AGROBIOSCIENCES
INTERACTIONS ET
BIODIVERSITÉ
TOULOUSE OCCITANIE
25
ANS

LA FR AIB EN CHIFFRES

8	7	5	450	1603
personnels	plateformes technologiques propres ou associées	unités de recherche	personnes	publications en 5 ans

↑ Équipe de direction de la FR AIB : De G à D : Benoit Lefebvre (Directeur adjoint, LIPME), Monique Burrus (Directrice adjointe, EDB), Sophie Guilhem (Responsable adminsitrative, FR AIB), Christophe Roux (Directeur, LRSV).

Directeur de la publication : Christophe Roux
Rédacteur en chef : Gaël Estève (ComScience)
Comité de rédaction : Benoit Lefebvre, Monique Burrus, Christophe Roux, Gaël Esteve, Sophie Guilhem
Mise en page : Christine Lacouture
Impression : Imprimerie Escourbiac sur papier 100% recyclé
Crédits photos : Couverture - S. Pavel, Q. Gascuel, plateforme imagerie, M. Zouine, M.-C. Auriac, D. Tremousaygue, F. Regad, B. Dumas, A. Bottin, M. Chabaud, C. Pouzet, O. Coen, A. Fouquet, P. Balaresque, G. Esteve, L. Jacquin, M. Marchetti, O. Guillaume, C. Lauzeral
Portraits & infographies : G. Esteve

1996 2021

Voilà 25 ans que plusieurs laboratoires toulousains de biologie végétale, puis d'écologie, se sont regroupés pour accompagner des initiatives collectives et dynamiser les synergies entre thématiques, entre personnels des différents laboratoires.

D'abord Institut fédératif de recherche (IFR40), puis fédération de recherche, la FR AIB a contribué, durant ce quart de siècle, à façonner notre paysage scientifique. Illustration emblématique de l'effet levier qu'apporte aux laboratoires la structuration en fédération, cet anniversaire coïncide avec la construction du Pôle Agro Bio-Sciences d'Auzeville-Tolosane. Ce bâtiment, financé par le programme Plan Campus de l'Université de Toulouse et attribué à la FR AIB, accueillera fin 2022 plusieurs équipes des laboratoires de la fédération et les personnels des plateformes technologiques de la FR AIB.

À cette double occasion, nous souhaitons rappeler plusieurs étapes marquantes du développement de la fédération et croiser les points de vue d'acteurs actuels de la recherche qui construisent son avenir. Loin d'être exhaustive, cette mosaïque de textes a pour ambition de souligner la diversité des travaux scientifiques des laboratoires qui composent la FR AIB, l'originalité de cette structuration et la place singulière qu'elle occupe dans le paysage de la recherche toulousaine.

Nous remercions les personnes qui ont répondu favorablement à notre sollicitation de participation et comptons sur la bienveillance de toutes celles et ceux qui n'ont pu être invités à intervenir dans cet opuscule !

En vous souhaitant bonne lecture,

Christophe Roux,

Directeur de la FR AIB,
pour le comité éditorial

RETOUR SUR 25 ANS DE SYNERGIES

L'union fait la force.
C'est sur ce principe que le CNRS crée en 1992 les structures fédératives de recherches.

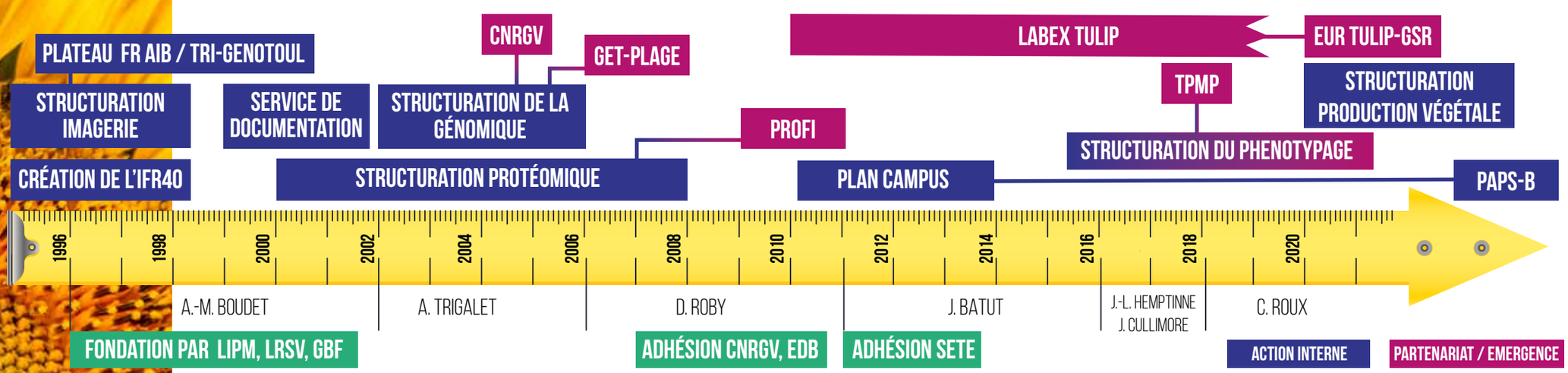
Véritable couteau suisse adapté à chaque site scientifique, les fédérations de recherche « regroupent en totalité ou en partie des structures de recherche ou de service, relevant du CNRS et d'autres organismes afin de coordonner leur activité scientifique et de mettre en commun tout ou partie de leurs moyens ».

