypes typiques observés dans l'expérience
 Crédit : Guillaume Chesneau et Marie Simonin



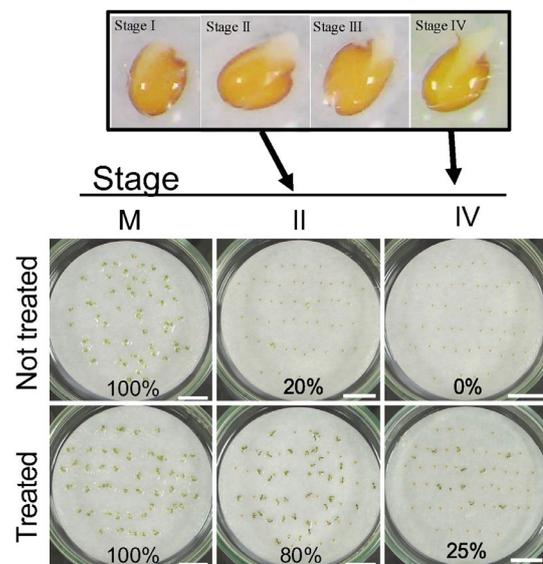
Des plantules capables de tolérer d'intenses périodes de sécheresse ou de fortes chaleurs

Contexte : Le stage post-germination est un stade très sensible aux différents stress, pouvant aboutir à la mort de la jeune plantule (donc une perte du nombre de plantes) et donc au rendement final.

Objectifs : La tolérance à la dessiccation est un processus de protection qui permet aux graines matures de tolérer des teneurs en eau cellulaire inférieures à 10%. Ce processus uniquement présent chez les graines et le pollen est acquis pendant la maturation de la graine. La tolérance à la dessiccation est ensuite perdue lors de la germination des graines (phase d'imbibition) via l'inhibition de l'expression de gènes par des mécanismes de condensation de la chromatine.

Résultats : La présente invention montre qu'il est toutefois possible de maintenir les mécanismes de tolérance à la dessiccation après la germination en bloquant la condensation de la chromatine aux régions codantes pour les gènes de tolérance dans les graines matures avant le début de la germination et ainsi prolonger leur activation durant la germination précoce.

Perspectives : Cette invention permet de prolonger la tolérance à la dessiccation dans les graines après la germination. La germination est une période où les graines sont très sensibles à de multiples stress. Cette invention permet donc la survie de graines en cours de germination lors de périodes de sécheresse ou de fortes chaleurs qui auraient lieu juste après le semis.



% indicates the survival rate after extreme dehydration (desiccation)

Figure : Effet du traitement sur le taux de survie des graines en germination à la suite d'un stress de dessiccation intense. Le panneau supérieur illustre les stades post-germinatifs. Le panneau inférieur montre le taux de survie des graines traitées et non-traitées après la dessiccation des plantules (=déshydratation extrême)

CONTACT

jerome.verdier@inrae.fr

IRHS - équipe SEED



LE + SFR

Les équipements et l'expertise des plateaux ANAN et iMAC ont été essentiels dans la réalisation de cette étude et dans l'obtention des résultats.

PARTENAIRES

IRHS - SEED

PUBLICATION

Un brevet (Verdier J, Malabarba J, Sano N) (EP23306545.7) déposé en septembre 2023 et sous embargo (confidentiel) pendant 18 mois



Rayonnement scientifique

Axe 2 - Biologie, Qualité et Santé des semences

Animation scientifique de l'axe

Cette animation a été réalisée le 7 Septembre 2023 sur la thématique « Protéines Végétales, accélérer les transitions agricoles et renforcer notre souveraineté alimentaire en protéines ». Cette animation a fait intervenir 7 chercheurs de la SFR QuaSav et 2 chercheurs-intervenants extérieurs (JM Couzigou, LIPME Toulouse et K Gallardo, Agroécologie Dijon).

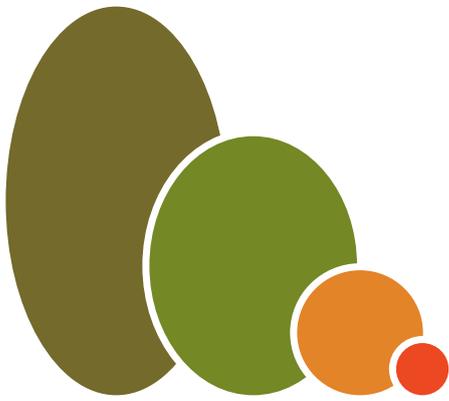
Invitation à des colloques

- **Leprince O, Moizan J, Ly Vu J, Ly Vu B, Neveu M, Lalanne D, Buitink J.** Exploiting genetic diversity of a diverse European soybean collection to improve seedling establishment in Europe. World Soybean Research Conference. Vienne, Autriche.
- **Buitink J, Leprince O.** Molecular understanding of seed vigor acquisition during maturation. World Soybean Research Conference. Vienne, Autriche.
- **Tarkowski LP, Hubert B, Marchi M and Verdier J.** BrlAS (Brussels Institute for advanced studies). Activation of tomato seed defenses through integration of seed and defense priming. Brussels, Belgium.
- **Verdier J, Sano N., Malabarba J., Chen Z., Windels D. and Xu W.** Seed and seedling performances under heat stress. Graines 2023, Versailles, France.
- **Verdier J.** Deciphering and boosting seed defense mechanisms to avoid seed pathogen transmission and damping-off. Plantum at Seed meets technology. Enkhuizen, Netherlands.
- **Verdier J, Sano N., Malabarba J., Chen Z., Windels D. and Xu W.** Seed and seedling performances under heat stress. International Legume society, Granada, Spain.
- **Barret M.** Seed microbiota diversity, assembly and function. International Congress of Plant Pathology 2023, Lyon, France.

- **Simonin M.** Influence of Seed Microbiota on Germination and Emergence: New perspectives through a Meta-analysis and the Use of Synthetic Communities. International Seed Science Society 2023, Paris, France.

Accueil & mobilités internationales

- **Béatrice IACOMI**, (MCF Univ. Bucarest, Roumanie) dans le cadre de l'AAP Mobilité Internationale de l'Université d'Angers (MIR), séjour de 3 semaines à l'IRHS - équipe FungiSem en collaboration avec Claire Champion et dans le cadre de travaux sur le phénotypage de mutants d'*Alternaria brassicicola* en lien avec le métabolisme azoté du champignon (projet UZER).
- **Viviane CORDOVEZ**, chercheur au Department of Microbial Ecology, Netherlands institute of Ecology NIOO - KNAW (The Netherlands) dans le cadre de l'AAP Mobilité Internationale de l'Université d'Angers (MIR), séjour de 3 semaines à l'IRHS -équipe EmerSys/FungiSem en collaboration avec Marie Simonin, Natalia Guschinskaya, Muriel Marchi autour du sujet suivant (mise en place d'une collaboration scientifique) : Uncovering the diversity of yeasts in seeds and leaves (projet DivYeast).
- **Marta TRASOLETTI**, Doctorante dans l'équipe de Francesca CARDINALE, Department of Agriculture, Forest and Food Science de l'Université de Turin (Italie). Séjour de 3 mois dans l'équipe SEED (J. Verdier) pour le développement de la méthode de Cut&Tag en collaboration avec les plateaux ANAN et IMAC de la SFR QuaSav.
- **Isa HALLOPP**, stage de Master de 6 mois (Université Umea, Sweden). Modelling microbial community assembly through resources competitions (encadrement M. Barret).



Rayonnement scientifique

Axe 2 - Biologie, Qualité et Santé des semences

Perspectives : initiation de nouveaux projets

Projet ANR JCJC INHERSEED

Étudier la transmission transgénérationnelle du microbiote pour moduler la santé des plantes

Contexte : Soutenu par l'appel à projet ANR Jeune Chercheur.e, le projet INHERSEED vise à identifier les micro-organismes transmis entre générations par les graines qui favorisent la bonne santé des plantes cultivées et ornementales.

Objectif : Le projet INHERSEED vise à caractériser la transmission microbienne de la plante mère à la plante fille *via* les graines, à travers 50 espèces cultivées couvrant 12 familles d'Angiospermes.

Résultats : Le projet génèrera des résultats clés pour (in)valider la théorie de l'hobionte végétal *via* 3 types de données :

- 1 - Nous fournirons une caractérisation approfondie de la transmission microbienne chez les plantes à fleurs.

- 2 - Nous déterminerons s'il existe une phylosymbiose entre la phylogénie de l'hôte et le microbiote des graines ou des plantules à travers 12 fa-

milles d'Angiospermes, suggérant des associations intimes hôte-microbiote au cours de l'évolution.

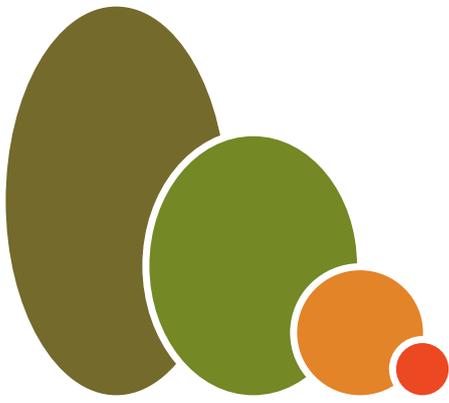
- 3 - Nous validerons le rôle fonctionnel des taxons hérités sur la fitness des plantes et l'assemblage du microbiote, afin de déterminer si la transmission microbienne est associée à des gains de fitness végétale. Dans ce cadre, un.e technicien.ne en expérimentation végétale à Phenotic (18 mois) et un.e post-doctorant.e (3 ans) seront recrutés.

Perspectives : Ces connaissances fondamentales fourniront des concepts clés afin de piloter le microbiote des plantes pour une agriculture plus durable.

Le projet impliquera la plateforme PHENOTIC pour la multiplication des 50 espèces végétales et en particulier utilisera la nouvelle serre PHENOTIC 2 pour un essai de grande ampleur sur 1 an. La caractérisation du microbiote des plantes sera réalisée sur le plateau ANAN.

PARTENAIRES

IRHS - EmerSys, IRHS - FungiSem, IRHS - SEED



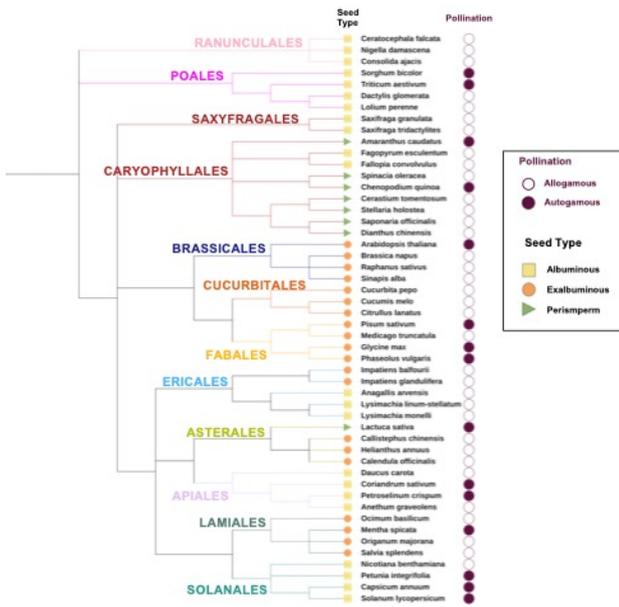
Rayonnement scientifique

Axe 2 - Biologie, Qualité et Santé des semences

Perspectives : initiation de nouveaux projets

Projet ANR JCJC INHERSEED

50 espèces cultivées et ornementales



Utilisation de la nouvelle serre PHENOTIC 2



Figure : Liste des 50 espèces végétales étudiées dans le projet qui seront étudiées dans les nouvelles serres PHENOTIC 2
 Crédit : Guillaume Chesneau et Marie Simonin, Cédric Paquereau

CONTACT

marie.simonin@inrae.fr

IRHS





Rayonnement scientifique

Axe 2 - Biologie, Qualité et Santé des semences

Perspectives : initiation de nouveaux projets

Projet PULSAR

Financement : ANR FRANCE 2030

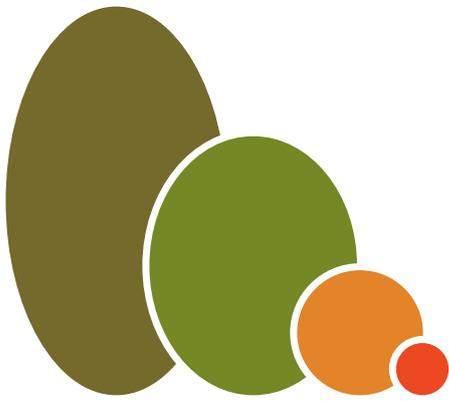
Production et utilisation des protéines de lupin : ré-émergence d'une légumineuse orpheline grâce aux associations d'espèces - *Protein Utilization and production in Lupinus: Species Association-driven Reviving of an orphan legume species*

Les légumineuses ont la capacité de produire des graines riches en protéines, utilisables pour l'alimentation humaine et animale, et par là-même jouent un rôle important pour promouvoir une agriculture économe en ressources et une nutrition saine et durable. Pourtant, les protéagineux, le pois, la fève et le lupin, capables de fixer l'azote atmosphérique, ne représentent que 2 à 3% des surfaces cultivées en Europe. Les investissements pour la recherche et le développement concernant ces espèces ont été modestes. Le lupin est considéré comme une espèce "orpheline", encore très mal connue. En France, seules dix variétés de lupin blanc sont disponibles pour les agriculteurs. Pourtant, le lupin a un potentiel considérable pour la production de protéines et la santé humaine, car cette espèce produit des graines très riches en protéines (comparables au soja), avec des acides aminés essentiels, des microéléments, et une huile riche en oméga 3. La faible part du lupin est surtout expliquée par des rendements très variables d'une année sur l'autre, une sensibilité aux excès d'eau comme à la sécheresse et une faible compétitivité vis à vis des adventices. De plus, cette espèce peu connue des consommateurs peut provoquer des allergies alimentaires. Le projet PULSAR regroupe un consortium d'unités INRAE, dont deux unités de re-

cherche de l'École Supérieure des Agricultures (ESA), et deux entreprises privées (Kedelai et Cérience), avec l'intention d'ouvrir la voie à l'augmentation des surfaces de culture du lupin blanc et au développement de son utilisation pour l'alimentation humaine. Pour cela, PULSAR a pour objectif d'améliorer les connaissances en matière de biologie du lupin, d'agronomie et de sciences des aliments, et fournir des solutions applicables afin d'élargir la gamme des variétés de lupin disponibles pour des systèmes de culture efficaces et résilients. Il vise également à étudier le potentiel de la fermentation pour améliorer la digestion du lupin et masquer sa nature allergène. Pour cela, le consortium de PULSAR caractérisera la collection nationale de ressources génétiques de lupin blanc (*Lupinus albus L.*) de l'INRAE Dijon et identifiera les lignées pertinentes dans le contexte du réchauffement climatique et d'économie en ressources. Du point de vue agronomique, PULSAR propose de cultiver le lupin en association avec une plante de service, une pratique permettant de réduire le développement des adventices et offrant une meilleure résilience du système face aux aléas. Du fait de cet intérêt pour les associations d'espèces, PULSAR s'aligne parfaitement sur les principes agroécologiques, c'est-à-dire la faible utilisation intrants chimiques pour une agriculture durable s'appuyant sur les processus biologiques. PULSAR analysera aussi le fonctionnement physiologique du lupin afin de mieux comprendre les liens avec la qualité protéique de la graine. Compte-tenu de la demande croissante de produits végétaux fermentés en lien avec leurs bénéfices sur la santé, les équipes de sciences des aliments étudieront l'effet de la fermentation par des bactéries lactiques ou des champi-

PARTENAIRES

Trois partenaires de la SFR QUASAV : LEVA (coordination du projet, Joëlle Fustec ; responsable WP2, Christophe Naudin), IRHS - SMS (Responsable WP3, Guillaume Tcherkez), GRAPPE (analyse sensorielle, Ronan Symoneaux). Autres unités INRAE : IPSIM Montpellier (Co-coordination du projet, Hélène Pidon), Agroécologie Dijon (Responsable WP1, Nadim Tayeh), STLO Rennes (Responsable WP4, Valérie Gagnaire), BIA Nantes (Responsable WP5, Marie Bodinier).



Rayonnement scientifique

Axe 2 - Biologie, Qualité et Santé des semences

gnons microscopiques filamenteux sur le pouvoir allergène et la digestibilité des protéines et des graines de lupin. L'acceptabilité par les consommateurs des produits issus de ces processus de fermentation sera évaluée, notamment par l'analyse sensorielle. PULSAR est le premier projet de cette envergure dédié au lupin ; il constitue ainsi un levier majeur pour développer la culture et l'industrie du lupin en France.

Trois partenaires de la SFR QUASAV : LEVA (coordination du projet, Joëlle Fustec ; responsable WP2, Christophe Naudin), SMS-IRHS (Responsable WP3, Guillaume Tcherkez), GRAPPE (analyse sensorielle, Ronan Symoneaux). Autres unités INRAE : IPSIM Montpellier (Co-coordination du projet, Hélène Pidon), Agroécologie Dijon (Responsable WP1, Nadim Tayeh), STLO Rennes (Responsable WP4, Valérie Gagnaire), BIA Nantes (Responsable WP5, Marie Bodinier).



CONTACT

j.fustec@groupe-esa.com

LEVA



Perspectives : initiation de nouveaux projets

Projet SeqDetectVeg

Financement : FranceAgriMer

Détection multi-cibles par séquençage de pathogènes transmis par les semences potagères.

Organisme porteur : GEVES.

Partenaires : UMR IRHS (EmerSys, FungiSem), SFR QUASAV – Plateau ANAN, Vilmorin-Mikado SA, HM Clause SA, Sakata Vegetables Europe.

Durée : 42 mois.

PARTENAIRES

IRHS - EmerSys, IRHS - FungiSem – Plateau ANAN, Vilmorin-Mikado SA, HM Clause SA, Sakata Vegetables Europe. Durée : 42 mois.



Axe 3 - Qualités et valorisation des productions végétales spécialisées

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

URBAINS fertilisation
EFET espaces gestion
HORTENSIA VERTS
biostimulants
ÉMISSIONS croissance
protéinesPELOUSES

Nuage de mots des pages FM de l'axe 3

L'axe 3 est centré sur la qualité (visuelle, nutritionnelle, olfactive) 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, STREMH0**), le **GRAPPE** et le **SONAS**. 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. Pour l'année 2023, trois faits marquants ont été identifiés, portés par quatre équipes de l'axe 3 (**EPHor, STRAGENE, STREMH0**). Certains s'inscrivent dans des collaborations avec les plateaux de la SFR tels que le **plateau IMAC**, pour étudier les stimulations mécaniques récurrentes comme alternatives efficaces aux nanifiants chimiques sur Hortensia. Le fait marquant relatif à la cartographie des émissions de gaz à effet de serre dans les espaces verts de la ville d'Angers

repose sur une collaboration entre deux équipes de l'axe 3 (**EPHor et STREMH0**).

En termes de valorisation scientifique, une collaboration inter-axes (**STRAGENE et SMS**) a été à l'origine d'une revue. Trois autres projets de revue ont été produits par deux équipes de l'axe 3 (**STREMH0 et GRAPPE**).



Faits marquants

Axe 3 - Qualités et valorisation des productions végétales spécialisées

Cartographie des émissions de gaz à effet de serre dans les espaces verts de la ville d'Angers

Contexte : Dans les espaces verts urbains, les couverts végétaux (e.g. forêt urbaine, pelouse) associés aux pratiques culturales (e.g. fertilisation, irrigation, tonte) peuvent impacter les cycles couplés du carbone et de l'azote et générer des impacts environnementaux négatifs.

Objectif : Évaluer l'influence de la végétation arborée et de l'intensité de gestion sur le processus de décomposition des matières organiques, de la fragmentation jusqu'à la minéralisation et les émissions de gaz à effet de serre associées.

Résultats : Il existe des contrastes de fonctionnement entre des forêts urbaines et des pelouses qui peuvent être arborées. Ces pelouses ont des modes de gestion contrastés (fertilisation, irrigation, hauteur de tonte et fréquence...), impactant ainsi l'activité biologique des sols urbains, la respiration du sol et les émissions de N₂O selon les modes de fertilisation. De plus, de l'évaluation des cycles couplés du C et N et de la prise en compte des modes de gestion pour favoriser les services écosystémiques des espaces verts urbains, il en ressort l'intérêt de maintenir des restitutions de litières aériennes des pelouses arborées et la nécessité d'avoir plus de forêts urbaines.

Perspectives : S'inscrivant dans un projet co-financé par l'ADEME et la Région Pays de Loire (SAGES, 2022-

25), il sera pertinent d'élaborer un outil d'aide à la gestion des espaces verts urbains, grâce à des indicateurs agro-environnementaux qui seront développés.

Importance du FM : Identifier de nouveaux fronts de science concernant les flux de CO₂, CH₄ et N₂O dans les pelouses avec ou sans arbres. Le site d'étude était la ville d'Angers, où 15 espaces verts urbains contrastés par leurs modes de gestion ont été caractérisés



Figure : Campagne de mesure des gaz à effet de serre au parc de la Claverie, Angers. Suivi de la décomposition des litières dans des litterbags.
Crédit : T. Künnemann

CONTACT

rene.guenon@institut-agro.fr
EPHor



PARTENAIRES

EPHor (Environnement Physique de la plante horticole) et IRHS - STREHMO (Stress Epigénétique et mémoire des plantes).

PUBLICATION

Künnemann T, Cannavo P, Guérin V, Guénon R 2023. Soil CO₂, CH₄ and N₂O fluxes in open lawns, treed lawns and urban woodlands in Angers, France. *Urban Ecosystems* 26, 1659–1672. <https://doi.org/10.1007/s11252-023-01407-y>



Propriétés biostimulantes des hydrolysats de protéines : Avancées récentes et défis futurs

Contexte : Au cours de la dernière décennie, les biostimulants végétaux ont été de plus en plus utilisés dans l'agriculture comme des intrants respectueux de l'environnement, améliorant la durabilité et la résistance des systèmes de production agricole. Les hydrolysats de protéines (HP) constituent une catégorie principale de biostimulants produits par hydrolyse chimique ou enzymatique de protéines d'origine animale ou végétale.

Objectif : Cette revue avait pour objectif de donner une vue d'ensemble des résultats actuels concernant les mécanismes d'action potentielles des HP et de souligner les manques de connaissances qui méritent d'être comblés, dans une perspective de rendre l'utilisation des biostimulants plus efficace pour différentes cultures végétales dans le contexte du changement climatique.

Perspectives : Un projet de thèse CIFRE a été déposé (2024-2027) portant sur « Effet de Leafamine® sur la réponse de la laitue en condition de stress hydrique : vers une compréhension holistique ». Ce projet implique deux équipes de l'IRHS (**STRAGENE** et **SMS**) et l'entreprise **BCF-Life Science**, et vise à comprendre l'effet des biostimulants sur les parties racinaire et aérienne et à identifier les signaux systémiques potentiellement impliqués.

Importance du FM : Cette revue s'inscrit dans une stratégie de consolidation du positionnement des membres des équipes de la SFR sur cette thématique, tout en offrant la possibilité de nouvelles collaborations.

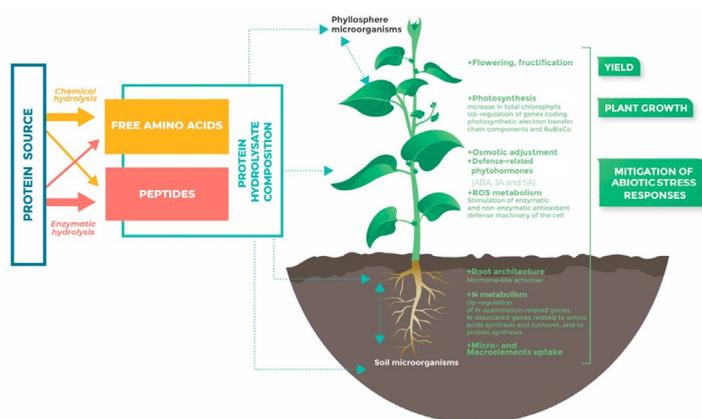


Figure : Composition des hydrolysats protéiques et leurs effets sur le développement des plantes et leur réponse au stress abiotique. L'encadré bleu clair décrit la composition des HP (teneur en acides aminés libres et en peptides), en fonction de la méthode d'hydrolyse (hydrolyse enzymatique ou hydrolyse chimique).

CONTACT

soulaiman.sakr@institut-agro.fr

IRHS



PARTENAIRES

Ce projet de revue implique **STRAGENE** et **SMS** et une entreprise privée spécialisée dans les biostimulants (BCF Life Science).

PUBLICATION

Marthe Malécange, Renaud Sergheraert, Béatrice Teulat, Emmanuelle Mounier, Jérémy Lothier, Soulaïman Sakr (2023) Biostimulant Properties of Protein Hydrolysates: Recent Advances and Future Challenges. International Journal of Molecular Science, 2023, 24, 9714. <https://doi.org/10.3390/ijms24119714>



Des stimulations mécaniques récurrentes comme alternatives efficaces aux nanifiants chimiques sur Hortensia

Contexte : La production de plantes ornementales au port compact et ramifié implique l'utilisation de retardateurs de croissance chimiques, progressivement prohibés en raison de leurs effets sur la santé humaine et l'environnement.

Objectif : La stimulation mécanique (SM) émergeant comme une alternative plus écologique et économique, ce travail est centré sur le rôle de la SM pour contrôler la croissance de nombreuses espèces végétales, bien que ses effets varient selon les génotypes et les stades physiologiques des plantes.

Résultats : Pour la première fois, les effets de flexions symétriques récurrentes (1 ou 12 fois par jour) ont été caractérisés sur de jeunes plants d'Hortensia (*Hydrangea macrophylla* L.). Les traitements mécaniques ont induit des effets nanifiants similaires aux retardateurs de croissance chimiques et ont également permis le renforcement des tiges en stimulant leur croissance radiale. Les analyses histologiques et moléculaires ont montré que les réponses à la SM étaient spatialement contrôlées et perduraient jusqu'à 48h après la dernière flexion. Dans les entre-nœuds basaux, la SM favorise l'expression des gènes de la xylogenèse (*XYP1*), l'épaississement de la paroi cellulaire (*FLA11*), et le dépôt de lignine dans les cellules du xylème (*CAD1*), tandis que la SM les réprime dans les entre-nœuds supérieurs en cours d'allongement.

Importance du FM et perspectives : Ces résultats prometteurs en laboratoire ouvrent à l'étude du transfert de cette méthode en production d'Hortensia. Il sera à cette occasion intéressant d'évaluer si l'impact de la SM sur le renforcement des parois cellulaires peut aussi contribuer à augmenter leurs résistances aux pathogènes.

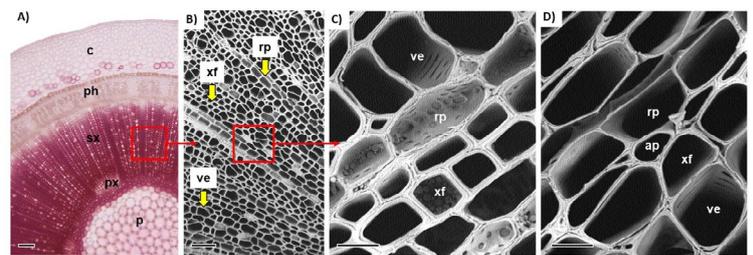


Figure : Effet de sollicitations mécaniques sur les entre-nœuds basaux de tiges d'Hortensia. Coupes transversales observées au microscope (A) et au microscope électronique à balayage (B-D) chez des plantes stimulées (C) et des plantes non stimulées. Pith (p); primary xylem (px); secondary xylem (sx); primary and secondary phloem (ph); cortex (c); xylem fiber (xf); radial parenchyma cell (rp); axial parenchyma cell (ap); vessel element (ve). Scale bars: (A) 200 μ m; (B) 55 μ m; (C-D) 15 μ m.

Crédit : Béra Ley-Ngardigal, IRHS

CONTACT

nathalie.leduc@univ-angers.fr

IRHS



PARTENAIRES

Ces travaux, réalisés au cours de la thèse de Béra Ley-Ngardigal dans le cadre du LabCom MATCH et financé par l'ANR (ANR 18-LCV3-0004-01), ont permis une collaboration entre les membres de l'équipe **STREMHO** de l'IRHS, de l'entreprise Hortensia France et du **plateau IMAC** (Imagerie Cellulaire) de la SFR QUASAV

PUBLICATION

Ley-Ngardigal, B., Roman, H., Brouard, N., Huché-Thélier, L., Guérin, V., and Leduc, N. (2024). Recurrent symmetrical bendings cause dwarfing in *Hydrangea* through spatial molecular regulation of xylem cell walls. *Front. Plant Sci.* 14, 1268272. doi: 10.3389/fpls.2023.1268272



Rayonnement scientifique

Axe 3 - Qualités et valorisation des productions végétales spécialisées

Animation scientifique de l'axe

Le 27 novembre 2023, nous avons proposé, pour la première fois, une animation conjointe avec l'axe 1 (Gestion durable de la santé des plantes (état sanitaire et physiologique)) de la SFR portant sur la valorisation des co-produits comme biostimulants ou substances naturelles de défense (SDN). Nous avons invité quatre intervenants avec des domaines de recherche très complémentaires :

1. Pierre-Eric Campos, Institut de Chimie Organique et Analytique (ICOA), Orléans : Les plantes ornementales une ressource négligée ou peu exploitée de molécules d'intérêt biologique
2. Bénédicte Bakan, Biopolymères Interactions Assemblages (BIA), Nantes & Matthieu Gaucher (IRHS) : De la valorisation des drêches industrielles de conserveries à la protection du pommier
3. Ali Siah, Junia, UMR-t BioEcoAgro 1158, Lille : Biocontrôle de la septoriose du blé avec des composés de biocontrôle biosourcés à partir de coproduits agroalimentaires
4. Guillaume Viault, EA921 SONAS, SFR QUASAV, Angers : Valorisation de produits d'origine naturelle ciblant les résistances aux phytoalexines des champignons phytopathogènes : vers une protection alternative des cultures

Ces quatre interventions ont été poursuivies d'une discussion sur les possibilités de collaboration entre les membres des différentes équipes de recherche présents, dont le but d'identifier des questions inter-axes et de nouvelles collaborations. Nous souhaitons poursuivre ce type d'animation inter-axe pour recréer une nouvelle dynamique collaborative, y compris au sein de la SFR.

Action structurante

Le projet structurant correspondant au projet collaboratif Cannatech, "Production optimisée de cannabis médical", a été lancé avec le recrutement d'un post-doctorat en janvier 2024, notamment pour sa partie d'ingénierie agronomique. Pour rappel, le projet vise à comprendre les relations entre les différents stades de développement de la plante et l'accumulation des métabolites spécialisés d'intérêt thérapeutiques, tout en intégrant les enjeux économiques, environnementaux et énergétiques. Ce projet implique trois équipes de l'axe 3 de la SFR (**STRAGENE**, **SONAS**, **PHENOTIC**) et le plateau **PHYTO**, ayant des expertises complémentaires couvrant l'écophysiologie, la physiologie végétale, la modélisation, le phénotypage, l'intelligence artificielle et l'analyse des métabolites secondaires.

En 2023, le projet collaboratif ROSEHRATA a également démarré entre des équipes de l'INRAE et l'ESA impliquant deux équipes de la SFR QUASAV rattachées à l'axe 3 (**GRAPPE** et **IRHS-GDO**). Il vise à transférer la méthodologie HRATA, mise au point sur le vin, à la rose. La poursuite de la collaboration est souhaitable pour finaliser ce transfert de méthode.



Rayonnement scientifique

Axe 3 - Qualités et valorisation des productions végétales spécialisées

Deux nouveaux projets structurants ont démarré en 2023

Le projet « STRASS » « Subcellular trafficking and secretion of scent » vise à identifier les protéines clés impliquées dans la formation et la stabilisation des LDs (lipid droplets). En effet, le rosier émet une diversité de composés volatiles qui jouent un rôle essentiel dans la reproduction, les défenses, les interactions plantes-plantes, les réponses aux stress biotiques et abiotiques et constitue un caractère primordial pour les nouvelles variétés de rosier. Plusieurs études ont permis d'élucider les voies de biosynthèse et de régulation de ces composés. Néanmoins, les localisations subcellulaires, les compartiments de stockage et de transports restent inconnus. Cet ANR PRCI prévoit d'élucider ces aspects à travers l'étude de vésicules de transport (LDs lipid droplets) de ces composés organiques volatiles (VOCs). Un des objectifs visera à identifier si ces LDs sont impliqués dans le transport et l'émission des VOCs et si ces LDs évoluent au cours du temps et durant le développement de la fleur. Des études de validation fonctionnelle viendront confirmer ou infirmer le rôle de ces protéines dans l'émission des VOCs.

Partenaires : SFR (IRHS - GDO, PHENOTIC) et hors SFR (coordonnation par LBVpam Saint Etienne University ; Purdue University ; Fresnel Institut, Université

Dans le cadre de l'alliance EU Green (2023-2027, 9 universités européennes de taille moyenne dont l'Université d'Angers) autour des objectifs de développement durable, le **SONAS** et le **plateau PHYTO** de la SFR QUASAV sont impliqués dans deux projets de recherche dont le financement a été retenu en 2023 (Seed Funding de l'Alliance EU-GREEN).

Avec 4 autres partenaires européens, le projet AGRI-BIOPEP (2024-2025) vise à valoriser les déchets de l'industrie agroalimentaire en étudiant des alternatives et des sources naturelles de protéines à bas prix. Dans

ce contexte, le potentiel de valorisation des métabolites spécialisés sera également étudié. A la suite d'un échange avec les différents groupes transdisciplinaires impliqués en présentiel à Badajoz (Espagne), l'objectif final est le dépôt de deux projets européens en 2024-2025 [MSCA Doctoral Networks et Circular Bio-based Europe (CBE)].

En outre, le **SONAS** est également impliqué dans le projet CDF+. Ce projet, vise à réunir les expertises pluridisciplinaires de différentes équipes de recherche de l'alliance autour d'une thématique centrale de développement durable du système de production laitière en couvrant l'ensemble de la chaîne de production (de la qualité de l'alimentation animale à la valorisation des co-produits). Ce financement a permis de valider la première étape de construction de ce nouveau réseau de collaboration européen au travers du dépôt d'un projet MSCA Staff Exchange en février 2024 (Projet DairyGreenNoWaste) suite à de multiples échanges TEAMS et une réunion en présentiel à Parme mi-janvier 2024. Le SONAS contribuera à ce projet en proposant ses compétences en techniques analytiques et plus largement en chimie des produits naturels (extraction, fractionnement, caractérisation) en privilégiant notamment, en tant qu'axe de valorisation, la recherche de solutions alternatives pour la protection des cultures. CDF+ accompagnera un second temps de réflexion et de construction de réseau selon une approche similaire (réunions TEAMS + une nouvelle réunion en présentiel à Gävle en septembre prochain) pour identifier de nouvelles opportunités de réponses collaboratives à des appels à projets européens.



Rayonnement scientifique

Axe 3 - Qualités et valorisation des productions végétales spécialisées

Reviews and Opinion Papers

- Biostimulant Properties of Protein Hydrolysates: Recent Advances and Future Challenges (2023). **Marthe Malécange, Renaud Sergheraert, Béatrice Teulat, Emmanuelle Mounier, Jérémy Lothier, Soulayman Sakr**. International Journal of Molecular Science 24, 9714. <https://doi.org/10.3390/ijms24119714>
- Sustainability assessment in innovation design processes: place, role and conditions of use in agrifood systems. A review (2023) **Perrin, A., Yannou-Le Bris, G., Angevin F. et Pénicaud, C.** Agronomy for Sustainable Development. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00860-x>
- Biological Effects of Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields from 0 to 100 MHz on Fauna and Flora. Workshop Report. (2023) **Pophof B, Henschenmacher B†, Kattnig Dr†, Kuhne J†, Vian A†, Ziegelberger G†**. Health Physics 124(1): 39-52
- Biological Effects of Radiofrequency Electromagnetic Fields above 100 MHz on Fauna and Flora: Workshop Report. (2023) **Pophof B, Henschenmacher B†, Kattnig Dr†, Kuhne J†, Vian A†, Ziegelberger G†**. Health Physics. 124(1): 31-38.

Organisation de workshops

S. Derbré, A. Bruguière et M. Meunier, Workshop Déréplication par RMN 13C, MixONat, 6e Symposium International de l'AFERP, 18 juillet 2023, Orsay. 50 participants.

Invitations à des colloques et séminaires

- **Bournet P.E.** (2023) Greenhouse+: building sustainable greenhouse systems on the basis of plant need adjustment., International Conference on Intelligent Agriculture (ICIA2023), Tianjin, China, 18-20 May 2023.
- **Vidal-Beaudet L.** (2023). Principles and evolution of constructed soils in urban horticulture. 1st International Symposium on Growing Media, Compost Utilization and Substrate Analysis for Soilless Cultivation. RE3 Conference, 11-15 June 2023, Quebec (Canada). keynote speaker
- **Vidal-Beaudet L., Schwartz C.** (2023). Desceller les sols urbains pour les rendre multifonctionnels : des acquis scientifiques indispensables à l'optimisation des pratiques. XVIe Journées d'étude des sols, 26-29 juin 2023, Dijon. Conférence invitée en keynote, Accueil & Mobilité internationale
- **Foucher F.** (2023) « Genomics of important ornamental traits in rose: how do transposable elements make the success of roses? » Colloque Experimental Plant Sciences (EPS Get2Gether) du 01 au 02 mai 2023 Soest, NL.
- **Lê, S., R. Symoneaux** (2023). 30 years of sensory and consumers sciences through the Pangborn Symposium. 15th Pangborn Sensory Science Symposium: Meeting new challenges in a changing world, La cité des congrès de Nantes, France. 20-24 August 2023.
- **Maitre, I.** (2023). Table ronde : Le plaisir, allié ou ennemi d'une alimentation favorable à la santé. Rencontres de l'Institut Nutrition Lyon. 1er juin 2023.
- **Symoneaux, R.** (2023). Sensory scientists at the core of consumer-led product ecodesign. 15th Pangborn Sensory Science Symposium : Meeting new challenges in a changing world, La cité des Congrès de Nantes, France. 20-24 August 2023.



Rayonnement scientifique

Axe 3 - Qualités et valorisation des productions végétales spécialisées

- **Séverine Derbré, Manon Meunier, Andreas Schinkovitz.** Finding actives in a haystack faster and more accurately? Proposed workflows combining chemometrics and dereplication based on both MS and ¹³C NMR. 6e Symposium International de l'AFERP, 17 juillet 2023, Orsay.
- **Jean-Jacques Hélesbeux.** Anti-inflammatory ω -oxidized tocotrienols modulating the arachidonic acid metabolism. 6e Symposium International de l'AFERP, 17 juillet 2023, Orsay.
- **Séverine Derbré, Manon Meunier, Andreas Schinkovitz.** Looking for actives in a haystack: PAMS merges HRMS²-based molecular networking, chemometrics and ¹³C NMR-based dereplication approaches. 10+3 ans de la plateforme CORSAIRE, 5-6 janvier 2023, Roscoff.

Accueil & Mobilité internationale

Mobilités entrantes

- **M. MUNOZ-LOPEZ Aitor**, doctorant à National Centre of Biotechnology (CNB-CSIC) Plant Molecular Genetics Department, Madrid Espagne), tout le mois de juillet 2023, au sein de l'équipe **STRAGENE**, IRHS. L'objectif de cette mobilité financée par son établissement, est d'initier une collaboration avec la Pr. Pilar Cubas sur le rôle des voies de signalisation de sucre dans le contrôle de la ramification, notamment le facteur de transcription BRANCHED1.
- **Mme JIANG Zheng-rong Jiang**, doctorante Nanjing Agricultural University pour un séjour scientifique de 18 mois (Janvier 2022-juillet 2023) à **STRAGENE** (IRHS), pendant lequel elle a travaillé sur la régulation de la ramification par les interactions hormones (auxine et cytokinines) et sucre (saccharose). Cette collaboration se poursuit grâce à l'accueil d'un autre doctorant (Yu-Wui WANG) pour une période de 16 mois (mars 2024- juillet 2025).
- **Gvantsa SHANSHIASHVILI**, PhD student du Department of Food au **GRAPPE**, Environmental and Nutritional Sciences (DeFENS), Università degli Studi di Milano, Italia, du 1er avril au 9 juillet 2023, dans le

cadre de sa thèse de doctorat "Improving the grape pressing for a sustainable wine production chain (GrapePress 4.0).

Perspectives : projets émergents

Thématique VALORISATION DES MÉTABOLITES SPÉCIALISÉS COMME NOUVELLES GÉNÉRATIONS DE NANIFIANTS

L'architecture de la plante résulte de l'organisation spatiotemporelle des branches 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 (**IRHS - STRAGENE, SONAS**) et de l'axe 1 (**IRHS - SMS**) s'est poursuivie autour de l'identification de produits naturels modulateurs de la croissance pour remplacer certains intrants. La précédente validation d'un test biologique permettant de cribler produits naturels et extraits végétaux a permis, en 2023, l'identification de produits naturels d'intérêt issus de co-produits.