C'est ainsi qu'en 1996 Alain Michel Boudet propose de créer l'IFR40, associant trois laboratoires de biologie des plantes ayant pour tutelles le CNRS, l'UT3, l'INRA et l'INP-ENSAT. Cette coordination et la volonté des fondateurs et des tutelles ont contribué à convaincre les élus de la Région Midi-Pyrénées que l'agriculture, deuxième secteur du PIB régional, nécessitait un regroupement des forces de recherche et de formation dans les domaines de l'agronomie et des biotechnologies végétales. L'Agrobiopole était ainsi créé au sud de Toulouse par des actions foncières impliquant notamment l'INRA, l'INP-ENSAT et l'Université Toulouse 3-Paul Sabatier et avec le soutien financier du Sicoval, de la Région Midi-Pyrénées et de l'Etat. Entre autres réalisations, le campus INRA d'Auzeville-Tolosane s'enrichissait en 1998 de l'arrivée de nouveaux partenaires avec la création du bâtiment Pôle de Biotechnologie Végétale (UT3/INP-ENSAT) qui héberge encore aujourd'hui la fédération.

En 2010, c'est au tour de Dominique Roby, Christian Boucher, Etienne Danchin et Jean Clobert de renforcer la démarche en étendant le périmètre de la fédération à deux laboratoires d'écologie, devenant la fédération de recherche Agrobiosciences, Interactions et Biodiversité (FR AIB, FR3450 CNRS/UT3). Enfin, à l'initiative de Dominique Roby, Christian Boucher puis Jacques Batut, le projet de construction du bâtiment PABS-B dédié à la FR AIB est lancé. Sa mise en œuvre prendra plus de 10 ans.

Tout au long de ces 25 ans, la construction de la fédération a été jalonnée de multiples initiatives collectives : la création de la bibliothèque FR AIB en 1998, la création ou l'incubation par l'IFR40 puis la FR AIB de plateaux technologiques à l'origine des plateformes actuelles (imagerie en 1996, protéomique en 2000, génomique en 2002, phénotypage en 2015). Au-delà de la synergie des moyens, les liens scientifiques induits par le regroupement en fédération ont contribué à l'essaimage des thématiques et à l'émergence de grands projets scientifiques communs comme le LabEx TULIP.

Quel avenir pour la FR AIB ? À l'heure où les transitions agricoles et environnementales deviennent des enjeux nationaux et internationaux majeurs, où la création de la Région Occitanie regroupe plusieurs Universités, où l'Université de Toulouse élabore son projet d'organisation de site, la structuration de nos laboratoires en fédération permet d'accompagner les évolutions thématiques, technologiques et de renforcer notre visibilité. Travailler les convergences, susciter une confiance réciproque entre partenaires, être à l'écoute pour assurer les meilleures conditions d'une recherche d'excellence : telles sont les ambitions de la FR AIB.



SUR LA PISTE DES TRACES ÉVOLUTIVES

FABRICE ROUX (LIPME) & PIERRE MARC DELAUX (LRSV)

Tout écosystème, prairie, champ cultivé, forêt ou bordure de route est composé de milliers d'espèces interagissant entre elles pour composer un fragile équilibre. Au premier plan se trouvent des espèces végétales qui, comme tout organisme vivant, doivent faire face aux changements globaux actuels. Or, ces lignées de plantes ont déjà eu à traverser des événements majeurs, impactant leur évolution et leur diversification et laissant une trace dans leur génome. Leur étude par les scientifiques révèle autant d'indices sur les évolutions passées que sur leurs capacités d'adaptation.