MOYENS TECHNIQUES MUTUALISÉS

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



Analyse des acides nucléiques

L'activité de ce Plateau Technique Mutualisé (PTM) initialement dédié principalement au génotypage s'est étendu à la génomique (NGS) et à l'analyse à haut-débit de l'expression de gènes (micro-array, RNAseq).



Imagerie Cellulaire

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



Collection de microorganismes

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

PHYTO

Analyses phytochimiques

Ce plateau mutualisé propose des outils et compétences dédiées aux analyses qualitatives ou quantitatives de métabolites secondaires d'origine végétale.



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.



Analyse sensorielle du Végétal

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 personnel dédié. 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

ANAN : ANalyses des Acides Nucléiques



Responsables

Responsable scientifique :

Sandrine Balzergue, INRAE-IRHS, sandrine.balzergue@inrae.fr

Tél. : 02 41 22 57 77

42 rue Georges Morel, BP 60057, 49071 Beaucouzé



Responsable technique et opérationnelle :

Muriel Bahut, Campus du Végétal - muriel.bahut@univ-angers.fr

Tél. : 02 41 22 56 76



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
- Jessica Dittmer (0.1 ETP) : projets MinION
- Vincent Guérin (0,1 ETP) : Broyeurs
- Julien Jeauffre (0,2 ETP) : Projets RNAseq / qPCR / Bioanalyseur
- David Lalanne (0,1 ETP) : qPCR / Bioanalyseur
- Coralie Marais (0.2 ETP): Projets de séquençage Miseq Barcoding
- Aurélien Petiteau (0.1 ETP) : Robot de pipetage
- Maria Dolores Perez Garcia (0,1 ETP) : Robot d'extraction

Introduction

Le plateau technique ANAN (Analyse des Acides Nucléiques) met à disposition des outils de caractérisation et d'analyse des acides nucléiques ainsi que son expertise en projets de génomique. 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 d'accéder facilement à des technologies de génomique à moyen et haut débit, de manière environnée ou non, pour des études préliminaires et/ou des mises au point technologique, notamment

avant le passage en très haut débit vers des plateformes dédiées. Le plateau met également à disposition des appareils de préparation des échantillons et de contrôle qualité des acides nucléiques.

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



ANAN : ANalyses des Acides Nucléiques

Principaux équipements

Le plateau ANAN met à disposition des utilisateurs des équipements dits « génériques » permettant de préparer les échantillons d'acides nucléiques (broyage, extraction, dosage, contrôle qualité...), ainsi que des équipements d'exploration de ces échantillons (séquençage, génotypage...).

La liste des équipements accessibles est disponible sur le site internet de la SFR QUASAV, en suivant le lien ci-dessous.

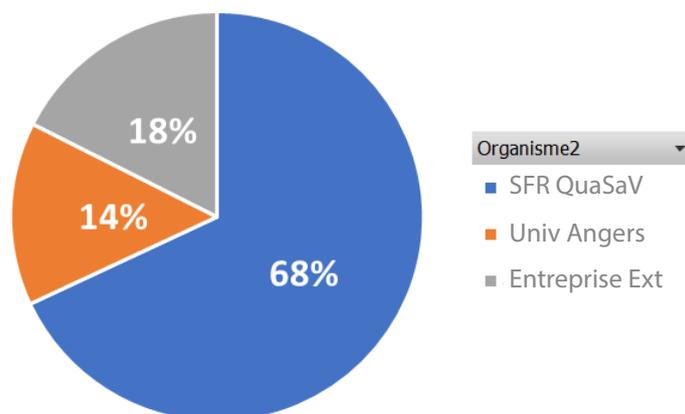
<https://www.sfrquasav-angers.org/Plateaux-Techniques/ANAN>



Volumes d'échantillons traités sur le plateau en 2023

2022	Nombre d'échantillons ou runs
Bioanalyzer	65
Broyeur Mini G	139
Freezer Mill	7
ISeq100	3
Minion	4
Miseq	21
Nanodrop	6121
NextSeq	1
qPCR	227
Qubit	1336
Robot ideal32	31
Robot Zéphyr	233

Profil des utilisateurs du plateau ANAN en 2023



Les utilisateurs du plateau restent des utilisateurs de proximité, principalement les équipes de la SFR QuaSaV, dont l'IRHS et l'ANSES. Plusieurs projets proviennent également des laboratoires de recherche de l'Université d'Angers (LPG-BIAF et laboratoires de la SFR ICAT).

Enfin, il est à noter que 18% d'entreprises extérieures sont venues chercher l'expertise et le savoir-faire du plateau ANAN en 2023.



ANAN : ANalyses des Acides Nucléiques

Faits marquants 2023

Un des projets marquants :

Nous avons collaboré avec l'ANSES sur un projet d'identification de virus phytopathogènes par séquençage RNAseq sur machines Illumina iSeq100 et Miseq et pour lequel l'ANSES a développé une procédure complète allant de la préparation de librairie en RiboDéplétion jusqu'au pipeline d'analyse (eVIDances). Ces analyses se font maintenant par l'ANSES en routine et de façon autonome sur le plateau.

Équipements :

Le plateau ANAN a investi dans un appareil pour faciliter et améliorer la préparation des échantillons d'acides nucléiques : Un ThermoMixer avec possibilité de couvercle chauffant et 2 blocs (96 puits et tubes 1.5ml) est maintenant disponible sur le plateau.

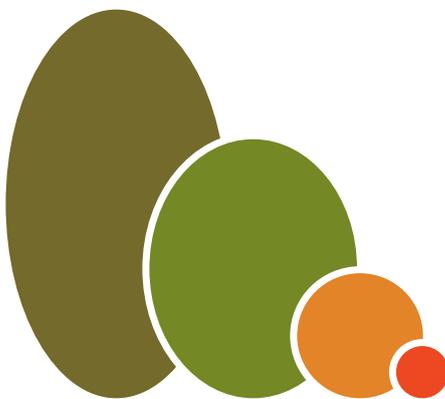
Animation :

En partenariat avec l'entreprise Illumina et l'équipe Emersys de l'IRHS, le plateau ANAN a pu accueillir cette année 4 étudiants de Master Biologie Végétale de l'Université d'Angers en stage (2 fois 1 semaine), avec pour projet l'identification de souches bactériennes du pommier par séquençage génomique.

Principales valorisations 2023

Le plateau ANAN a été co-auteurs de 2 publications et remercié dans 6 publications.

Le pipeline d'analyses eVIDances développé par l'ANSES et qui permet d'identifier des phytovirus à partir de données RNAseq produites sur les équipements du plateau ANAN, a été présenté sous forme de poster au congrès international de pathologie végétale (ICPP) à Lyon en août 2023.



ANAN : ANalyses des Acides Nucléiques

Perspectives 2024

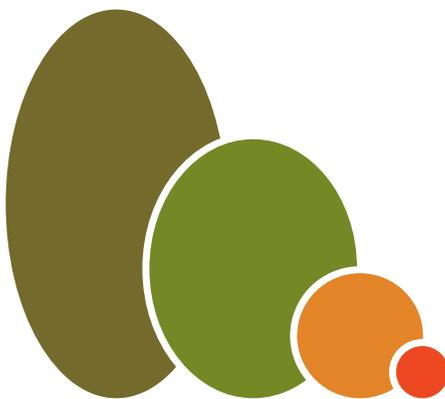
- Démarrage et déploiement du projet FranceAgriMer « Détection multi-cibles par séquençage de pathogènes transmis par les semences potagères » coordonné par le GEVES et dans lequel le plateau ANAN est partenaire,
- Achat via le CPER d'un robot de pipetage,
- Aménagement de l'ancienne salle de radioactivité aujourd'hui déclassée en salle d'expérimentation pour les appareils de séquençage.



Nuage de mots des retours des étudiants de Master1 lors du stage de génomique réalisé sur le PTM ANAN avec la collaboration de la société Illumina et de l'équipes Emersys de l'IRHS



Nouvel appareil arrivé en 2023 sur le plateau ANAN. Le ThermoMixerR de chez Eppendorf.



PLATEAU TECHNIQUE

COMIC : Collections de micro-organismes



Responsable

Perrine Portier, Ingénieure de recherche
(IRHS EmerSys, CIRM-CFBP) -
perrine.portier@inrae.fr



Introduction

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.

Fonctionnement

À la suite de problèmes récurrents, l'appareil Quantum TX a été remplacé par un nouvel appareil en novembre 2023 (pris en charge par le SAV).

Il est à noter la qualité et la réactivité de l'entreprise Logos et de leur service après-vente. Dès la détection des problèmes sur l'appareil, ceux-ci ont été pris au sérieux et pendant les multiples périodes où l'appareil a été en réparation, un appareil de prêt a été fourni, permettant la continuité du service. De plus, le service technique a été d'une grande aide pour l'adaptation des protocoles.

Principaux équipements

Afin de mener à bien ses activités, le plateau COMIC a accès à un congélateur -80°C, un lyophilisateur, des tanks pour la conservation des ressources en azote liquide dans un local adapté et sécurisé et une solution informatique de gestion de collections.

De plus le plateau COMIC a acquis en 2017 un appareil Omnilog permettant l'analyse haut débit du métabolisme microbien et en 2022 un appareil pour la numération des suspensions bactériennes, le Quantum TX.

Le plateau COMIC propose :

- un service de lyophilisation (souches ou d'échantillons)
- un service de conservation de doubles de collection à -80°C ou dans l'azote liquide
- un service d'accompagnement pour l'amélioration de la qualité de la conservation
- un service de phénotypage des microorganismes, basé sur la technologie Biolog, sous forme de prestation ou d'accompagnement à l'utilisation d'un appareil Omnilog.
- un accès au Quantum TX pour dénombrer les suspensions bactériennes.

Les projets des différents partenaires sont écrits au fil de l'eau

<https://www.sfrquasav-angers.org/Plateaux-Techniques/COMIC>





COMIC : Collections de micro-organismes

Volumes d'échantillons traités sur le plateau en 2023

- Conservation de doubles de collections pour les équipes EcoFun et FungiSem de l'IRHS
- Analyses Omnilog : 85 plaques pour 3 projets
- Analyses Quantom TX : passage de 405 échantillons (584 lames) (3 projets)
- Pas de prestation de lyophilisation en 2023.

Faits marquants 2023

Acquisition de matériel :

L'année 2023 marque la dernière année de fonctionnement du plateau COMIC.

Depuis janvier 2024 le plateau COMIC n'a plus d'activité.

Les activités du plateau COMIC sont réparties comme suit :

- Conservation de doubles de collections de microorganismes / lyophilisation / expertise pour la conservation

Activité assurée par le CIRM-CFBP

- Phénotypage du métabolisme microbien et dénombrement de suspensions bactériennes

Activité transférée au plateau de culturomique HIMIC

- Mise en collection publique de ressources microbiennes

Les ressources fongiques ont été transférées au CIRM-CF de Marseille

Au cours de l'année 2023, les membres du plateau COMIC ont rejoint l'équipe du plateau HIMIC et prennent aujourd'hui part au fonctionnement de ce nouveau plateau.

Perspectives 2024

Au cours de son existence, le plateau COMIC a joué un rôle modeste mais crucial pour les membres de la SFR Quasav. Bilan des principales activités de ce plateau depuis 2009.

- Enquête inventaire des ressources
Menée fin 2009 cette enquête a permis de faire l'inventaire de l'ensemble des ressources microbiennes gérées par les membres de la SFR QuaSaV. Cette enquête a de plus permis d'identifier un besoin important pour l'amélioration des pratiques de conservation des souches fongiques.



COMIC : Collections de micro-organismes

Projet COMIC-Fungi

2012-2014 – Financement : appel à projet SFR Quasav. Participants: COMIC / IRHS - FungiSem / IRHS - Ecofun / GEVES.

Objectifs :

- Échange de pratiques autour de la conservation des souches fongiques entre les membres de la SFR Quasav, et interview d'acteurs extérieurs
- Mise en place d'expérimentation pour tester de façon rigoureuse plusieurs techniques (conservation à -80°C, en azote liquide, sous forme de suspension de spores sur cellophanes).

Ce projet a permis pour chacune des équipes participantes de s'approprier une nouvelle technique pour fiabiliser la conservation des ressources. De plus, ces expérimentations ont permis de mieux définir les paramètres pour une conservation fiable. Les premiers doubles de collection conservés dans l'azote liquide ont démarré via ce projet.

PROXY

2017-2018. Financement SFR Quasav. Participants : COMIC / PHENOTIC.

Ce projet part du constat qu'il est très complexe d'obtenir des données de pouvoir pathogène d'une souche bactérienne. Comment vérifier si la souche est bien pathogène et quelle est sa gamme d'hôtes ?

Objectifs du projet

- Inoculer une core-collection d'*Arabidopsis thaliana* avec une série de bactéries pathogènes de plantes (pathogènes des Brassicaceae ou non)
- Phénotyper les plantes d'*Arabidopsis* afin de déterminer si les différentes bactéries ont un effet sur la core collection et si cet effet est différentiel en fonction des variétés de plantes ou en fonction des différentes souches bactériennes utilisées.

Ce projet a permis de développer plusieurs outils (arabox pour la culture des arabettes, des masques informatiques pour permettre les analyses d'image à moyen débit) et de déterminer les verrous techniques de telles expérimentations.

Biofun

2020-2022 Financement SFR Quasav. Participants : IRHS - Fungisem / COMIC.

La technologie Biolog permet le phénotypage du métabolisme microbien, d'une manière standardisée et à haut débit. Cette méthode mesure la respiration des microorganismes étudiés par la transformation d'un dérivé du tétrazolium (incolore) en formazan (violet) sous l'action du métabolisme. Chaque puits de la plaque contient un métabolite différent. La mesure du métabolisme se fait par la mesure de la densité de couleur violette. Cette méthode est annoncée adaptée pour les champignons. Or les premiers tests ont montré que la méthode Biolog ne peut pas être utilisée telle quelle pour les champignons. En effet l'apparition de formazan au cours de l'analyse semble parfois décorrélée du métabolisme et surtout la coloration violette quand elle apparaît est souvent hétérogène dans le puits (se fixant soit sur les hyphes, soit sur les spores) et donc la mesure de la densité de couleur violette n'est pas possible. De plus, selon les champignons, leurs réactions peuvent être différentes dans les différents puits de la plaque Biolog.

Objectifs :

- Mettre au point les protocoles (mode de préparation, concentration...) pour l'inoculation de plaques Biolog avec diverses souches fongiques
- Évaluer la possibilité de mesurer non pas la respiration mais la croissance des souches fongiques dans les différents puits des plaques Biolog au Néphélomètre.

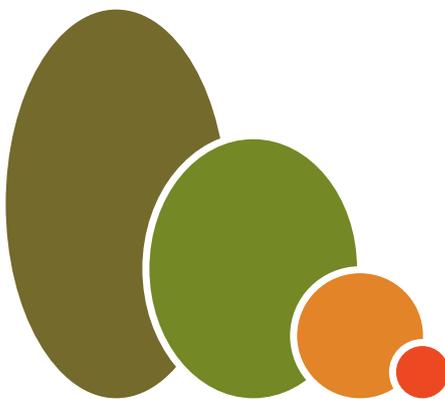
Ce projet a permis de mettre au point les protocoles pour l'inoculation des plaques Biolog avec des souches fongiques. Il a permis de montrer que la mesure de croissance des champignons au néphélomètre est possible. Les paramètres de mesure ont été définis.



COMIC : Collections de micro-organismes

Ce projet a permis de mettre au point les protocoles pour l'inoculation des plaques Biolog avec des souches fongiques. Il a permis de montrer que la mesure de croissance des champignons au néphélomètre est possible. Les paramètres de mesure ont été définis.

En conclusion, les activités du plateau COMIC ont permis de fiabiliser et mieux organiser les ressources microbiennes des membres de la SFR Quasav, ont permis de lever des verrous techniques et de définir des points d'amélioration ou encore ont permis d'améliorer des techniques d'analyse.



IMAC : Microscopie et Imagerie Cellulaire



Responsables

- **Responsable opérationnelle :**
Aurélia Rolland, Ingénieur d'Étude Université Angers - aurelia.rolland@univ-angers.fr
- **Responsable scientifique :**
David Macherel, Prof. Université Angers (UMR1345 IRHS) - david.macherel@univ-angers.fr
- **Responsable technique :**
Fabienne Simonneau, Technicienne INRAE (UMR1345 IRHS) - fabienne.simonneau@inrae.fr



Introduction

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 (fixation, inclusions, coupes au microtome, colorations et analyses d'images, prépa-

rations extemporanées avec coupes au cryostat ou au vibratome, immunocytochimie, hybridation *in situ*...) et d'observation en microscopie photonique (Transmission, contraste de phase et d'interférence différentielle, épifluorescence, microscopie confocale à balayage laser et spinning disk) et électronique (MEB de paillasse). Les préparations pour la microscopie électronique à transmission (MET) sont réalisées en collaboration avec le service commun de microscopie de l'université d'Angers (SCIAM).

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 :

Équipements de microtomie	Observations et analyses
	Microscopie photonique :
Cryostat Leica CM3050 S-mot/tr (2006)	Microscope Leica DM1000 (2006)
Microtome automatique Leica RM2165 (2001)	Microscope Olympus BH2 (1984)
Microtome automatique Leica RM2265 (2013)	Stéréomicroscope Olympus SZX16 (2007)
Vibratome MICROM HM 650V (2008)	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)
	Microscopie électronique :
	Microscope électronique à balayage Phenom MEB PRO G2 (2012)



IMAC : Microscopie et Imagerie Cellulaire

Plus d'information via le site :

<https://www.sfrquasav-angers.org/Plateaux-Techniques/IMAC>

Le site permet d'accéder à des informations sur les équipements et donne accès aux réservations des ressources (accès réservé pour les membres de la SFR) via l'intranet.

Volumes d'échantillons traités sur le plateau en 2023

L'activité du plateau peut être évaluée en considérant le nombre de demandes de projets en imagerie cellulaire, qui s'élève à **39** projets mis en œuvre durant l'année 2023 (27 en 2022).

Le volume horaire annuel d'occupation des appareils est un autre indicateur d'activité. Le volume horaire total sur l'année 2023 a nettement augmenté et se chiffre à **1 207** heures (808 heures en 2022).

La majeure partie (60%) des recettes du plateau IMAC provient de prestations réalisées par des équipes de recherche de l'IRHS. Le plateau a pu apporter son expertise en imagerie cellulaire à 11 des 14 équipes de recherche qui composent l'IRHS.

De plus, le plateau a été sollicité pour des projets menés par des équipes en dehors du périmètre de la SFR, représentant 31% des recettes. Parmi ces projets, le Projet Chlorocyto (Projet IMAC 2023-36), dirigé par Dimitri Tolleter de l'équipe Photosynthesis du laboratoire PCV au CEA de Grenoble, visait l'acquisition d'images 3D pour mesurer le volume des chloroplastes sur des plantules d'*Arabidopsis* à l'aide du microscope confocal. Le projet IMAC-2023-29, conduit par Claire Jamet, Responsable Nutrition des Plantes au Centre R&D de Végépolys Valley, a permis d'évaluer le potentiel stimulant de produits sur le système racinaire de la tomate grâce à une approche d'imagerie cellulaire (microscopie confocale).



IMAC : Microscopie et Imagerie Cellulaire

Faits marquants 2023

• Principaux projets :

L'évaluation de l'activité du plateau repose sur le nombre de projets d'imagerie cellulaire déposés par les chercheurs de la communauté scientifique végétale angevine et ses partenaires. La répartition de ces projets au cours des huit dernières années, selon les axes de recherche de la SFR, est présentée ci-dessous.

Axes de la SFR	2016	2017	2018	2019	2020 COVID	2021	2022	2023	
Axe 1 : Gestion durable de la santé des plantes	8	8	19	15	10	13	10	14	
Axe 2 : Qualité physiologique et sanitaire des semences	8	9	8	10	10	8	5	10	
Axe 3 : Qualités des productions végétales spécialisées	7	17	14	8	5	12	7	10	
Autres : Axes hors SFR, ou Axe 1-2, Axe 1-3	0	0	0	4	2	4	5	5	
									Moy
Total	23	34	41	37	27	37	27	39	33
Moyenne annuelle de projets/axes	6	9	10	9	7	9	7	8	
Nb d'étudiants en thèse	7	12	14	15	9	7	10	9	

Évolution du nombre et de la répartition des projets, par axe depuis, 8 ans sur le PT IMAC.

Au cours de l'année 2023, **39 projets** ont été initiés ou poursuivis sur le plateau IMAC, dont **9** sont en lien avec des sujets de thèse.