© Chrystel Gibelin-Viala

Afin d'étudier la capacité des communautés végétales à répondre aux changements actuels (réchauffement climatique, urbanisation, pratiques agricoles…), nous identifions les marqueurs génétiques de l'adaptation présente et passée, au sein d'une espèce ou entre espèces.

Étudier ces deux niveaux se révèle très complémentaire. D'une part, les différences phénotypiques et génomiques entre populations permettent de distinguer les processus neutres, liés au hasard, des processus adaptatifs, liés à une pression de sélection (climat, agents pathogènes, disponibilité en nutriments…). Ainsi, si la survenue d'une mutation permet à un individu de mieux s'adapter à son environnement, celle-ci aura de fortes chances d'être conservée et disséminée au sein de la population. D'autre part, comparer les espèces entre elles offre la possibilité d'identifier les différences clefs liées à leur évolution sur des périodes beaucoup plus longues, remontant jusqu'à leur dernier ancêtre commun. Si ces comparaisons semblent bien différentes, elles reposent pourtant sur une même méthodologie : séquencer et comparer des millions de bases nucléotidiques composant les différents génomes.

DES ÉVOLUTIONS RÉCENTES…

Dans une prairie en Bourgogne, nous avons suivi durant 8 ans l'évolution phénotypique et génomique d'une population d'arabette des dames, une plante commune de nos campagnes également employée comme modèle de laboratoire. En moins de 8 ans, un temps très court à l'échelle évolutive, la plante a fait preuve d'adaptation face à des effets liés au réchauffement climatique : hausse moyenne de la température de 1°C et intensification de la compétition entre espèces végétales. Par ailleurs, pour identifier les gènes d'adaptation à la présence d'autres espèces végétales sur un temps évolutif plus long (quelques centaines d'années), nous avons séquencé le génome de 168 populations d'arabettes localisées dans la région Midi-Pyrénées. Les traces de sélection identifiées sur certains gènes suggèrent une adaptation de cette plante à son réseau social végétal tout comme c'est le cas pour son interaction avec son microbiote.

…JUSQU'AUX ORIGINES

Ce type d'approche utilisée sur des espèces végétales très divergentes permet de remonter à une séquence génétique ancestrale, marqueur du dernier ancêtre commun. Ainsi, en comparant les génomes de plantes à fleurs (maïs, luzerne) à ceux de plantes dites non-vasculaires, ne possédant ni tige ni racines comme les mousses, il est possible de proposer une séquence hypothétique pour un ancêtre commun vivant il y a plus de 450 millions d'années. Or, cet ancêtre serait le représentant des premières plantes capables de s'affranchir du milieu aquatique, l'acteur à l'origine des écosystèmes terrestres d'aujourd'hui ! Un tel bouleversement ne se fait pas sans laisser de traces. Nos recherches ont identifié plusieurs dizaines de gènes qui autorisent des associations bénéfiques, symbiotiques, entre plantes et champignons. C'est donc probablement cette association qui aurait permis la colonisation du milieu terrestre.

De ces travaux comparant populations et espèces végétales, un consensus émerge : sur un temps court ou long, la capacité des plantes à interagir de manière efficace avec des membres de leur communauté (microbiotes & plantes) favorise leur résilience. Au-delà, d'une meilleure compréhension des processus qui ont permis aux plantes de s'adapter aux contraintes passées ou présentes, le défi actuel est de prédire les gènes qui seront sélectionnés afin que les espèces végétales puissent faire face aux changements globaux.

↑ *Canopée d'une forêt des Pyrénées dont l'ombrage estival garantit des conditions plus fraîches et humides aux espèces herbacées.*
© Romain Bertrand

CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET BIODIVERSITÉ

JÉRÔME CHAVE (EDB)

Les laboratoires d'écologie de la FR AIB, EDB et SETE, sont très impliqués sur les questions liées aux effets des changements climatiques sur la biodiversité, alors que d'autres travaux du LIPME et du LRSV portent sur l'impact du réchauffement sur la biologie des plantes. Jérôme Chave, directeur du laboratoire EDB, contributeur du rapport de l'IPBES en 2018 (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services), aussi surnommé « le Giec de la biodiversité », revient sur un constat partagé.

© Flash Dantz - Unsplash

© Mélanie Roy

L'utilisation massive des énergies fossiles a engagé l'humanité dans une « vaste expérience géophysique »[1]. Entre 1990 et 2019, les émissions globales de dioxyde de carbone (CO_2) ont presque doublé (de 22 Gt/an à 36 Gt/an[2]). Environ la moitié du CO_2 émis dans l'atmosphère y reste et sa concentration moyenne a récemment dépassé les 410 parties par million (ppm), contre 280 ppm avant l'ère industrielle. Les conséquences sur le climat sont une augmentation de la température moyenne de surface : déjà +0,8°C mais aussi une augmentation de la probabilité des événements extrêmes (étés anormalement chauds, fréquence des cyclones et tornades, risques de feux...).

L'impact le plus immédiat est sur l'homme. Les risques associés aux changements climatiques concernent la santé, le bien-être dans les espaces urbains mais aussi de nombreux secteurs économiques, en particulier l'agriculture et la foresterie, faisant peser sur eux des risques difficiles à quantifier. Le merlot, cépage emblématique du Bordelais sensible à la chaleur, pourrait ainsi laisser sa place au mourvèdre[3].

L'impact sur la biodiversité est moins facile à quantifier. L'une des manifestations les plus claires de l'influence du changement climatique sur les espèces sauvages est le déplacement de leur aire de répartition. Avec le réchauffement, les espèces tempérées tendent à se déplacer vers les pôles ou plus haut en altitude[4]. Une alternative est de s'acclimater aux nouvelles conditions environnementales, ce que semble faire le lézard des murailles lorsqu'il est soumis à des expériences de réchauffement[5]. Toutes les espèces n'ont cependant pas les mêmes capacités ni les mêmes opportunités pour répondre à ces changements climatiques. Si les conditions bioclimatiques nécessaires à ces espèces venaient à disparaître, elles n'y survivraient pas.

Les écosystèmes naturels tamponnent aussi les émissions fossiles. En effet, la moitié de ces émissions ont été piégées dans les écosystèmes terrestres et dans les océans[6]. La télédétection permet de quantifier la réponse des forêts aux changements environnementaux[7]. Un débat actuel concerne les meilleures stratégies pour manipuler les écosystèmes afin de favoriser leur effet tampon, le temps que les sociétés se décarbonent[8].

En conclusion, de telles « solutions fondées sur la nature » sont variées et s'appuient par exemple sur la reforestation de régions en déprise agricole ; la reconstitution d'habitats forestiers serait aussi avantageuse pour la conservation de la faune et de la flore sauvages.

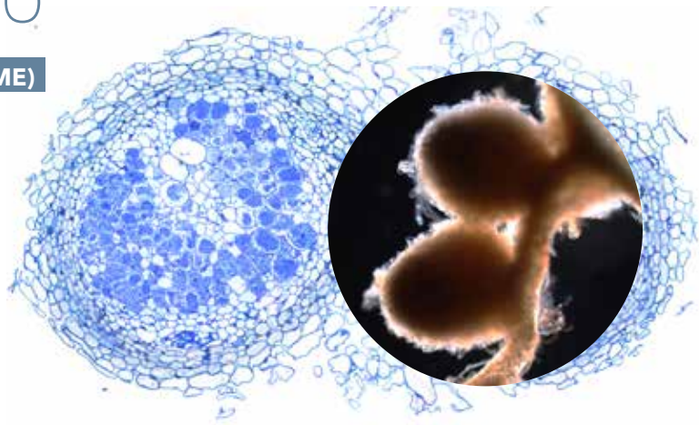
[1] Revelle R et al. (1965). Atmospheric Carbon Dioxide. Report of the Environmental Pollution Panel, Washington: White House, President's Science Advisory Committee, 126–127
[2] Note : 1 gigatonne (Gt) correspond à 10^{15} g
[3] Morales-Castilla I et al. (2020). Diversity buffers winegrowing regions from climate change losses. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 117, 2864-2869
[4] Lenoir J et al. (2020). Species better track climate warming in the oceans than on land. *Nat. Ecol. Evol.*, 4, 1044–1059
[5] Bestion E et al. (2017). Climate warming reduces gut microbiota diversity in a vertebrate ectotherm. *Nat. Ecol. Evol.*, 1, 1-3
[6] www.globalcarbonproject.org
[7] Fan L et al. (2019). Satellite-observed pantropical carbon dynamics. *Nat. Plants*, 5, 944-951
[8] Griscom BW et al. (2017). Natural Climate Solutions. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 114, 11645-11650