IMAC : Microscopie et Imagerie Cellulaire

Liste des projets conduits sur IMAC en 2023

• Sur le plateau IMAC, nous offrons un cadre dynamique pour des stages pratiques, permettant aux étudiants d'explorer les technologies avancées d'imagerie cellulaire végétale. Les stages suivants ont été menés sur nos équipements :

Valentin Goupille (Master 1 - Biologie Végétale)

Projet ANR STRESS-PEP, IMAC 2023-05

Responsables : P. Grappin, T. Guillemette,

IRHS-FungiSem

Mémoire et présentation orale : Phénotypage de la résistance d'*Arabidopsis thaliana* au champignon nécrotrophe *Alternaria brassicicola* chez des mutants de peptides sécrétés identifiés par transcriptomique. Observation des symptômes de nécroses sur les plantules infectées au microscope du plateau IMAC.

Cassandra Rosier-Pennevert (L3, parcours CMI BSV)

Projet Sensitive, IMAC 2023-05

Responsables : P. Grappin, N. Guschinskaya,

IRHS-FungiSem

Présentation sous forme de poster en anglais : Quantification de l'infection de semences d'*Arabidopsis* par *Alternaria brassicicola*. Il est envisagé d'utiliser l'imagerie de fluorescent (stéromicroscope AxioZoom V16, Zeiss) pour détecter et quantifier les signaux associés aux symptômes de nécroses (qualitativement caractérisés par le passé) et au développement d'*Alternaria* (souches exprimant la mcherry ou la GFP) sur les semences et plantules d'*Arabidopsis*. Ce développement a été réalisé avec l'aide d'un nouveau logiciel capable d'acquérir et d'intégrer l'intensité de spectre de fluorescence sur les images (Analyse d'image, Intellisis). Poster

Amandine Gautier

Stage d'immersion professionnelle dans le cadre d'une reconversion.

Accueil sur le plateau IMAC pendant deux demi-journées, comprenant la découverte du MEB, la réalisation de coupes, la coloration au bleu de toluidine et l'acquisition au Stéréomicroscope AXIO Zoom.



IMAC : Microscopie et Imagerie Cellulaire

• **Projet interne SFR : AAP- SFR - Méthodologie : PlantIMet, sept 2022 à avril 2024**

Nom du projet : Localisation des métabolites secondaires dans différents organes végétaux par imagerie DESI-HRMS

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

Responsables du projet : **Séverine Boisard** (PHYTO) et **Claire Campion** (FungiSem)

Nous avons accueilli **Christelle N'Soukpoe**, étudiante de Master 2 Chimie, Agro-ressources, Biomolécules, Innovations, de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université de Limoges, en stage du 23/01/2022 au 21/07/2023.

Pendant son stage, Christelle a testé différentes méthodes de préparation d'échantillons de siliques et de feuilles de colza, qu'elles soient inoculées ou non par *Alternaria brassicicola*. Différentes techniques de préparation d'échantillons ont été testées et optimisées

sur le plateau IMAC, notamment des essais d'enrobage de l'échantillon dans de la colle CMC avant cryodissection, des essais sur pastilles adhésives à revêtement carbone, ainsi que des imprégnations sur couche de silice (projet IMAC 2023-26).

Cette méthode optimisée a ensuite ouvert la voie à l'analyse détaillée des échantillons par imagerie HRMS (High Resolution Mass Spectrometry) sur le plateau PHYTO. L'objectif fondamental de cette approche est d'identifier et de localiser des composés essentiels pour une meilleure compréhension du dialogue moléculaire entre la plante et le champignon lors de la transmission d'*Alternaria brassicicola* aux graines. Les résultats de cette étude offriront des perspectives cruciales pour l'élucidation des mécanismes impliqués dans cette interaction spécifique.

• **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**

Ateliers pratiques : 51 étudiants, L3 SPV,

Équipement IMAC : Microscopie confocale

Responsable : **David Macherel**, IRHS-SMS

date : 20/01/2023 - 24/03/2023

51 étudiants du module UE4 Biologie Cellulaire et Biotechnologie de la Licence 3 Sciences des Productions Végétales, ont participé par trinôme à un atelier pratique sur l'imagerie de fluorescence (microscope confocal) de différents tissus et organites cellulaires (chloroplastes, mitochondries, cytosquelette). L'atelier s'est déroulé sur une session d'1h20 (pour 17 trinômes), offrant ainsi aux étudiants une immersion approfondie dans une technique d'imagerie avancée appliquée à l'étude des structures cellulaires végétales.

Ateliers pratiques : 12 étudiants, Licence Pro parcours Végétal (IUT-Angers)

Équipement IMAC : Stéréomicroscope Axio Zoom V16, MEB pro G2 , TP conduits par **A. Rolland et F. Simonneau**.

Responsable : **A. Chevrollier**, Enseignant chercheur en Biochimie - Biologie Moléculaire - Bioinformatique Resp. LP Biologie Expérimentale de l'Animal et du Végétal (BAEVA), Dép Ens Génie Biologique IUT)
date : 15 et 16/05/2023 (2 sessions de 2h).

Introduction aux notions de fluorescence et à l'imagerie électronique.

Dans cette session, les étudiants ont exploré les fondamentaux de la fluorescence et de l'imagerie électronique. Nous avons mis en pratique ces concepts en travaillant avec des plantules d'*Arabidopsis thaliana* exprimant des fluorophores dans divers compartiments cellulaires tels que le réticulum, les chloroplastes et les mitochondries. Pour cette expérience, le microscope de fluorescence AXIOZoom V16 a été utilisé.



IMAC : Microscopie et Imagerie Cellulaire

La deuxième partie de la séance, était dédiée à l'observation des stomates de la feuille de tomates, des cellules de la chair de pomme, ainsi que des coupes de pétiole de Pétunia, en utilisant le microscope électronique à balayage (MEB) de table. À travers cette approche pratique, les étudiants ont exploré la structure et la composition des cellules végétales, offrant ainsi une expérience concrète et instructive dans le domaine de la biologie cellulaire.

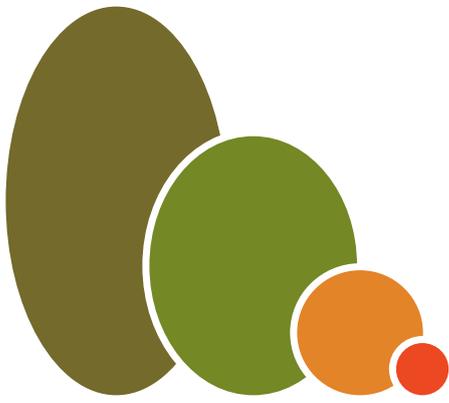
Nouvelle acquisition 2023

La disponibilité d'un microscope confocal performant sur site revêt une importance cruciale, permettant une analyse approfondie et souvent *in vivo* d'une variété d'échantillons biologiques. Actuellement, le microscope confocal en place (Nikon A1, acquis en 2010) montre des signes de vieillissement, justifiant la nécessité de son remplacement par un système plus avancé en termes de sensibilité, de vitesse d'acquisition et de pilotage.

Dans le cadre du projet CPER 2021-2027 IMAX-Veg, piloté par D. Rousseau et intitulé "Imagerie d'excellence pour le végétal", l'acquisition d'un nouveau microscope confocal a été planifiée. L'année 2023 a été consacrée à plusieurs démonstrations visant à connaître les spécificités des différentes marques leaders et au processus de réalisation du marché, y compris l'appel d'offre et l'analyse des offres. L'appel d'offre a été déposé en octobre 2023, avec une livraison prévue au **printemps 2024**. Le marché a été remporté par la société **Nikon avec le microscope confocal AX**.

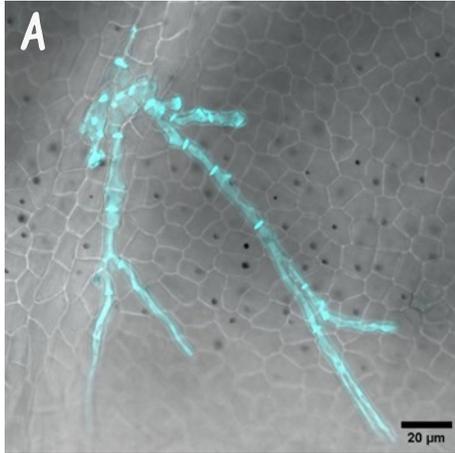
Il s'agit d'un microscope inversé Ti2E entièrement motorisé avec un système confocal AX, incluant en particulier un détecteur dernière génération super-résolution NSPARC.



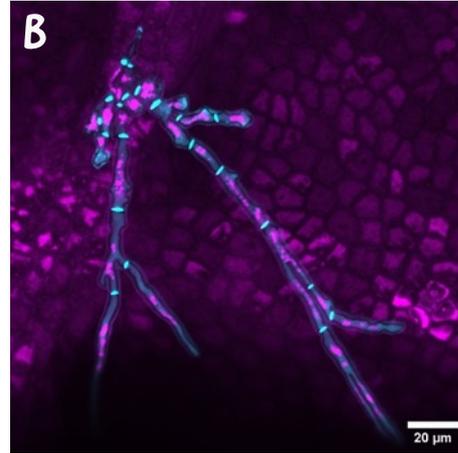


IMAC : Microscopie et Imagerie Cellulaire

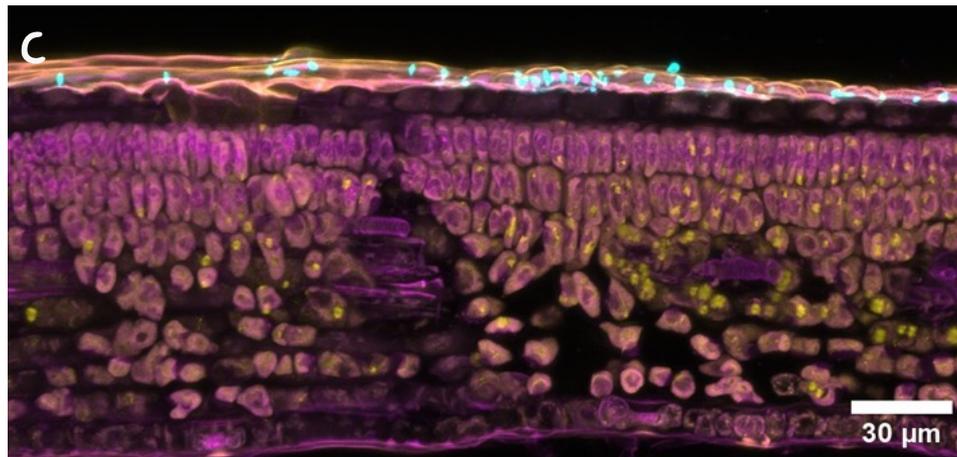
A. Top view of the orthogonal projection of 10 z-stacks combining WGAlex488 (cyan) and bright field channels (grey).



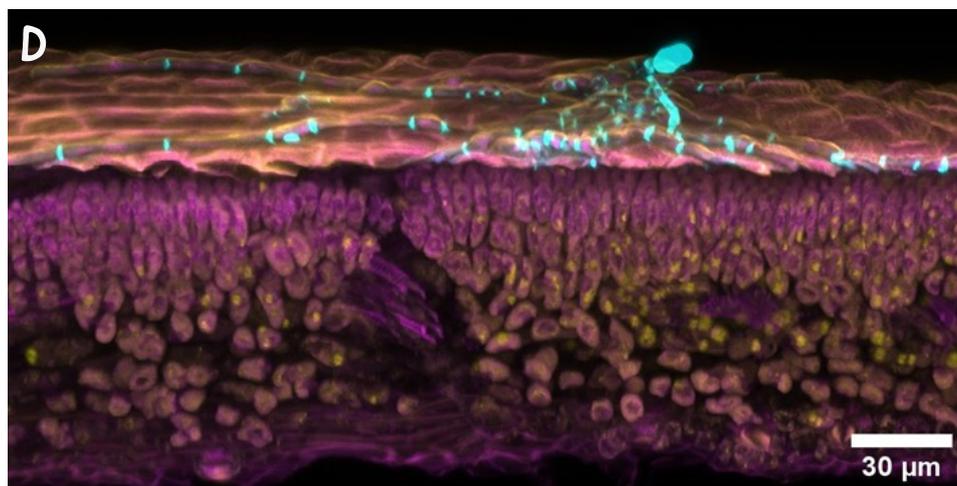
B. Top view of the orthogonal projection of 10 z-stacks combining WGAlex488 (cyan) and propidium iodide (magenta) channels.



C. Transversal cut of infected leaf using the HM650 vibratome, image of the orthogonal projection of 36 z-stacks combining WGAlex488,



D. Same image as C with a 3D rendering of a 20° forward tilt, propidium iodide (magenta) and chloroplast (yellow) channels.



Subcuticular development of *Venturia inaequalis* on apple leaves.
 Visualization of *V. inaequalis* marked with WGAlex488 (cyan) 72h after inoculation on Gala apple leaves using Nikon A1 confocal system.
 Tristan Rollo, Nicolas Guyard, Maël Baudin (IRHS-Equipe ECOFUN), projet IMAC 2023-35.
 NIKON, microscope confocal A1, plateau IMAC



IMAC : Microscopie et Imagerie Cellulaire

Visites, rencontres

03/01/2023 : Visite de Madame La Rectrice de la région académique Pays-de-la-Loire, Rectrice de l'académie de Nantes, Chancelière des universités. La visite comprenait la découverte de la plateforme Phenotic, des serres expérimentales, ainsi que des plateaux ANAN (Analyse des acides nucléiques) et IMAC (Imagerie cellulaire). Une présentation du plateau et du microscope confocal a été prévue

09/02/2023 : Visite du plateau IMAC par **Pilar Cubas** à Angers, prévue du 8 au 10 février. Invitation de **Soulaïman Sakr**

Principales valorisations 2023

En 2023, les membres du plateau IMAC ont contribué en tant que co-auteurs à deux publications scientifiques et ont été expressément remerciés dans trois autres publications. Par ailleurs, leur expertise a été citée dans des posters, des mémoires de Master et des thèses de doctorat de l'Université d'Angers.

Publication 2023 en co-auteurs

Bouargalne et al., 2023
Bouargalne, Y., Guilbaud, F., **Macherel, D.**, Delalande, O., Deleu, C., Le Cahérec, F., **2023**.

Brassica Napus Drought-Induced 22-Kilodalton Protein (BnD22) Acts Simultaneously as a Cysteine Protease Inhibitor and Chlorophyll-Binding Protein.
Plant Cell Physiol. 64, 536–548.

<https://doi.org/10.1093/pcp/pcad016> ✨

Ortega-Cuadros et al., 2023
Ortega-Cuadros, M., Arias, T., Vasco-Palacios, A.M., Rosier-Pennevert, C., **Rolland, A.**, Grappin, P., **2023**
First report on the seed immune defense against fungal necrotrophs attack.

Seeds in press.

<https://doi.org/10.20944/preprints202401.0178.v1> ✨

Publications 2023, remerciements

Koutouan et al., 2023

Koutouan, C.E., Le Clerc, V., Suel, A., Hamama, L., Claudel, P., Halter, D., Baltenweck, R., Hugueneu, P., Chich, J.-F., Moussa, S.A., Champlain, C., Huet, S., Voisine, L., Pelletier, S., Balzergue, S., Chevalier, W., Geoffriau, E., Briard, M., **2023**

Co-localization of resistance and metabolic quantitative trait loci on carrot genome reveals fungitoxic terpenes and related candidate genes associated with the resistance to *Alternaria dauci*.

Metabolites 13, 71.

<https://doi.org/10.3390/metabo13010071> ✨

Ley-Ngardigal et al., 2023

Ley-Ngardigal, B., Roman, H., Brouard, N., Huché-Thélier, L., Guérin, V., Leduc, N., **2023**

Recurrent symmetrical bendings cause dwarfing in *Hydrangea* through spatial molecular regulation of xylem cell walls.

Front. Plant Sci. 14, 1–16.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1268272> ✨

Porcher et al., 2023

Porcher, A., Guérin, V., Macherel, D., Lebrec, A., Satour, P., Lothier, J., Vian, A., **2023**.

High expression of ALTERNATIVE OXIDASE 2 in latent axillary buds suggests its key role in quiescence maintenance in rosebush.

Plant Cell Physiol. 64, 165–175.

<https://doi.org/10.1093/pcp/pcac153> ✨



IMAC : Microscopie et Imagerie Cellulaire

Animations 2023

En complément des équipements de phénotypage à l'échelle macroscopique prévus pour 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.

Poursuite des séries de démonstrations : microscope confocal

Afin de découvrir les nouveautés des systèmes d'imagerie dans le cadre de l'achat du microscope confocal, des animations sous forme de démonstration ou d'atelier pratiques sur les modèles étudiés au sein de la SFR ont été organisées par des sociétés leader du domaine.

En 2022 (pour rappel) :

Celldiscoverer 7 couplé au LSM900 Airyscan (confocal), société ZEISS, du 14 au 16 novembre 2022 sur le plateau IMAC : Microscope automatisé entièrement intégré, couplé à l'excellente qualité d'image confocale, dédié à l'imagerie de fluorescence des cellules vivantes, en particulier à l'imagerie à haut débit.

Microscope confocal AX Nikon, société NIKON : du 05 au 09 décembre 2022 sur le plateau IMAC : confocal à balayage laser de 10e génération qui combine un large champ d'observation, une grande vitesse d'acquisition et une forte résolution.

En 2023 :

Microscope Confocal **LSM 880 Airyscan**, société ZEISS, le 22 février 2023. Accueil sur la Plateforme de microscopie MRic de Rennes.

Microscope **STELLARIS / STED**, société LEICA, du 08 au 09 mars 2023. Accueil sur la plateforme PRIMACEN, Université de Rouen.

Pour chacune des sociétés, une présentation du système et des modalités confocales a été proposée. Ensuite, plusieurs demi-journées d'ateliers (sur réservation) pilotés par les ingénieurs d'application imagerie ont permis d'appréhender et de découvrir les possibilités et les limites des systèmes. Nous avons enregistré une forte participation aux démonstrations des sociétés ZEISS et NIKON, mobilisant 19 personnes issues de 7 équipes de l'IRHS, ainsi que l'équipe EGLIGEPP (Sylvia Anton) et le plateau technique CHUSCIAM, en collaboration avec le labo Mitolab pour l'UFR Santé.

Démonstrations : Scanner de lame et MEB

Scanner de lames VS200, société Evident-Olympus, du 06 au 07 décembre 2023.

Microscope électronique à balayage de table Phenom ProX G6, société France Scientifique du 11 au 12 décembre 2023.



IMAC : Microscopie et Imagerie Cellulaire

Perspectives 2024

En 2024, la priorité sera accordée à la poursuite de la rédaction des dossiers d'appel d'offres dans le cadre du projet CPER 2021-2027 IMAX-Veg.

Deux autres acquisitions d'équipements sont programmées :

L'acquisition d'un **nouveau microscope à balayage**. Le microscope à balayage de table (Mini-MEB Phenom) acquis en 2012 est saturé en raison de l'analyse de grandes séries d'échantillons végétaux. Actuellement équipé 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, doté d'un grossissement > 150 000 x, sera plus performant et surtout adapté à la nouvelle génération d'observations nécessaires dans le cadre des projets innovants auxquels les chercheurs du site participent. En plus de 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 augmentant la résolution et permettant l'acquisition d'images topographiques, ainsi que d'un système de métallisation des échantillons.

Acquisition d'un scanner de lames. Un tel système permet une acquisition automatisée rapide (env. 60 lames) avec de multiples canaux, assurant une grande reproductibilité des conditions d'acquisition (fluorescence et fond clair). Il permettra d'optimiser l'analyse d'image et d'améliorer ainsi la quantité et la qualité des résultats.

Des animations sous forme de démonstrations ou d'atelier pratique par les sociétés leader du domaine ont déjà été proposées fin 2023 et d'autres suivront au fur et à mesure de l'instruction des différentes acquisitions souhaitées.

Les démonstrations suivantes sont déjà programmées sur le plateau IMAC :

- Scanner de lame NanoZoomer S60, société Hamamatsu, les 16 et 17 janvier 2024.
- Scanner de lame Axioscan 7, société ZEISS, les 25 et 26 janvier 2024.
- MEB, Société Synergie4, planifiée le 12 mars 2024, sur le plateau IMAC.

Mise en œuvre du projet RETHERMI AAP Projet interne 2023

Intitulé du projet : Révolution thermique mitochondriale.

Partenaire ICAT : Équipe Carme, Unité Mitovasc,
Partenaire QuaSav : D. Macherel, IRHS-SMS et plateau IMAC.