© Marta Marchetti

DIALOGUES MOLÉCULAIRES PLANTES-MICROBES

CHRISTOPHE ROUX (LRSV) & BENOÎT LEFEBVRE (LIPME)

L'étude des interactions entre plantes et microbes – bénéfiques ou pathogènes – est un des axes de recherche historiques des laboratoires de la FR AIB, et un thème de collaborations régulièrement soutenu par les actions de la fédération. Parmi les thèmes portant sur ces interactions biologiques, nous revenons plus spécifiquement sur l'identification de molécules intervenant dans un « dialogue » plante-microbe.

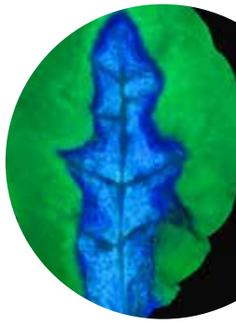


© Marta Marchetti

LES SYMBIOSES MUTUALISTES RACINAIRES : UN DIALOGUE PLANTE-MICROBE ANCIEN, DES QUESTIONS NOUVELLES

L'identification à Toulouse dans les années 1980 de molécules signalétiques essentielles pour la formation de nodosités sur les racines de plantes de la famille des légumineuses[1] a marqué l'identité du site. Ces molécules microbiennes, des dérivés de la chitine appelés lipo-chito-oligosaccharides (LCO), permettent à des bactéries transformant l'azote de l'air en nutriments assimilables par les plantes de rentrer dans les tissus racinaires pour former des nodosités. Dans les trois décennies qui ont suivi, les chercheurs toulousains ont montré que lors de la mycorhization – une autre symbiose racinaire mutualiste – les champignons mycorhiziens à arbuscules utilisaient des étapes de signalisation communes à la nodulation[2], en produisant également des LCOs[3]. Ces mécanismes de perception des LCOs seraient un des modules parmi un processus cellulaire plus général d'établissement des symbioses endocellulaires chez les plantes élaboré lors de leur terrestrialisation voilà 450 millions d'années[4]. Pour autant, nous sommes loin d'une compréhension holistique des dialogues moléculaires impliqués dans l'établissement des symbioses racinaires : de nombreux signaux dérivés de la chitine peuvent être perçus par les plantes, y compris venant d'agents phytopathogènes, et les microbes symbiotiques ne sont pas les seuls à produire des LCO[5]. Comme souligné par l'étymologie, le « dialogue » moléculaire n'a jamais été une « discussion à deux », mais une « parole à travers » le brouhaha moléculaire du sol. À suivre...

[1] Lerouge P et al. (1990). Symbiotic host-specificity of Rhizobium meliloti is determined by a sulphated and acylated glucosamine oligosaccharide signal. *Nature*, 344, 781-784
[2] Lévy J et al. (2004). A putative Ca2+ and calmodulin-dependent protein kinase required for bacterial and fungal symbioses. *Science*, 303, 1361-1364
[3] Maillet F et al. (2011). Fungal lipochitooligosaccharide symbiotic signals in arbuscular mycorrhiza. *Nature*, 469, 58-63
[4] Rich MK et al. (2021). Lipid exchanges drove the evolution of mutualism during plant terrestrialization. *Science*, 372, 864-868.



© Claudine Balagué

PIRATAGE CELLULAIRE ET CHEVAL DE TROIE : L'ODYSSÉE DES AGENTS PHYTOPATHOGÈNES

Une autre découverte toulousaine marquante porte sur les stratégies infectieuses des microbes par piratage cellulaire. Les bactéries pathogènes forment en effet des seringues moléculaires permettant l'injection de cocktails protéiques dans les cellules végétales[6,7]. Ces protéines microbiennes sont appelées des effecteurs dans le sens où elles affectent l'immunité cellulaire végétale ou leur métabolisme, facilitant ainsi l'entrée des agents pathogènes. Ces travaux ont ouvert un champ d'exploration sur les facteurs de virulence chez divers agents pathogènes et de résistance des plantes. En effet, parallèlement à la description des protéines effectrices produites par les agents pathogène, des protéines végétales de protection ont été identifiées[8], appelées protéines sentinelles. Celles-ci sont capables de détecter la présence des effecteurs microbiens, déclenchant des réactions de défense spécifiques contre les agents pathogènes qui les produisent. Les chercheurs ont aussi pu observer qu'à la fois les protéines effectrices, les cibles et les sentinelles co-évoluent en permanence dans une course aux armements entre les agents pathogènes et les plantes.

[5] Rush TA et al. (2020). Lipo-chitooligosaccharides as regulatory signals of fungal growth and development. *Nature communications*, 11, 1-10
[6] Arlat M et al. (1994). PopA1, a protein which induces a hypersensitivity- like response on specific Petunia genotypes, is secreted via the Hrp pathway of Pseudomonas solanacearum. *EMBO J.*, 13, 543-553
[7] Salanoubat M et al. (2002). Genome sequence of the plant pathogen Ralstonia solanacearum. *Nature*, 415, 497-502
[8] Le Roux C et al. (2015). A receptor pair with an integrated decoy converts pathogen disabling of transcription factors to immunity. *Cell*, 161, 1074-1088

LE DÉCRYPTAGE DE GÉNOMES

CHRISTOPHE ROUX (LRSV) & BENOÎT LEFEBVRE (LIPME)

Le séquençage de génomes entiers, initié dans les années 1990, a révolutionné la biologie et a permis, au travers des premiers organismes décryptés, l'essor de la génomique fonctionnelle. Cela a été le cas en biologie végétale avec l'arabette des dames (*Arabidopsis thaliana*), plante modèle étudiée dans les laboratoires de la FR AIB dans le cadre de travaux en développement des plantes ou en immunité végétale. L'évolution des techniques de séquençage haut débit élargi les possibilités d'études à de multiples autres espèces végétales et aux micro-organismes associés. Par son rôle « d'incubateur de projets », la FR AIB a accompagné cette révolution technologique.

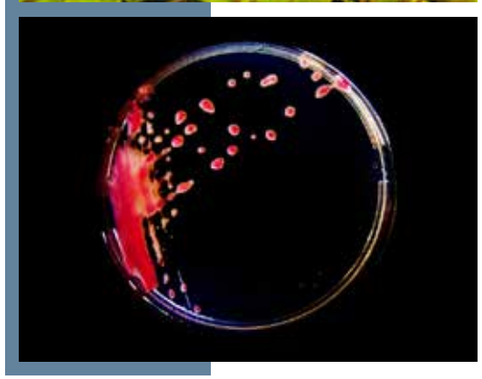
© Anirudh - Unspash

DES OUTILS...

Il en est du développement de la génomique comme de toute aventure humaine : il y a le temps des défricheurs puis celui des bâtisseurs.

La fédération, alors IFR40, a eu ce rôle pionnier en accueillant de 2002 à 2006 « la Génopole » dans ses murs et portant plusieurs projets d'équipement : robots pipeteurs, séquenceur (chimie Sanger), appareil qPCR, caryotypage. La Génopôle, alors dirigée par Laurent Gentzbittel, a été l'incubateur de la génomique toulousaine en biologie végétale et microbiologie. Depuis, sous l'impulsion d'INRAE, du CNRS, de la Région (Midi-Pyrénées puis Occitanie) et de l'Etat, cette activité pionnière, dont l'héritière est la plate-forme de séquençage GeT-PlaGe, a suivi l'essor considérable des technologies du séquençage de nouvelle génération (NGS).

↓ *Medicago truncatula* - LIPME



↑ *Ralstonia solanacearum* - LIPME

...AU SERVICE DES PROJETS

Si ce soutien technologique a été réalisé sur Auzeville-Tolosane, c'est que les travaux en génomique notamment végétale et microbienne y ont été importants. Ainsi les laboratoires de la FR AIB ont porté ou participé aux projets de séquençage de nombreux génomes dont ceux d'espèces végétales (luzerne tronquée, tournesol, tomate, eucalyptus…) et d'organismes pathogènes ou symbiotiques (*Ralstonia solanacearum*, *Sinorhizobium meliloti*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Aphanomyces euteiches*, *Rhizophagus irregularis*…) emblématiques des thématiques scientifiques des Unités de la fédération.