PHYTO : Analyses Phytochimiques et Métabolites Secondaires

Responsables

- Séverine Boisard, Responsable
- Dimitri Bréard, Ingénieur d'étude (1/2 temps) Université d'Angers, SONAS



Comité de pilotage/ comité des utilisateurs

- Séverine Boisard
- Dimitri Bréard
- David Guilet
- Pascal Poupard
- Fabrice Foucher
- Valérie Raymond

Introduction

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

- Développement de méthodes chromatographiques analytiques couplées (UV-DAD, spectrométrie de masse (MS)...),
- Analyses métabolomiques,
- 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 et/ou quantitatives de métabolites secondaires d'origine végétale.

Fonctionnement

Le plateau PHYTO est désormais sous gestion financière de la SFR Quasav depuis le 1er janvier 2023.

Principaux équipements

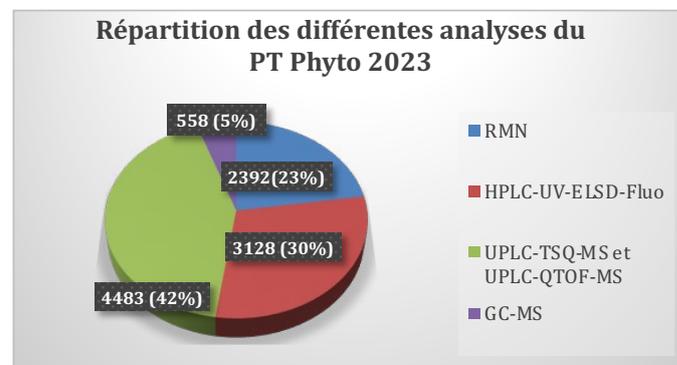
Équipements dédiés à la chromatographie

- *Chromatographie analytique* : UPLC-QTOF-HRMS, UPLC-TSQ-MS², GC-MS, HPLC-DAD-ELSD, HPLC-UV-Fluorescence

Équipement dédié à l'identification structurale

- Spectromètre de RMN 400 MHz

Volumes d'échantillons traités sur le plateau en 2023



Rappel années antérieures

RMN : 2022 (2950), 2021 (3297)

HPLC-UV-ELSD-Fluo : 2022 (2574), 2021 (2608)

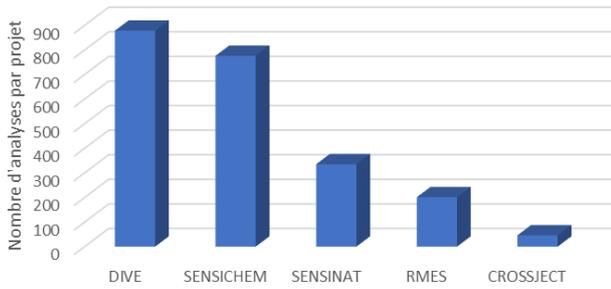
UPLC-TSQ-MS et QTOF-MS : 2022 (1317), 2021 (1220)

GC-MS : 2022 (42), 2021 (40)

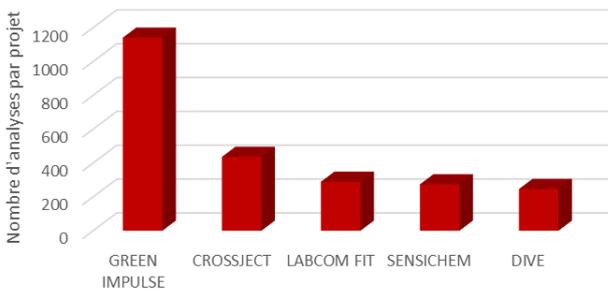


PHYTO : Analyses Phytochimiques
et Métabolites Secondaires

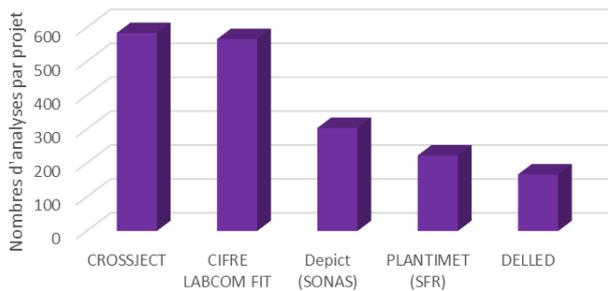
RMN



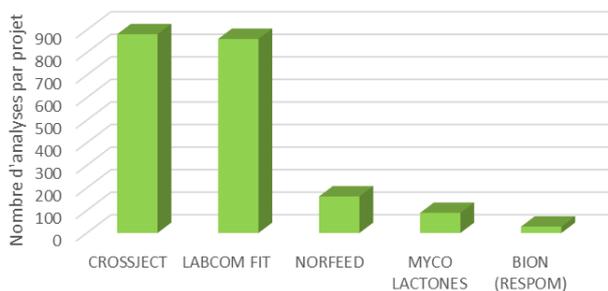
HPLC-UV-DEDL-Fluo



UPLC-Qtof



UPLC-UV-TSQ



Exemples de volumes traités sur le plateau en analyse RMN, HPLC tous détecteurs confondus, UPLC-Qtof et UPLC-UV-TSQ (5 principaux projets utilisateurs)



PHYTO : Analyses Phytochimiques et Métabolites Secondaires

Faits marquants 2023

Principaux projets utilisateurs du PT PHYTO sur l'année 2023

Thème	Équipes	Principaux équipements utilisés
Pommes rouges	IRHS (Valema)/SONAS	UPLC-UV-TSQ, UPLC-Qtof
Pyoverdines	IRHS (Emersys)	UPLC-Qtof, HPLC-DAD-DEDL, RMN
Dibenzofuranes	IRHS (Respom)	GC-MS
Cannabis thérapeutique	Delled/IRHS (Stragene)/SONAS	UPLC-Qtof, HPLC-DAD-DEDL
PlantIMet	IMAC/PHYTO/FungiSem/SONAS	UPLC-Qtof, DESI-HRMS
DEPICT (LDI MS/RMN ¹³ C)	SONAS	UPLC-Qtof, RMN
DIVE (PRCI ANR)	SONAS	HPLC-UV-Fluo, DAD-DEDL, RMN
Labcom Feed In'Tech	NorFeed/SONAS	UPLC-UV-TSQ, UPLC-Qtof, HPLC-DAD-DEDL
Adrénaline	Crossject/SONAS	UPLC-UV-TSQ, UPLC-Qtof, HPLC-DAD-DEDL
SensiNAT/Sensichem	Green Impulse/SONAS	HPLC-UV-Fluo, DAD-DEDL, RMN

Nouvel équipement (installation octobre 2023) : Acquisition d'un spectromètre de masse triple quadripôle nouvelle génération Thermo Scientific *TSQ Quantis plus* (180 k€), remplacement modèle 2010, financé en totalité par l'entreprise Nor-Feed avec mise à disposition de l'équipement sur le PT Phyto 6 jours /7. Mise à jour du logiciel Chromeleon UPLC-DAD-TSQ-MS.

Complément DESI-HRMS : micropompe 27 k€ (SONAS/SFR) et sprayer 7,1 k€ (UA/SFR)



PHYTO : Analyses Phytochimiques et Métabolites Secondaires

Principales valorisations 2023

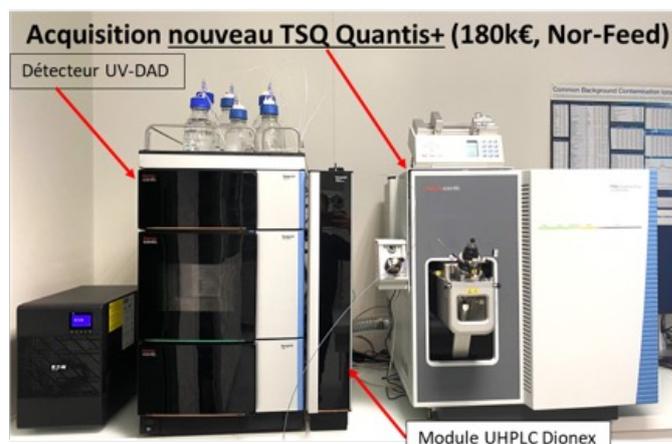
Articles issus de la collaboration PHYTO/SONAS

M Meunier, D Bréard, S Boisard, D Guilet, P Richomme, S Derbré and A Schinkovitz. Matrix-free laser desorption ionization assisted by ^{13}C NMR dereplication: A complementary approach to LC-MS² based chemometrics. *Talanta*, **2023**, 253, 123998.

F Azonwade, B B Mabanza-Banza, A-M Le Ray, D Bréard, P Blanchard, E Goubalan, B-M Lamine, H Banga-Mboko, P Richomme, S Derbré and S Boisard. Chemo-diversity of propolis samples collected in various areas of Benin and Congo: Chromatographic profilings and chemical characterization guided by ^{13}C NMR dereplication, *Phytochemical analysis*, **2023**, 34(4), 461-475.

Perspectives 2024

Au niveau scientifique (entre autres) :
— Suite du projet avec Valema : Comparaison des pommes à chair blanche/rouge : identification et quantification de composés minoritaires et discriminants,
— Poursuite du développement de la méthode d'imagerie DESI-HRMS à la suite de l'installation début 2024 d'un nouveau sprayer et d'une ligne de chauffage ainsi que d'une micropompe délivrant des débits stables très faibles.

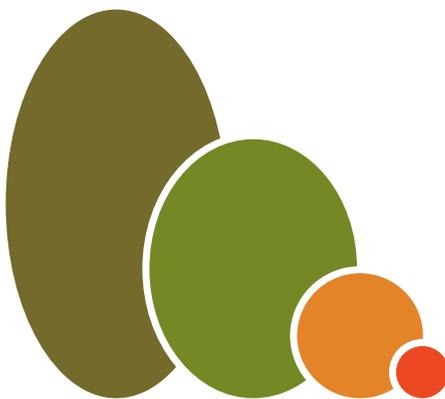


Nouveau spectromètre de masse UHPLC-TSQ-MS Thermo Quantis

Équipements dédiés à la quantification de métabolites spécialisés même à l'état de trace

Dosage par UV-DAD ou par MS/MS

Analyses métabolomiques ciblées



PLATEFORME

PHENOTIC : phénotypage semences et plantes

PHENOTIC
SEMENCES & PLANTES

Responsables

Directeur :

- **Tristan Boureau**, Université d'Angers, IRHS
tristan.boureau@univ-angers.fr 

Directeurs adjoints :

- **Étienne Belin**, Université d'Angers, IRHS
- **Didier Demilly**, GEVES
- **Rémi Gardet**, Agrocampus Ouest, IRHS

Introduction

La plateforme PHENOTIC Semences et Plantes 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.

PHENOTIC Semences et Plantes 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.

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 :

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

La plateforme PHENOTIC Semences et Plantes, se déploie sur deux sites :

- Angers PLANT Phenotyping Facility au sein de l'UMR IRHS, labellisé Infrastructure Scientifique Collective de l'INRAE. Ce site comprend 7000m² de serres et chambres de culture, et propose plusieurs niveaux de sécurité (S1, S2 et S3) permettant l'expérimentation sur plantes impliquant des ORQ et OGM.
- Angers SEED Phenotyping Facility, hébergée et gérée par le GEVES. Ce site comprend 300 m² de laboratoires équipés dédiés au phénotypage des semences.



PHENOTIC : phénotypage semences et plantes

Équipements

<https://phenotic.hub.inrae.fr/equipements-offres> ✨

Volumes d'échantillons traités sur le plateau en 2023

En 2023, PHENOTIC a participé à 37 projets et a effectué 24 prestations pour des partenaires académiques internationaux et nationaux ou des partenaires privés.

- Angers PLANT Phenotyping Facility : 25 projets et 22 prestations.
- Angers SEED Phenotyping Facility : 12 projets et 2 prestations pour des partenaires académiques.

Faits marquants 2023

I - Projet PHENOSTIM (Porteur VIA VEGETALE. Collab. VEGEPOLYS INNOVATION, PHENOTIC) : Mise au point d'approches de phénotypage haut débit pour le criblage et l'identification de biostimulants innovants visant à limiter l'impact des stress hydriques et chimiques chez le blé et la tomate. Financement Région PDL (Pour Phenotic 163k€)

Pour la plateforme, les objectifs du projet sont les suivants :

- Développer une méthodologie standardisée et HD d'évaluation quantitative sur les cultures de blé et tomate en ciblant 3 effets généraux des biostimulants mesurables par imagerie,
- Cribler et sélectionner des biostimulants grâce au phénotypage HD

En première année du projet, deux sous-objectifs ont été traités :

1- Le stage de **Josephine Kocuiba** a eu pour objet de définir les procédures de contrôle du régime hydrique -la mesure de la teneur en eau du sol et des procédures de quantification de la surface foliaire par analyse d'image afin de suivre la croissance des parties aériennes des plantes.

3 régimes hydriques ont pu être définis : Confort hydrique (WW), Stress hydrique modéré (MWD) et

Stress hydrique sévère (SWD). L'application de ces régimes hydriques montre un impact significatif sur le potentiel hydrique foliaire et la transpiration, démontrant ainsi la pertinence de ces régimes pour l'étude de la réponse phénotypique au déficit hydrique. La croissance des parties aériennes de la tomate a été comparée en réponse à ces 3 régimes hydriques (Figure 1)

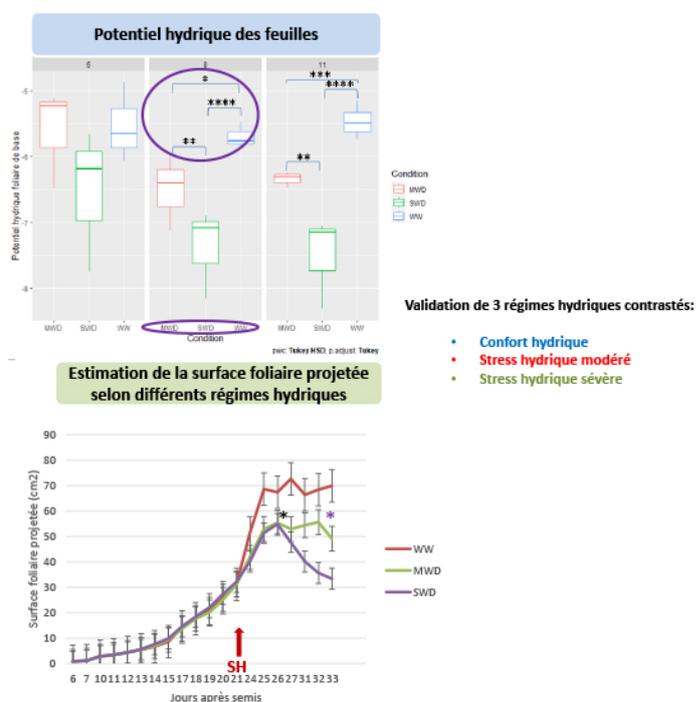


Figure 1 : Régimes hydriques définis dans PHENOSTIM et impact sur la surface foliaire.

2- Le stage d'**Ibrahima Dia** a eu pour objet de définir les procédures d'imagerie latérale des plantes afin de pouvoir quantifier la hauteur par analyse d'image et suivre la croissance verticale des plantes à haut débit; Cet objectif a été réalisé en détournant les modes d'imageries possibles à l'heure actuelle sur le robot PHENOBEAN 2. Ce travail sera consolidé dans le programme de jouvence des installations en 2024.

L'ensemble des mises au point techniques a pu être effectué afin de mettre en route le criblage HD de solutions biostimulantes à partir de janvier 2024.



PHENOTIC : phénotypage semences et plantes

2 - Projet ARASTENOX (Financement SFR QuaSaV, 3k€) :

Afin de démontrer le potentiel de biocontrôle *in planta* de *Xanthomonas campestris* (Xcc) par *Stenotrophomonas rhizophila*, un test de pouvoir pathogène de Xcc sur *Arabidopsis thaliana* à haut débit a été mis au point dans les enceintes robotisées PHENOEBAN.

Le projet se décomposait en 4 sous-objectifs :

Standardisation de l'inoculation de suspensions bactériennes sur rosettes d'*A. thaliana* à l'aide de la cabine de pulvérisation automatisée de la plateforme

- Traditionnellement, Xcc est inoculé sur *A. thaliana* par piqûre dans les vaisseaux conducteurs. Une telle méthode d'inoculation demande énormément de main d'œuvre et de temps, et n'est donc pas compatible avec le haut débit.
- Nous avons décidé de réaliser une inoculation par spray à l'aide de la cabine de pulvérisation. Nous avons vérifié que l'utilisation de cette cabine permet la pulvérisation homogène des suspensions bactériennes en volume contrôlé et reproductible entre 2 inoculations sur des lots de plantes indépendants. Cette cabine est donc particulièrement adaptée pour l'inoculation d'une souche bactérienne sur un grand nombre de lots de plantes indépendants.
- À la suite de l'inoculation, une procédure de désinfection de la cabine a été mise en place. Cette désinfection reste cependant lourde à gérer. L'utilisation de pistolets à peinture sera à privilégier pour des setups expérimentaux impliquant un grand nombre de souches différentes à inoculer.

Optimisation des conditions d'incubation pour l'obtention de symptômes sur plantes à la suite de la pulvérisation d'inoculum bactérien

- 11 expérimentations indépendantes ont été effectuées. Les écotypes SF2, Ler et Col0

ont été inoculés avec diverses souches de *Xanthomonas campestris* (Xcc8004-souche modèle; Xcc8004ΔXopAC-souche délétée d'un effecteur bactérien induisant la défense sur *A. thaliana* Col0, Xcc568- souche hautement agressive, Xcc8004-Lux- portant un système rapporteur d'émission de bioluminescence).

- Afin de favoriser le mode d'entrée naturel des bactéries dans les tissus *via* les hydathodes, de nombreux régimes climatiques ont été testés lors de l'incubation.
- Cependant, l'apparition de symptômes n'a pu être observée que 3 semaines ou 1 mois après inoculation. Les plantes avaient énormément grandi, rendant l'imagerie très difficile.

Acquisition et Segmentation des images pour la quantification des symptômes

- L'apparition tardive des symptômes a pour conséquence que les feuilles inoculées sont masquées par les feuilles nouvellement apparues. La taille importante des plantes génère la superposition des feuilles de plantes adjacentes. L'acquisition d'image a donc été impossible à réaliser en routine à haut débit.
- Afin de standardiser la prise d'image et d'améliorer le contraste entre la plante imagée et le reste de l'image en vue de la segmentation, des prototypes de mousse bleue ont été mis en place systématiquement.
- La segmentation des symptômes (quand possible) a été réalisée à l'aide d'ILASTIK et les surfaces symptomatiques ont été déterminées à l'aide de macros développées sur FIJI. (Figure 2)



1 400 000 pixels corresponding to the whole plant

62800 pixels corresponding to the symptoms
4,5% of Symptomatic leaf area

Figure 2 : Segmentation et quantification des symptômes de Xcc sur *A. thaliana*.



PHENOTIC : phénotypage semences et plantes

Co-inoculation *Xcc* et *Stenotrophomonas* pour mettre en évidence le potentiel de biocontrôle de *Stenotrophomona*

➤ Cette partie n'a pas pu être réalisée, n'ayant pas pu mettre au point un test de pouvoir pathogène de *Xcc* satisfaisant après inoculation par pulvérisation des inocula bactériens.

3 - Projet GER S2 (Financement SFR QuaSaV, 1k€) :

Le projet GER S2 visait à la mise en service du banc de germination acheté *via* le CPER PHENOTIC 2. Dans le cadre de GERS2, le banc a pu être raccordé au réseau d'eau glycolée des serres, et l'ensemble du petit matériel nécessaire à la mise en place d'expérimentations a pu être acheté. La régulation climatique a été testée et est désormais fonctionnelle. Le travail de métrologie n'a pas pu être réalisé faute de temps (soutis techniques récurrents lors du raccordement au réseau d'eau glycolée). Les verrous techniques étant désormais levés, ce travail va pouvoir être réalisé. **Joseph Li-Vu** et **Jérôme Verdier** (Équipe SEED) seront référents de cet équipement pour PHENOTIC. Un stage de M1 va être effectué en 2024 sur ce banc de germination.

4 - Projet SOBRE (INRAE) :

Finalité : Réaliser des économies d'énergie dans le pilotage climatique des installations

Ce projet a permis :

- La formation pour l'optimisation des paramétrages de serre
- Un travail avec des étudiants (sur des indicateurs de pilotage)

5 - Projet de RELAMPAGE LED (INRAE) :

En 2023, 4 salles de culture ont été équipées d'un éclairage LED, dont une salle de 30 m².

6 - Acquisition de Nouveaux équipements :

Acquisition d'un système NIRS. Référents de cet équipement pour PHENOTIC : **ML Fanciullino** et **CE Durel**.

7- Inauguration des nouvelles serres (Serres SF) de phénotypage en conditions de production :

<https://www.inrae.fr/actualites/inauguration-phenotic-2-pole-dingenierie-vegetale-unique-europe-phenotypage-haut-debit-applique-lhorticulture-aux-semences>





PHENOTIC : phénotypage semences et plantes

Principales valorisations 2023

3 publications liées à l'utilisation de la plateforme ou issues de la recherche et développement

1. Wagner M.-H., Powell A.A., Dupont A., Shinohara T. and Ducournau S. 2023. Radicle emergence test for cabbage can be assessed using multispectral imaging. *Seed Science and Technology*, 51, 3, 291-296. <https://doi.org/10.15258/sst.2023.51.3.01>. 

2. Wagner M.-H., Aïssiou F., Badeck FW., Deniot G., Ducournau S., Dupont A., Falentin C., Gay L., Geraci A., Glory P., Hadj-Arab H., Jarillo José A., Meglic V., Morcia C., Pipan B., Sinkovic L., Oddo E., Pernas M., Pineiro M., Richer V., Rizza F., Ronfort J., Schicchi R., Terzi V., Chèvre A.-M. 2023. Genetic diversity in Mediterranean Brassica vegetables: seed phenotyping could be useful for sustainable crop production. *Acta Horticulturae*, ISHS 1384 : 172-181.

<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2023.1384.23> 

3. Delanoue A., Wagner M.-H., Demilly D., Dupont A., Ducournau S. 2023. Eloncam, un nouvel outil d'instrumentation pour le suivi automatisé et individualisé du développement des plantules. *NOV'AE Numéro Régulier #07*. Septembre 2023

2 - Communications orales

1. Boureau, Gardet, Belin et Demilly : « Avancement de la plateforme PHENOTIC ». Réunion Générale Phenome. 28/06/2023. Angers

2. Boureau, Gardet, Belin : « Angers Plant Phenotyping Facility » Biocontrol Days. Journées du consortium Biocontrôle. 15/11/2023, Angers

Participation à la formation

1. Angers Seed Phenotyping Facility. Visite et démonstration analyse image. Formation internationale UniLassale 27/09/2023

2. Accueil d'étudiants
- M1 et M2 BV UA dans le cadre des modules Veglab / Ateliers Expérimentaux.
- M2 PPP et Parcours Semences Institut Agro
- BTS Lycée Le Fresne
- Accueil de 2 stagiaires de M2 : Josephine Kocuiba (M2 BV, Projet PHENOSTIM), Ibrahima DIA (M2 PSI, Projet PHENOSTIM)



PHENOTIC : phénotypage semences et plantes

Perspectives 2024

1 - Jouvences Equipements sur le projet PHENOME.

- a. Jouvences PHENOBEAN 1 & 2 (PLANT Facility)
- b. Jouvence Faxitron RX (SEED Facility)

2 - Poursuite de la démarche Qualité (Pilotage M. Bonafos)

3 - Poursuite des projets académiques :

Navig : caractérisation génotypes Navig IGEP (Eloncam et bancs de germination),
BIOSTIM,
Sucseed (tomate, haricots),
NIRZA : caractérisation vieillissement des semences,
PHENOSTIM.

4 - Démarrage de nouveaux projets :

- Serre SF : InHerSeed ANR JCJC Marie Simonin.
- Thèse Serre SF : Jumeaux numériques.
G. Buck Sorlin, J. Bourbeillon & E. Chantoiseau.



PLATEFORME

Senso'Veg : Analyse Sensorielle

Senso'Veg

Responsable

Ronan Symoneaux, r.symoneaux@groupe-esa.com

Tél. : 02 41 23 56 05

Groupe ESA - 55, rue Rabelais - BP 30748

49007 ANGERS



Introduction

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

— Faire bénéficier les membres de la SFR QUASAV des compétences & 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 et 24 tablettes windows pour acquisition à l'extérieur

— Salle de Focus Group réaménagée pour une montée en gamme avec un Equipement 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 spécialisés 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.





Senso'Veg : Analyse Sensorielle

Faits marquants 2023

Renouvellement du système de suivi de température

Grace à une aide de la SFR QUASAV, nous avons lancé le remplacement de notre système de suivi de température dans nos chambres froides et salles de dégustation qui nous permet de contrôler le respect de notre chaîne du froid et le contrôle de la température ambiante de nos salles de dégustation.

Des développements méthodologiques

Le HRATA (Hierarchical Rate All That Apply), la nouvelle méthodologie mise au point par la plateforme dans le cadre du projet SENSTAX fait toujours l'objet de travaux complémentaires pour améliorer l'acquisition et le traitement des données. L'année 2023 a été l'occasion de développer une roue des odeurs de roses et de la mettre en œuvre avec cette méthodologie HRATA et HCATA sur plusieurs rosiers.

Nous avons poursuivi le développement d'un package SensoGrappe qui regroupe les différentes fonctions en lien avec les précédents travaux de thèses : des fonctionnalités relatives à l'analyse de variance adaptées aux données sensorielles et des fonctions relatives aux traitements de données HRATA et HCATA. Non disponible sur le CRAN, il est fourni à nos partenaires et clients au besoin.

L'intégration de nouveaux dégustateurs entraînés

Le panel entraîné a fait l'objet d'un renouvellement avec l'intégration de nouveaux dégustateurs.

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 Senso'Veg. 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 dont les produits issus de légumes secs et le panel entraîné suit une formation dans ce sens.

La plateforme SensoVeg est impliquée notamment dans les projets de recherche :

- **JUBILO** : Développement d'une filière JUs de pomme et de poire Bas Intrants et LOcale.
- **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.
- **JACK** : Impact de l'expérience gastronomique et de l'accompagnement culinaire sur l'adoption des légumes secs dans les pratiques alimentaires
- **UMAMIWINE** : Impact d'un élevage long en barrique sur la composition et l'expression umami de vins blancs tranquilles de Chenin
- **Chaire AAPRO** : Avantages et acceptabilité des PRO-téines alternatives (Advantages and Acceptability of alternatives PROteins).

Axe Plantes ornementales

La plateforme Senso'Veg est impliquée dans l'UMT STRATEGIE 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.



Senso'Veg : Analyse Sensorielle

- **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.
- **PRODECO** : PRODUCTION ECO-responsable en horticulture ornementale.
- **ROSEHRATA** : Développement d'une roue des odeurs de roses. Ce projet a été financé par la SFR QUASAV et repose sur l'expertise sensorielle de l'unité GRAPPE et de la plateforme SENSOVEG couplée à l'expertise de l'unité GDO.

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 avec 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, les oignons, les 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.



Senso'Veg : Analyse Sensorielle

Principales valorisations 2023

Articles

- Koenig, L., Symoneaux, R., Pouzalgues, N., Carriou, V., Vigneau, E., & Coulon-Leroy, C. (2023). Development of a Hierarchical Rate-All-That-Apply (HRATA) methodology for the aromatic characterisation of wine. *OENO One*, 57(1), 175–190. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2023.57.1.5531>
- Symoneaux, R., Patron, C. et Brasse, C. (2022). "HRATA : a new sensory methodology for a better aroma characterization – a case study on apple (*Malus domestica*)."
Acta. Hortic. 1353. ISHS 2022 <https://doi.10.17660/ActaHortic.2022.1353.14>
- Laroche, A. L. and R. Symoneaux (2023). Gathering and promoting plants according to their use: A new commercialization approach to reach urban consumers. *Acta Hortic.* 1368. ISHS 2023. DOI 10.17660/ActaHortic.2023.1368.26 XXXI IHC – Proc. Int. Symp. on Innovations in Ornamentals: from Breeding to Market Eds.: J. Van Huylenbroeck and F. Foucher.

Posters et communications orales

- Symoneaux, R. (2023). Sensory scientists at the core of consumer-led product ecodevelopment. 15th Pangborn Sensory Science Symposium: Meeting new challenges in a changing world, La cité des Congrès de Nantes, France. 20-24 August 2023.
- Maitre, I., Akissoe, F. L., Guerin, B., Piva, G., Symoneaux, R., Dufrechou, M. et Brasse, C. (2023). Simplifying a multi-sensory gastronomic experience to identify the culinary potential of legumes: a proof of concept. 15th Pangborn Sensory Science Symposium: Meeting new challenges in a changing world, La cité des Congrès de Nantes, France. 20-24 August 2023
- Honoré-Chedozeau, C., Audrain, N., Lelan, V.,

Desfontaines, C., Talbot, J., Dubois, T., Pouzalgues, N. et Symoneaux, R. (2023). Less is more: towards a discrepancy of representation of non-added sulphite wines among French professionals and consumers. 15th Pangborn Sensory Science Symposium: Meeting new challenges in a changing world, La cité des Congrès de Nantes, France. 20-24 August 2023.

Perspectives 2024

Pour 2024, plusieurs projets de recherche en cours de validation intégreront l'expertise de la plateforme SensoVeg.

D'un point de vue méthodologique, les efforts se poursuivent sur le déploiement de la méthodologie HRATA qui est très prometteuse mais qui nécessite encore des améliorations et des adaptations à différents espaces produits. On doit notamment citer le projet TEXASHRATA pour une adaptation sur le vin rouge dans une collaboration avec l'Université du Texas.

Nous poursuivrons également des travaux sur l'analyse automatique des commentaires de consommateurs avec la poursuite et le dépôt d'un projet ConsoTextPlover.

Nous allons ouvrir un nouveau panel entraîné sur le vin dans le cadre du projet UmamiWine et nous allons lancer une opération de recrutement de nouveaux consommateurs.



RUBRIQUES LIBRES



Séquençage du génome complet de *Xylella fastidiosa* à partir de plantes infectées par méthode d'enrichissement ciblé.

La caractérisation génétique fine de la diversité de *X. fastidiosa* peut être étudiée en utilisant le séquençage du génome bactérien ; cependant, l'isolement de la bactérie à partir de matériel végétal n'est pas toujours possible. Afin d'accéder au génome bactérien directement à partir d'échantillons de plantes infectées, en s'affranchissant de l'étape d'isolement, une méthode SureSelect d'enrichissement ciblé du génome de *X. fastidiosa* a été développée dans l'unité ANSES-BVO. Les résultats de séquençage Illumina ont mis en évidence que l'enrichissement a été très efficace pour capturer la séquence génomique de *X. fastidiosa* avec une profondeur significativement améliorée pour tous les échantillons enrichis testés, quels que soient l'espèce végétale ou le niveau de contamination par la bactérie. La méthode développée dans ce projet a ainsi permis d'obtenir des données génomiques indispensables pour étudier l'épidémiologie et les origines d'introduction de cette bactérie, et ainsi pouvoir adapter au mieux la surveillance et la gestion de cette bactérie de quarantaine. Ce travail a fait l'objet d'une publication dans Journal of Microbiological Methods :

<https://doi.org/10.1016/j.mimet.2023.106719>



Un travail collaboratif entre plusieurs laboratoires dont l'unité ANSES-BVO du laboratoire de la santé des végétaux à Angers a permis par séquençage haut débit de caractériser différents isolats de virus laitues (*Lactuca sativa*) cultivées ou sauvages provenant de différentes origines (France, Brésil, Slovaquie). Ces virus appartiennent à la famille des *Secoviridae*. Parmi ces virus caractérisés, deux virus du genre *Sequivirus* présentant des caractéristiques génomiques et de gamme d'hôtes suffisamment originales ont été proposés en tant que nouvelle espèce virale dénommée lettuce star mosaic virus. Ce travail collaboratif amené à se poursuivre sur d'autres modèles a fait l'objet d'une publication dans Plant disease :

<https://doi.org/10.1094/PHYTO-03-23-0095-R>



Symptômes de *Xylella fastidiosa* sur *Polygala myrtifolia* (B Legendre – ANSES, LSV)



Symptômes de lettuce star mosaic virus (LSMoV) sur laitue (Visage, ANSES, 2021)



LSV - BVO

Bactériologie, Virologie et OGM



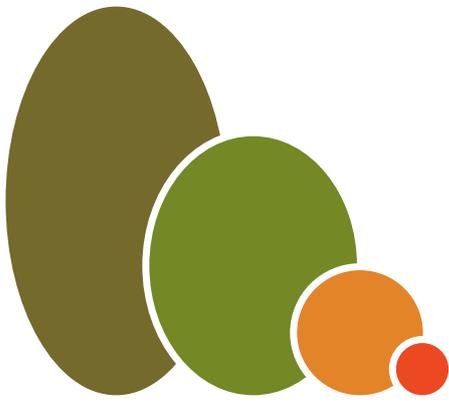
Dans le cadre du projet European Virus Archive – Global (EVA – Global)

<https://www.european-virus-archive.com>, s'est tenu le 25 janvier 2023 dans les locaux de l'unité ANSES-BVO du laboratoire de la santé des végétaux d'Angers un atelier sur la mise en place d'un système qualité au sein d'une collection de virus végétaux. Deux approches ont été utilisées pour s'assurer de la conformité à cette norme, un outil d'auto-évaluation géré par l'Institut Pasteur, partenaire du projet, et l'organisations d'audits "amicaux" visant à faire progresser l'activité des laboratoires vers cette norme.

L'objectif de l'atelier était de fournir un soutien et des conseils pour se mettre en conformité avec la norme de gestion des collections du projet EVAG. Cette réunion se voulait interactive, mais aussi une occasion de partager les meilleures pratiques. Maurice Bradsley (AMU) et Wulf Menzel (DSMZ) ont apporté leur soutien, leurs conseils ou parfois simplement leur interprétation de la norme de qualité à tous les partenaires présents.



Participants au WS Qualité EVAG



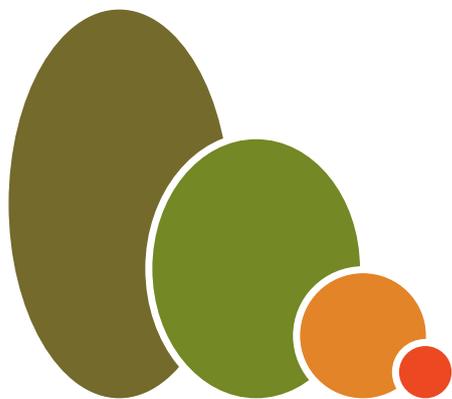
Lancement du projet PROFAS C+ avec l'Algérie dans le domaine de la santé des végétaux.

Ce projet, financé pour la partie française par l'Ambassade de France en Algérie est d'une durée de 18 mois. Il vise à renforcer les capacités des laboratoires de l'INPV (Algérie) en matière d'analyses réglementaires par technique de biologie moléculaire (PCR en temps réel), en permettant aux homologues algériens d'une part d'observer et de pratiquer dans les conditions du LSV, et d'autre part d'être formés dans leurs conditions et dans leurs installations par un expert du LSV.

Ce projet s'intéressera d'une part au tomato brown rugose fruit virus (ToBRFV) et d'autre part à *Phyllosticta citricarpa* champignon responsable de la maladie des taches noires sur agrumes. Une première visite d'étude par des partenaires algériennes a eu lieu du 17 au 21 juillet dans l'unité ANSES-BVO à Angers pour la détection du ToBRFV. Cette semaine a été l'occasion d'observer en détail la mise en pratique de cette analyse dans le contexte d'un laboratoire accrédité et pour les collègues algériennes de pratiquer également dans ces conditions. Cette formation quasi individuelle a été assurée par Laëtitia Porcher de l'unité BVO et a permis de nombreux échanges techniques.



Participants à la formation PROFAS organisée au LSV-BVO



IRHS Institut de Recherche en Horticulture et Semences



En 2024, à l'IRHS nous avons accueilli 6 collègues sur des contrats permanents ou CDI. **Matthias BONAFOS** a été recruté en tant qu'Ingénieur d'études par l'Université d'Angers et affecté à la plateforme PHENOTIC, il assure la gestion et le pilotage opérationnel de cette plateforme. Toujours à PHENOTIC, **Rayan EID** a été recrutée également sur un statut Ingénieur d'études par INRAE, département SPE, pour en assurer le pilotage informatique. **Florence MOUFFLE** a été recrutée en tant qu'Assistante Ingénieure par le département de biologie de l'UA et a intégré l'équipe QuarVeg pour y effectuer son mi-temps recherche. **Clémentine DUPLAIX**, technicienne de Recherches à INRAE, département SPE, a rejoint l'équipe EcoFun. **Lydie MAGNINO** Technicienne administrative a été recrutée par l'Institut Agro et affectée à l'équipe PAIGE. Enfin, **David TRILLARD** a été recruté par INRAE, département AgroEcosystem, en tant que Personne Ressource Informatique pour l'unité.

L'année 2023 a été riche en démarrage de contrats doctoraux puisque 15 doctorants ont engagé leur projet de thèse à l'automne 2023. Ils rejoignent ainsi les 24 autres doctorants de l'unité. Nous avons également accueilli 3 chercheurs en contrat Post-Doctoral en 2023.

Six projets de recherche ont démarré en 2023. Ainsi, l'équipe RESPOM coordonne avec l'entreprise BlueWhale le projet BonnePomme financé par Bpifrance, l'équipe SEED participe au projet Soystainable financé par France2030, l'équipe EmerSys participe au projet KILLER financé par l'ANR AAPG 2022, le CIRM-CFBP participe au projet MICROBE (financé par Horizon-Infra), l'équipe FungiSem participe au projet SeqDetectVeg financé par FranceAgrimer et les équipes SEED et Emersys participent au projet SeedBioProtect financé par PlantAlliance. D'autres projets ont été acceptés en 2023, mais les travaux ne démarreront qu'en 2024.

Début 2023, l'IRHS a déposé, avec le soutien de la Région Pays de la Loire, d'Angers Loire Métropole et de ses tutelles (INRAE, l'Université d'Angers et l'Institut Agro), au nom d'un consortium comprenant 5 autres unités porteuses et un partenaire de la SFR le projet 'INSTEAD-DocHub : Integrative Biology Horticulture, Seed, And Landscape-Doctoral Hub' à l'Appel CoFund Doctoral programme des actions Marie Sklodowska-Curie d'Horizon Europe. L'ambition de ce projet était de former 18 doctorants internationaux sur les thématiques clefs de nos unités en favorisant la pluridisciplinarité, le partenariat à l'international et les interactions avec les entreprises et instituts techniques concernés. Ce premier dépôt à cet appel très compétitif n'a pas été couronné de succès, même si les notes obtenues étaient pour 2 des 3 critères excellentes. Dans l'objectif de favoriser l'accueil en doctorat des étudiants des masters locaux, nous n'avons pas redéposé de projet à cet appel en 2024.

Post-docs commencés en 2023

DOURMAP Corentin

Projet IsoSEED

Référent scientifique **Tcherkez Guillaume**

PORQUIER Antoine

Identification of the molecular determinants regulating host adaptation of *Venturia inaequalis*

Référent scientifique **Baudin Maël**

TAILLEFER Boris

T6IMPACT : Étude de la régulation et de l'impact du T6SS de *Stenotrophomonas* sur le microbiote des graines

Référent scientifique **Sarniguet Alain**



Thèses commencées en 2023

BENMAMAR Sirine

Functional characterization of the MAX effector AVR-Rvi6 from the fungal pathogen *Venturia inaequalis*.
Direction de thèse: [Le Cam B.](#), [Baudin M.](#)

BREMAND Étienne

Mécanismes moléculaires impliqués dans l'antagonisme des *Trichoderma* vis-à-vis d'agents responsables de fontes de semis (TRICHOSEED)
Direction de thèse : [Guillemette T.](#), [Denancé N.](#),
[Boisard S.](#)

CHADELAUD Thomas

DEMOTRANS : Recherche de déterminants moléculaires impliqués dans la transmission de bactéries aux graines de haricot.
Direction de thèse: [Barret M.](#), [Darrasse A.](#)

COLAERT-SENTENAC Louna

Influence du microbiote des semences sur la levée et la tolérance aux phytopathogènes des plantules (SMILE : Seed Microbiota Influence on Emergence)
Direction de thèse: [Simonin M.](#), [Teulat B.](#), [Planchet E.](#)

DUCKENA Lilija

Alternaria species diversity on Solanaceae in Northern Europe depending on control practices and agroclimatic conditions
Direction de thèse: [Simoneau P.](#)

GOUAILLE Léo

Identification et étude du rôle des microARNs impliqués dans la signalisation sucre, en interaction avec les hormones, au cours du débourrement chez le rosier
Direction de thèse: [Le Gourrierec-Gentilhomme J.](#), [Sakr S.](#), [Laufs P.](#)

KEBIECHE Abdelhamid

Bases génétiques de la variabilité de réponse de la carotte à un SDP pour la protection vis-à-vis d'*Alternaria dauci*: impact du génotype et de températures extrêmes
Direction de thèse: [Geoffriau E.](#), [Le Clerc V.](#)

LEGRIX Julie

Identification des déterminants génétiques de la réponse de la germination aux bases températures chez le soja
Direction de thèse: [Buitink J.](#)

MERCIER Félix

Vers une approche « Data centric AI » pour le phénotype des végétaux
Direction de thèse: [Rousseau D.](#), [Bouhlel N.](#), [El Ghaziri A.](#)

NGUYEN Bao-Huynh

Thermodéfense : Comprendre l'impact de la température sur la stimulation de l'immunité du pommier pour optimiser l'effet des SDP au verger
Direction de thèse: [Larbat R.](#)

ROUX Chloé

Étude de l'impact des interactions microbiennes dans l'adaptation et l'évolution de la bactérie phytopathogène *Xylella fastidiosa*
Direction de thèse: [Jacques M-A.](#), [Dittmer J.](#)

SUTEAU Logan

Pilotage du microbiote des plantes à de multiples stades phénologiques : Dynamique d'assemblage de la fleur à la plantule et contrôle d'agents phytopathogènes des semences
Direction de thèse: [Simonin M.](#), [Campion C.](#), [Gushinskaya N.](#)

TROMPETTE Eloïse

Effet des facteurs agro-climatiques sur l'accumulation des anthocyanes chez les pommes à chair rouge
Direction de thèse: [Celton J-M.](#)

ZAAG Ismaël

Biomarqueurs métaboliques de la nutrition potassique du palmier à huile
Direction de thèse : [Tcherkez G.](#), [Lamade E.](#)



EPHOR

Environnement Physique de la plante Horticole

Nouveaux contrats

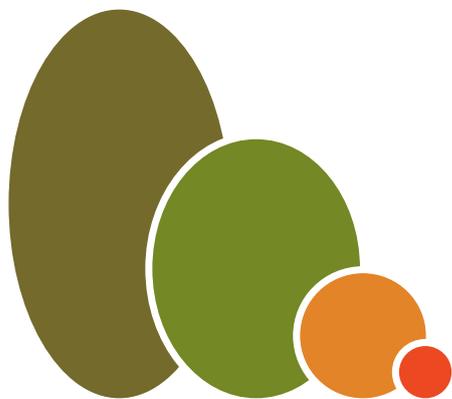
Projet PNDAR « REDO », Réduire la consommation en eau des cultures de fraises et tomates hors sol, 2023-27. Portage Invenio, partenaires : EPHor, CATE, Cadralbret, Valprim, CMO

Nouvelles thèse commencées en 2023

Julien Amelin, Évaluation de scénarios de séquestration du carbone dans les sols et la végétation en appui aux politiques publiques métropolitaines. Application au territoire de Rennes Métropole. Encadrants : **Walter C.** (UMR SAS Rennes), **Cannavo P.** (UP EPHor)

Nouveaux contrats post-doctoraux commencés en 2023

- **Stan Durand**, Changes in particle size and shape of peat alternatives according to their biodegradation. Consequences in terms of physical stability and physical properties, Collab. **Michel J.C.**
- **Tom Künnemann**, Caractérisation et modélisation de la décomposition de litières dans les sols d'espaces verts urbains, Collab. **Cannavo P.**



GRAPPE

Groupe de Recherche en Agroalimentaire sur les Produits et les Procédés

L'UR GRAPPE a reçu l'accord officiel pour son renouvellement de l'USC à INRAE département ACT en 2023.

L'unité a embauché 2 enseignants-chercheurs CDI et un en CDD.

2 candidatures pour le HDR ont été déposées auprès de l'Université d'Angers.

L'unité a poursuivi sa collaboration avec l'Université d'Angers au travers d'un projet ROSEHRATA qui a permis le transfert d'une méthode d'analyse sensorielle du vin vers la rose, *via* un stage de fin d'études.

L'unité a maintenu ses partenariats industriels et académiques.

L'unité est fière d'avoir obtenu le Prix du Sival de bronze remis pour l'innovation « Vitigame[®] et pour Vit'LCA, logiciel d'écoconception viticole » le 18 janvier 2023.

Nouvelles thèses commencées en 2023

BAILLET Vincent

L'évaluation des solutions de lutte contre le gel en viticulture du point de vue de la perception des parties prenantes et de l'évaluation environnementale par ACV.

Direction de thèse : Ronan Symoneaux (ESA)

Co-encadrement : Christel Renaud-Gentié (ESA)

BANCAL Victoria

Impact des pratiques agroécologiques sur la composition, la conservation, l'acceptabilité et la réduction des pertes alimentaires après récolte des cultures maraichères en Afrique de l'Ouest.

Direction de thèse : Pierre Picouet (ESA)

Co-direction : Fabrice Le Bellec (CIRAD)

Co-encadrement : Pierre Brat (CIRAD)

BIYENDOLO Bell-Blonde

Valorisation des fèves de cacao du Congo : production-caractérisation du chocolat et impacts socio-économiques de l'innovation et de l'entrepreneuriat.

Direction de thèse : Jean Mathurin NZIKOU (Institut International 2i – Congo), Chantal MAURY (ESA), Jean Pierre MATHIEU (Institut Scientifique et Pédagogique International).

LOUVEAU Anne

Impact de stratégies d'incitations gastronomiques et culinaires pour modifier les comportements alimentaires des consommateurs à domicile et augmenter la consommation des légumineuses.

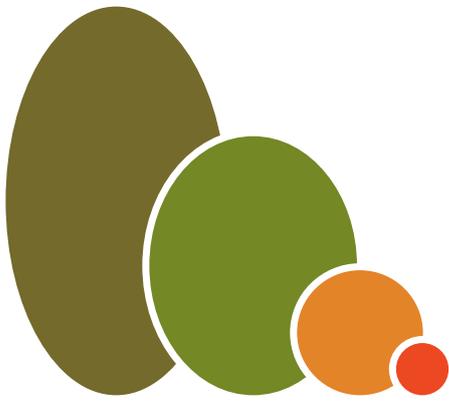
Direction de thèse : Ronan Symoneaux (HDR) chargé de recherche (ESA), Agnès Giboreau, Directrice de Recherche (Institut Paul Bocuse - Lyon)

Co-encadrement : Isabelle Maitre, enseignante-chercheuse (ESA), Audrey COSSON, chargée de recherche (Institut Paul Bocuse- Lyon)

Coopérations internationales

Nous avons accueilli Khaoula BEN SAID, doctorante de l'Unité de recherche PATIO (INAT, Tunisie) du 5 septembre au 4 décembre 2022, sur le thème : « Caractérisation et valorisation des ressources végétales via la formulation des produits alimentaires à haute valeurs nutritionnelles répondant aux besoins nutritionnels identifiés d'une population cible ».

Nous avons accueilli également Gvantsa SHANSHIASHVILI, doctorante du Department of Food, Environmental and Nutritional Sciences (DEFENS), Università degli Studi di Milano, Italia, du 1er avril au 9 juillet 2023, sur le thème "Improving the grape pressing for a sustainable wine production chain (GrapePress 4.0)".



LEVA

Légumineuses, Ecophysiologie Végétale, Agroécologie

Déjà partenaire du projet SPECIFICS (Sustainable PEst Control In Fabaceae-rich Innovative Cropping System) piloté par l'UMR Agroécologie Dijon, et du projet JACK (Just Adopt pulses from Cook to fork) coordonné par le GRAPPE, le LEVA est partenaire d'un 3e projet ANR France 2030 accepté en 2023 ; il s'agit du projet OptiLeg (Optimization of microbial interactions for sustainable production of legume proteins, beneficial for the environment and health ; coordination UMR Agroécologie Dijon).

Un autre projet ANR France 2030, PULSAR (Protein Utilization and production in Lupinus: Species Association-driven Reviving of an orphan legume species), a lui aussi été lauréat en 2023. Coordonné par le LEVA, PULSAR fédère les unités de recherche IRHS (équipe SMS), GRAPPE, IPSIM Montpellier (co-coordination du projet), Agroécologie Dijon, STLO Rennes, BIA Nantes et les entreprises Cérience et Kédelaï. Le projet, d'une durée de 72 mois, est labellisé par les Pôles de compétitivité Végépolys Valley et Valorial.

En 2023, avec le recrutement de Tessa Boutersky pour une thèse co-financée par le projet ANR JACK et la Région Pays-de-la-Loire, le LEVA poursuit ses recherches sur l'agronomie du pois-chiche en culture pure ou associée, initiées avec Margaux Guy (thèse co-financée par le projet SPECIFICS et le Département AgroEco-System de INRAE).

Suite au projet européen H2020 DiverIMPACTS, plusieurs enseignants-chercheurs ont intégré le Groupe d'Intérêt Scientifique GC HP2E, 'Grande Culture à Hautes Performances'. Ils participent aux actions de communication du GIS, avec la construction et la coordination d'un nouveau groupe thématique sur la diversification des cultures. Plus globalement, le LEVA s'est beaucoup investi dans le transfert de connaissances vers les professionnels et le grand public, par

des journées formations pour des groupes d'agriculteurs, par son implication dans le comité d'organisation de la Journée Mondiale des Sols et plus particulièrement l'évènement spécial jeunes qui a eu lieu le 30 novembre 2023 à Orléans, et dans le comité scientifique des Rencontres Francophones pour les Légumineuses #4 (Janvier 2024 à Dakar-Saly au Sénégal).

Nouvelles thèses commencées en 2023

Tessa BOUTERSKY

Élaboration de la qualité de graines de légumineuses (pois chiche, lentille) pour leurs aptitudes culinaires en lien avec les conditions pédoclimatiques et les pratiques culturales.

Directrice de thèse **Guénaëlle CORRE-HELLOU**

Co-encadrant **Guillaume PIVA**.



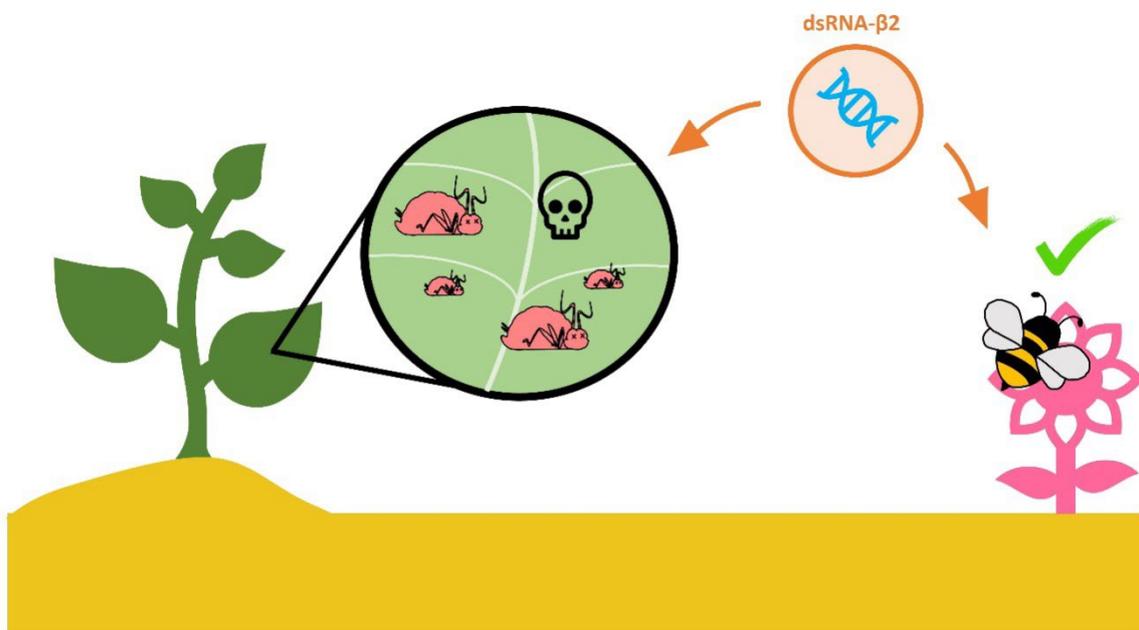
Lupin blanc en culture pure (photo LEVA)



L'utilisation de l'ARN interférent pourrait être envisagée pour lutter contre les ravageurs de culture.

Un des défis de l'agriculture contemporaine est de fournir suffisamment de ressources alimentaires de qualité à un coût raisonnable à une population mondiale croissante tout en réduisant l'impact environnemental des pratiques agricoles. Les insectes ravageurs de culture étant responsables d'une perte significative de la production agricole, les insecticides restent un des moyens de lutte utilisés pour protéger les cultures et augmenter les rendements.

Cependant, l'utilisation non raisonnée de ces molécules a entraîné le développement d'insectes résistants. De plus, leur impact sur l'environnement ainsi que sur les organismes non-cibles a conduit au retrait de nombreux insecticides. Il devient alors indispensable de développer de nouvelles stratégies de lutte contre les insectes ravageurs de culture afin de diminuer l'utilisation de ces produits phytosanitaires. L'ARN interférence apparaît comme un nouvel outil prometteur pour contrôler de manière spécifique les populations d'insectes ravageurs. Dans une récente étude, nous avons utilisé des ARN double-brins (ARNdb) ciblant une sous-unité nicotinique divergente du puceron du pois *Acyrtosiphon pisum*.



Le traitement des pucerons *Acyrtosiphon pisum* avec un ARN double-brins ciblant la sous-unité nicotinique divergente $\beta 2$ (dsRNA- $\beta 2$) entraîne la mort de ces derniers sans mortalité sur l'abeille *Apis mellifera*.

RÉFÉRENCE :

Ligonniere S, Raymond V, Goven D. Use of double-stranded RNA targeting $\beta 2$ divergent nicotinic acetylcholine receptor subunit to control pea aphid *Acyrtosiphon pisum* at larval and adult stages. *Pest Manag Sci*. 2023 Oct 10. doi: 10.1002/ps.7820. Epub ahead of print. PMID: 37816139.



SiFCIR

Signalisation Fonctionnelle Canaux Ioniques et Récepteurs

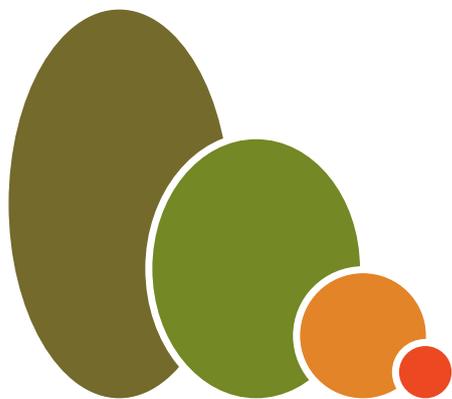


Thèse soutenue

En décembre 2023, **M. Sébastien Ligonnière** a soutenu sa thèse intitulée : « Utilisation de la technique d'interférence ARN dirigée contre les acteurs du système cholinergique pour lutter contre les insectes ravageurs ». Cette thèse a été co-encadrée par **V. Raymond et D. Goven**.

Nouveaux arrivants

Mme Haïfa Othman a rejoint le laboratoire SiFCIR en septembre 2023 en tant qu'Attachée Temporaire d'Enseignement et de Recherche.



SONAS Substances d'Origine Naturelle et Analogues Structuraux



Projets

Le projet Bon z'ail porté par le centre technique Plante et Cité (Maxime Guérin) a débuté cette année au laboratoire pour une durée de 3 ans. Ce projet, un des lauréats de l'appel à manifestation d'intérêt sur les espèces exotiques envahissantes lancé par l'OFB, regroupe une dizaine d'acteurs (ITAB, CEN Pays de Loire, ONF, ARMEFLHOR, SNCF Réseau, ITEIPMAI...) et se propose d'explorer le potentiel de l'ail pour dévitaliser les ligneux envahissants. Le SONAS aura en charge les études métabolomiques afin d'identifier les substances à l'origine de l'effet.

Les premières rencontres entre partenaires du cluster 2 (Agriculture, food, and environmental sustainability) du Work Package Research du consortium d'universités européennes EU-Green ont eu lieu en 2023. L'unité est engagée dans les deux seeds funding actuellement financés du cluster 2, intitulés « Circular Dairy Farming Plus » et « AGRIOPEP », qui ont pour objectif la création de réseaux communs de recherche l'un sur le développement durable dans la filière laitière et l'autre sur la valorisation des déchets des industries agroalimentaires sources de protéines.

Dans le cadre du Labcom Feed In Tech, un nouveau spectromètre de masse triple quadripôle (Thermo Scientific TSQ Quantis plus) a été installé sur le PT PHYTO. Il a été financé en totalité (180k€) par l'entreprise partenaire (NorFeed) dans le cadre d'un contrat spécifique de 7 ans de mise à disposition de l'équipement de 6 jours sur 7.



Thèses soutenues ou commencées en 2023

En 2023, deux thèses portées par le laboratoire ont été soutenues et une a démarré.

La première soutenue par **T. Charpentier**, intitulée " Produits d'origine naturelle ciblant la voie « Unfolded Protein Response » : vers une protection alternative des cultures " a été co-dirigée par **P. Richomme** et **T. Guillemette**. Elle s'inscrit dans la thématique sur la protection des cultures développée avec l'équipe IRHS-Fungisem dont un des aspects consiste à identifier des molécules naturelles capables de restaurer l'efficacité des défenses naturelles de plantes cultivées.

La seconde soutenue par **M. Meunier**, intitulée "New approaches to identify (bio)markers in complex mixtures of natural products " a été dirigée par **A. Schinkovitz** et **S. Derbré**. Ce travail a exploré l'approche combinée de la dérégulation basées sur la SM ou la RMN et l'analyse (bio)chimométrique, afin d'établir une hiérarchisation efficace pour l'élucidation des composés (bio)actifs.

Auriane Leblond a démarré une thèse en octobre 2023 (financement ED VAAME) intitulée " Produits naturels modulateurs de la ferroptose appliqués en santé du végétal " et dirigée par **D. Séraphin**, co-encadrants **G. Viault** et **J.J. Helesbeux**. Le projet vise à rechercher et identifier de nouveaux produits naturels modulateurs de la ferroptose, soit par chélation du fer soit par un ciblage enzymatique, pour une application à la lutte antifongique.

Habilitation à diriger des recherches

L'année du laboratoire s'est terminée de belles manières avec la soutenance, fin décembre, de l'habilitation à diriger des recherches (Université d'Angers) de **Guillaume Viault** intitulée "Hémisynthèse de produits naturels et analogues phénoliques à activités biologiques ".



L'expertise du GEVES pour évaluer l'efficacité des bio-solutions

L'année 2023 a été marquée par le démarrage du projet SeedBioProtect et l'accueil d'une stagiaire de l'université de Montpellier. Pour SUCSEED, la méthode de contamination des boutons floraux a été confirmée sur tomate et les premières graines bio-primées avec des communautés synthétiques ont été phénotypées avec succès pour le haricot. Enfin, deux projets CAS-DAR, ASCOLUP-lupin et ACTIFOL- laitue, se sont achevés sur des pistes intéressantes pour l'efficacité des process de désinfection concernant le lupin.

L'activité d'évaluation de bio-solutions a poursuivi sa progression avec la mise au point de 3 nouveaux pathosystèmes (photo A) portant le total à 24 pathotests disponibles.

Pour quantifier la stimulation du développement racinaire, cribler des solutions candidates ou adapter la dose en traitement de semences, des essais ont été menés sur trois espèces avec le concours de deux stagiaires, formés sur plusieurs outils d'imagerie (photo B).

L'ensemble des développements méthodologiques associés à l'usage de biostimulants en traitement de semences ou à l'expertise en biocontrôle a fait l'objet de plusieurs communications en 2023 : deux communications au SIVAL à Angers, une à la journée technique de l'IBMA, deux posters à la 14ème Conférence de l'ISSS à Paris et aux 12èmes Rencontres du Végétal à Angers, et une présentation internationale lors du Biostimulants World Congress à Milan.

Côté réseau, le GEVES a participé à la réunion annuelle du RMT BESTIM à Saint Pol de Léon et aux dernières journées du Consortium Biocontrôle à Angers. C'est à cette occasion que le projet Grand Défi "Biocontrôle et Biostimulation pour l'Agroécologie" a été présenté ; il vise à accélérer la transition agroécologique dans le cadre de France 2030.



A- Évaluation de biosolutions sur pathosystèmes

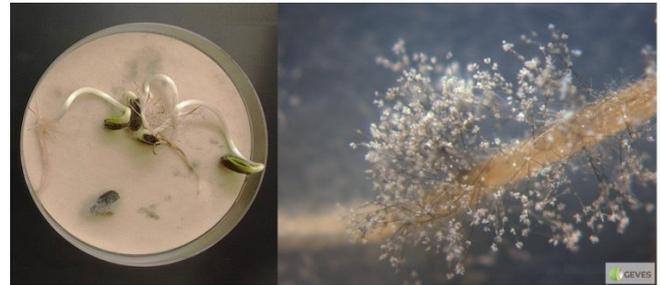


B- Utilisation d'outils d'imagerie pour quantifier l'efficacité des biostimulants



La détection de *Botrytis cinerea* sur semences de tournesol : une méthode officielle GEVES fiable

Botrytis cinerea est un champignon nécrotrophe responsable de la pourriture grise sur plus de 200 plantes hôtes. Ce pathogène est particulièrement dévastateur pour la production de tournesol car il peut envahir et altérer les semences. Les semences infectées constituent une voie importante de transmission à longue distance et ont conduit à l'introduction de cette maladie dans de nombreuses régions du monde. Pour contrôler la propagation de *Botrytis cinerea* et prévenir les épidémies, il est essentiel de s'assurer de la qualité sanitaire des semences. La méthode officielle GEVES M-GEVES-SV-MO-005-1.0, qui s'appuie sur la méthode ISTA 7-003, permet de détecter la présence de *Botrytis cinerea* sur semences de tournesol. Cette méthode consiste à déposer les semences sur papier buvard humide dans des boîtes de Petri. Les boîtes sont incubées durant 7 à 12 jours à 20°C à l'obscurité. Les semences sont, ensuite, observées à la loupe pour détecter la présence de *Botrytis cinerea* en s'appuyant sur des critères morphologiques caractéristiques.



Une nouvelle méthode pour la détection par SE-RT-qPCR de ToMMV sur semences de tomates et piment

Le GEVES propose désormais une méthode de criblage rapide et haut-débit par SE-RT-qPCR pour la détection spécifique du Tomato Mottle Mosaic Virus (ToMMV) sur semences de tomate et piment. Le laboratoire a évalué les critères de performance et a confirmé sa capacité à employer cette méthode. La nouvelle méthode en application au laboratoire emploie deux sondes Taqman (CaTa9 et ToMMV2) qui permettent la détection spécifique du ToMMV sur 1000 semences (code prestation PA-VI-98-1) ou 3000 semences (PA-VI-98). De plus cette nouvelle méthode peut être combinée avec la méthode SE-RT-qPCR

pour la détection du ToBRFV sur le même échantillon de 1000 (PA-VI-99-1) ou 3000 (PA-VI-99) semences. La méthode par indexage reste disponible pour la détection des tobamovirus infectieux.



La PCR digitale arrive au GEVES

Le GEVES à Beaucouzé a récemment acquis un appareil de PCR digitale (dPCR). La dPCR est une approche de grande précision pour la détection et la quantification absolue de molécules cibles à un niveau de sensibilité élevé. En effet, contrairement aux autres méthodes PCR où chaque échantillon est analysé une fois dans un « grand » volume, cet appareil permet de diviser et donc d'analyser chaque échantillon en 26 000 réactions PCR séparées grâce à des puces microfluidiques.

Cette augmentation très importante du nombre de réactions PCR avec la dPCR dure autant de temps qu'une seule réaction PCR avec les autres méthodes PCR et permet toujours l'analyse de 96 échantillons en parallèle avec 5 fluorophores, pour la détection de

5 cibles à la fois. Cette technologie pourra être utilisée après développement et validation pour la production de matériel de référence, pour la détection et la quantification d'agents pathogènes ou d'OGM et aussi pour l'évaluation de la pureté spécifique et variétale des lots de semences.



Vers l'automatisation partielle des analyses de dénombrements des semences

Les analyses de dénombrement des semences d'autres plantes permettent de détecter et d'identifier les semences d'espèces indésirables dans un lot de semences. Ces analyses sont réalisées sur un échantillon d'au minimum 25 000 semences ce qui les rend longues et complexes. Jusqu'au présent, ces analyses étaient effectuées de manière entièrement manuelle et visuelle par des analystes qualifiés.

Afin de parvenir à réduire le nombre de semences analysées manuellement par les agents, le laboratoire d'Analyses Physiques a fait l'acquisition en mai 2023 d'un automate dont le fonctionnement est basé sur l'intelligence artificielle couplée à un système de triage performant. Cet automate permet d'obtenir en sortie de machine deux fractions : une fraction sûre contenant uniquement les semences de l'espèce souhaitée et une fraction considérée comme douteuse. Seule la fraction douteuse sera analysée par les agents permettant ainsi de concentrer les compétences et d'obtenir un gain d'efficacité considérable.

Actuellement, le laboratoire travaille sur plusieurs espèces afin de développer les différents programmes et de valider l'utilisation de l'automate pour un usage en routine.



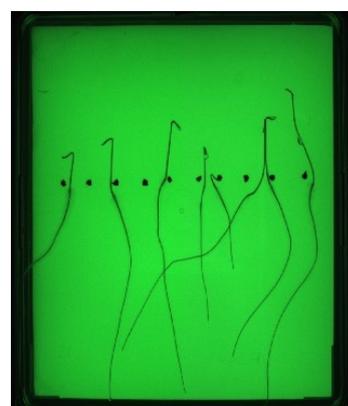


ELONCAM, un outil d'instrumentation pour le suivi automatisé et individualisé du développement des plantules

Le système de vision, ELONCAM, dispositif de la plateforme PHENOTIC (Angers Seed Phenotyping facility) développé par le GEVES en collaboration avec INRAE, l'Université d'Angers et l'ESEO, vise à contribuer au phénotypage automatisé des semences et plantules. Il permet de déterminer la capacité à germer et la vitesse de croissance de différents génotypes, en vue d'évaluer leurs propriétés physiologiques dans différentes conditions. Il s'agit d'un système d'imagerie composé de deux caméras disposées l'une au-dessus de l'autre et fixées sur un bras coulissant dans une enceinte climatique. Les caméras se déplacent à l'aide du rail automatisé relié au système d'acquisition d'images piloté par ordinateur. L'acquisition des images des plantules au cours de la phase de croissance hétérotrophe est effectuée en lumière verte. À l'issue de ces acquisitions, le traitement d'images permet d'obtenir le temps de germination pour

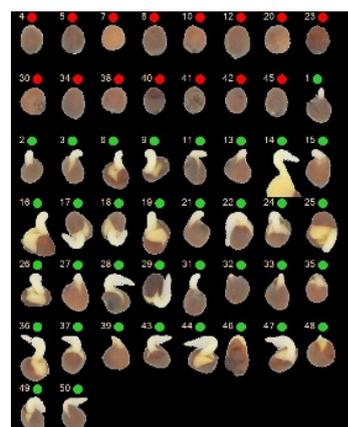
chaque semence et les cinétiques de croissance par organe aérien ou racinaire des plantules étudiées. Un article décrivant l'outil est disponible dans la revue Novae

<https://novae.hub.inrae.fr/les-articles-parus/les-n-reguliers/2023/art7-2023>.



L'imagerie multispectrale permet d'évaluer la vigueur des graines de chou

Les résultats du projet ISTA 19-3 Vigerm présentés au Seed Symposium de l'ISTA à Athènes en novembre 2022, ont fait l'objet d'un article co-écrit avec l'Université d'Aberdeen et l'Université d'Agriculture de Tokyo. Il est disponible en ligne dans la revue Seed Science and Technology. Il traite du recours à un équipement d'imagerie multispectrale (Videometer©) pour automatiser un essai de vigueur (radicle emergence test) pour les graines de chou.



Références

- Juret A., Wagner M.-H., Demilly D., Dupont A., Ducournau S. (2023). Eloncam, un nouvel outil d'instrumentation pour le suivi automatisé et individualisé du développement des plantules. NOV'AE Numéro Régulier #07. Septembre 2023
- Wagner M.-H., Powell A.A., Dupont A., Shinohara T. and Ducournau S. (2023). Radicle emergence test for cabbage can be assessed using multispectral imaging. Seed Science and Technology, 51, 3, 291-296. <https://doi.org/10.15258/sst.2023.51.3.01>



VEGEPOLYS VALLEY



Fin 2023, le pôle de compétitivité VEGEPOLYS VALLEY compte **645 adhérents** répartis en 446 TPE et PME, 62 ETI et grands groupes, 49 centres de recherche, 28 organismes de formation et 60 autres structures. Le pôle est implanté sur 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 avec 270 adhérents (42% du total).

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. Sa mission 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'équipe du pôle compte **38 personnes dont 22 en Pays de la Loire** et des implantations à Clermont-Ferrand, Roscoff, Orléans et Lyon.

Outre les **7 axes d'innovation**

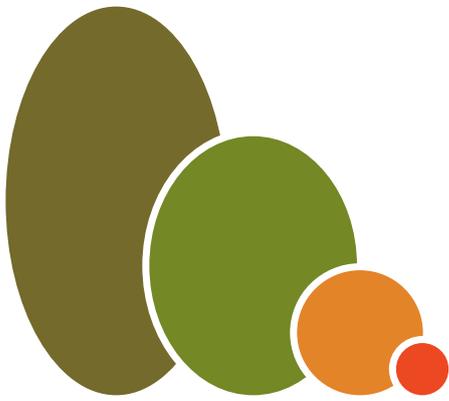
<https://www.vegepolys-valley.eu/le-pole/les-axes-d-innovation/>, il a permis de structurer **7 leviers de performance** dont Intelligence économique, Europe et international, Emploi et formation, Stratégie d'entreprise durable, ...



L'équipe du pôle offre également des **services aux chercheurs** qui sont des partenaires clés de l'activité du réseau du pôle

<https://www.vegepolys-valley.eu/offre-de-services/offre-de-services-pour-les-chercheurs/>





VEGEPOLYS VALLEY



L'activité du pôle autour des projets

Les chiffres clés

92 PROJETS DE R&D LABELLISÉS OU SOUTENUS

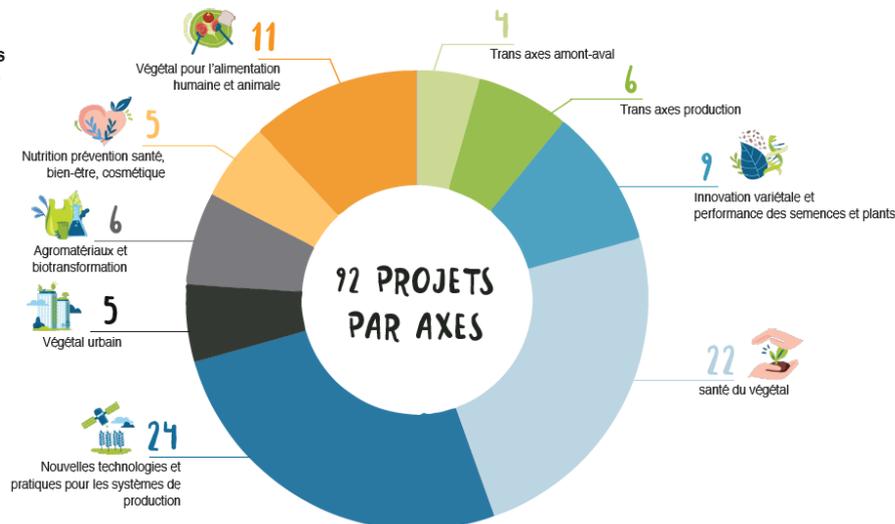
302M€ DE BUDGET GLOBAL

29 PROJETS DÉJÀ FINANCÉS SONT **55,4M€** de budget (28 en attente)

227 PARTICIPATIONS D'ADHÉRENTS

L'accompagnement des projets est réalisé en tandem entre l'équipe des chargés de mission du pôle et le CLOSI, le Comité de Labellisation et d'Orientation Stratégique Innovation. L'équipe accompagne les consortiums, le cas échéant dès l'idée, par des mises en relation, l'identification de financements adaptés, la construction d'un calendrier prévisionnel de montage du dossier et la fourniture de conseils pour établir un dossier bien argumenté. Le CLOSI mobilise un ou deux de ses membres, experts les plus pertinents pour chacun des projets (Cf. Liste en annexe) qui relisent le dossier formalisé et viennent le challenger pour le consolider et lui donner les meilleures chances d'acceptation.

Répartition des projets par axe technologique



92 projets de R&D ont été accompagnés par l'équipe et labellisés ou soutenus par le CLOSI (Comité de labellisation et d'Orientation de la Stratégie Innovation), dont 15 avec un rayonnement régional, 60 au niveau national et 17 à l'échelle européenne. L'attractivité de plusieurs appels à projets France 2030 a eu un impact significatif sur le nombre de projets présentés au niveau national. **35 projets impliquent des partenaires ligériens.**

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 3 séances en comité restreint. Sur ses 32 membres, **le comité compte 13 ligériens dont 5 issus de la SFR QUASAV.**

Organisation de la 8ème édition du Concours de start-ups de VEGEPOLYS VALLEY avec deux lauréats issus de la région Pays de la Loire :

Madame Beans : Une gamme innovante de deux aides culinaires à base de légumes secs français, conçue pour la restauration collective porté par 2 jeunes diplômées de l'ESA

Simplante : Un étiquetage horticole biodégradable et compostable à la maison pour réduire les déchets plastiques de la filière horticole porté par une étudiante d'Institut Agro-Angers.



VEGEPOLYS VALLEY



Les projets européens

Le pôle intègre une cellule Europe qui vise à accompagner les adhérents vers les projets européens d'innovation. Cette cellule s'appuie sur le réseau international du pôle pour repérer des propositions d'intérêt. En 2023, le pôle a proposé de façon ciblée **70 offres de partenariats d'adhérents à des consortia en montage** et accompagné **l'intégration de 21 adhérents** dans des projets européens dont **7 sont financés**, représentant 9.6M€ de fonds européens pour les adhérents.

Le pôle a été intégré dans 11 projets déposés dont 4 sont déjà financés

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

<https://www.vegepolys-valley.eu/les-projets-precompetitifs/> 

— Continuation des projets CLIMAVEG, SERRES +, FLORAGRI

— Montage du projet INTERREG RE-GREENHOUSE, et intégration dans HUMUS

Initiatives de développement des entreprises et des filières

— **1 bulletin mensuel de veille économique** et la création de 3 lettres de veille thématiques : Innovation variétale, santé des plantes, nouvelles tech et végétal urbain (n'hésitez pas à demander l'abonnement)

— **1 Étude prospective** sur le thème « Panorama des marchés et des productions fragilisés par la hausse des coûts énergétiques. Quels impacts sur les futurs aménagements territoriaux ?

— **1 « Boutique éphémère » organisée à Atoll Angers** intégrant 70 produits de 12 entreprises ayant suscité plus de 7000 visiteurs et le remplissage de près de 1300 questionnaires consommateurs.

— **Un accompagnement à la levée de fonds privés** via deux labels : Hi-France et Agri'O

— **Le carrefour des adhérents organisé à l'Institut Agro à Angers** avait pour thème : Boostons notre avenir.

— Plus de **600 étudiants aux Rencontres des Étudiants Végépolytains** organisées durant plusieurs jours à Angers sur le site de Terra Botanica, en partenariat avec Terre des Sciences, mais également cette année lors du salon du végétal. Il s'agit de présenter

l'écosystème végétal professionnel aux étudiants des formations végétales sous la forme d'un escape game.

L'international

— Participation à **6 salons** : IPM (Essen), Fruit Logistica (Berlin), Green Tech (Amsterdam), ABIM (Basel), SIAM (Maroc), SARA (Côte d'Ivoire)

— Renouvellement du VIBE, **convention d'affaires internationales** lors du SIVAL 2023.

La communication

Rencontres du végétal fin novembre : contribution aux comités scientifique, organisation et animation de la table ronde

Traduction et publication d'un recueil des 7 articles filières parus dans Chronica à l'occasion d'IHC 2022 :

— Panorama de l'horticulture française,

— Défis et opportunités de la filière française de la pomme,

— Le secteur des semences potagères en France,

— La carotte, une culture légumière majeure en France,

— Conservation des ressources génétiques horticoles en France,

— La sélection des roses en France : une longue et belle histoire,

— Plantes médicinales, aromatiques et à parfum en France : un secteur petit mais florissant avec une base traditionnelle solide et un réseau de recherche dynamique.



GLOSSAIRE

Unités de recherche

IRHS | Institut de recherche en horticulture et semences
Inrae, 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
Institut Agro

BVO | Bactériologie, virologie, OGM
Anses

Équipes associées

Rhizosphère de l'US2B | Équipe 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, 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, à vocation mondiale

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 sensorielles

Glossaire équipes IRHS

BIDEFI | Bioinformatics for plant Defense Investigations

ECOFUN | Écologie évolutive des champignons

EMERSYS | Émergence, systématique et écologie des bactéries associées aux plantes

FUNGISEM | Pathologies fongiques des semences

GDO | Génétique et Diversité des plantes Ornementales

IMHORPHEN | Imagerie pour l'Horticulture et le Phénotypage

QUARVEG | Qualité et résistance aux bioagresseurs des espèces légumières

RESPOM | Résistance du pommier et du poirier aux bioagresseurs

SEED | Semences, Environnement et Développement

SMS | Seedling, Metabolism and Stress

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

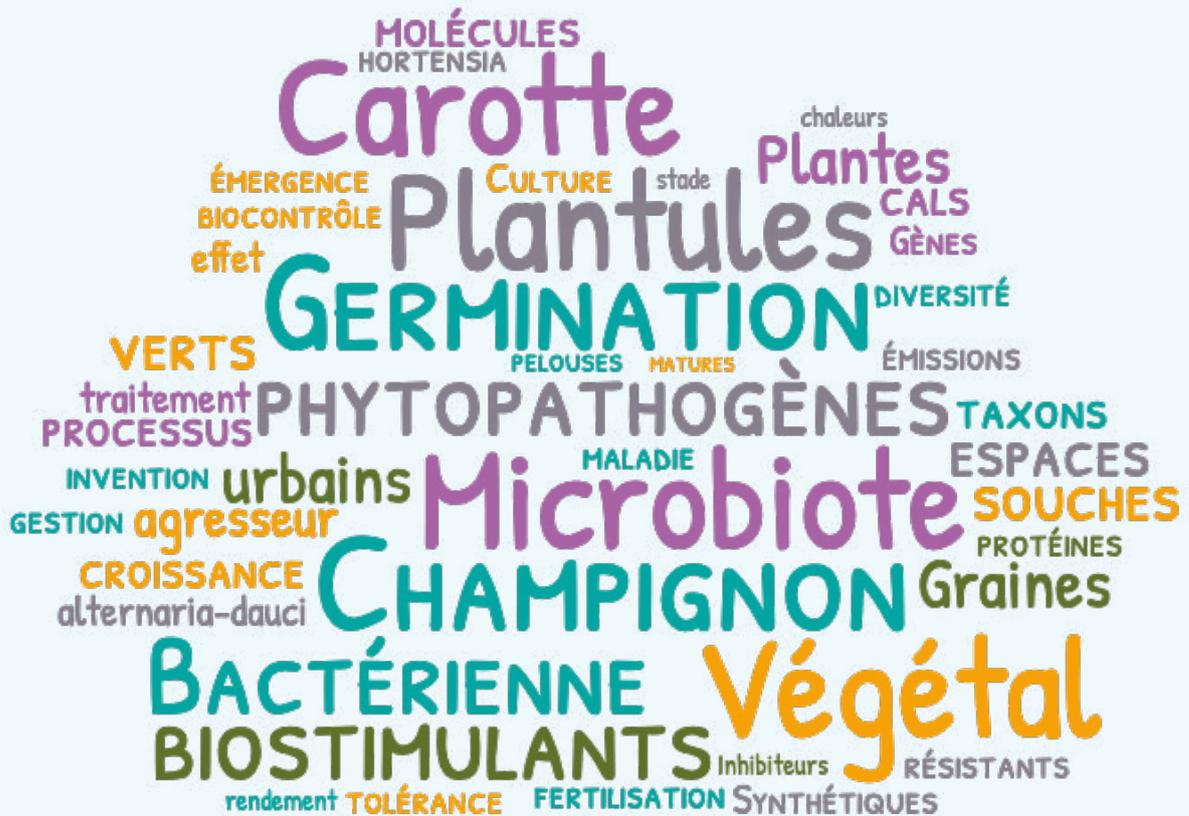
STREMHO | Stress et Mémoire des Plantes Horticoles

VALEMA | VaLorization of Epigenetic Marks in Plants

VADIPOM | Valorisation de la Diversité des Pomoïdées

SFR QUASAV

Structure Fédérative de Recherche Qualité et Santé du Végétal
ANGERS



Nuage de mots du rapport
Faits Marquants de la SFR QuaSaV 2022

Comité éditorial : Fabrice Foucher, Pascal Poupard, Valérie Raymond

Photos : INRAE, Agrocampus Ouest, Université d'Angers, Université de Nantes,
Université de Rennes 1, Esa, Geves, Anses, Végépolys Valley, RFI Objectif Végétal, Maël Baudin

Couverture : Mycélium de *Venturia inaequalis* à la surface d'une feuille de pyracantha. Les noyaux du champignon sont marqués par du iode de propidium (magenta) et les appressoria par de la WGA-Alexa488 (cyan). La barre d'échelle représente 10 µm. (© Maël Baudin)

www.sfrquasav-angers.org

SFR QUASAV
42 rue Georges Morel
49071 Beaucouzé Cedex