La combinaison des compétences des plateformes et unités de la fédération en séquençage, assemblage et annotations des génomes, a ainsi fortement marqué l'identité du site autour de la génomique végétale et microbienne, contribuant à la création du Centre National des Ressources Génomiques Végétales sur le site d'Auzeville Tolosane.

Si les premières versions des génomes des espèces citées précédemment, obtenues dès le début des années 2000 ont permis d'identifier des fonctions présentes dans des organismes de références, le développement des NGS permet désormais de réaliser des travaux de génomique comparative sur les génomes de nombreux génotypes d'une espèce, ou d'espèces différentes, y compris d'espèces moins étudiées ou au génome plus complexe (telles que l'olivier, les hépatiques, les protozaires ciliés…) et offre un champ d'investigation plus large encore : biologie du développement, adaptations à l'environnement, hypothèses évolutives, disséminations de populations, évènements de domestication…

Approche d'avenir, la métagénomique globale, encore au stade de développement, permettra de révolutionner l'étude d'un milieu en obtenant l'ensemble des gènes, l'hologénome, d'organismes en interaction. Histoire à suivre.

LA BIODIVERSITÉ RÉVÉLÉE PAR LA GÉNOMIQUE ENVIRONNEMENTALE

ANDRÉ PORNON (EDB)

La génomique environnementale, ou métagénomique, a révolutionné notre capacité à décrire la biodiversité et à comprendre le fonctionnement des écosystèmes et leurs réponses aux changements globaux.
Il est désormais possible de caractériser la diversité biologique grâce aux nouvelles méthodes de séquençage haut débit d'ADN environnemental (ADNe) issu par exemple d'un échantillon de sol, d'eau ou de fèces. Bénéficiant du savoir-faire de la plateforme génomique (GeT-PlaGe, GénoToul), les laboratoires de la FR AIB explorent de multiples questions biologiques mobilisant la génomique environnementale (GE).

© Nicolas Poulet

© image de fond : Freepik

STRUCTURE ET FONCTIONNEMENT DES RÉSEAUX D'INTERACTION

Décrire les multiples taxons et la complexité des réseaux fonctionnels d'interactions est, depuis longtemps, des défis majeurs de l'écologie mais aussi de l'agriculture et de la santé humaine.

Grâce à la GE, l'inventaire de la diversité taxonomique et fonctionnelle du sol, longtemps véritable boîte noire, a révélé l'importance des champignons et de leurs interactions dans divers écosystèmes ainsi que leurs rôles dans la facilitation entre plantes[1], dans la migration récente des espèces d'arbres et leurs réponses aux perturbations majeures (feu, défoliation, sécheresse).

De la même façon, l'identification par GE des espèces représentées dans le mélange de pollen extrait du corps des pollinisateurs permet une description bien plus fine et plus réaliste de la complexité des réseaux de pollinisation que les approches habituelles. Elle montre que les réseaux sont constitués d'espèces de pollinisateurs généralistes mais aussi de populations et surtout de pollinisateurs bien plus spécialisés et que le comportement des individus change avec la disponibilité en ressources[2].

[1] Nagati M et al. (2019). Facilitation of balsam fir by trembling aspen in the boreal forest: do ectomycorrhizal communities matter? *Front. Plant Sci.*, 10, 932

[2] Pornon A et al. (2016). Using metabarcoding to reveal and quantify plant-pollinator interactions. *Sci. Rep.*, 6, 27282.

IMPACTS DES ACTIVITÉS HUMAINES SUR LES PATRONS DE BIODIVERSITÉ

Caractériser et quantifier les impacts des activités humaines sur la biodiversité dans son ensemble impliquent une grande connaissance des espèces, de leurs liens phylogénétiques, de leur biologie et de leurs interactions.

Une simple filtration de l'eau de rivière permet de collecter de l'ADNe aquatique, provenant du renouvellement des cellules des animaux vivants ou de la décomposition des cadavres, de localiser les espèces aquatiques, parfois même les espèces terrestres vivant aux abords des cours d'eau, et d'inférer l'impact des activités humaines sur les patrons de distribution de la biodiversité à l'échelle des paysages[3].

Les sols sont de véritables fermenteurs microbiens dont l'activité est fortement impactée par les pratiques agricoles. Ainsi en maïsiculture, l'analyse métagénomique des sols révèle que le labour et l'absence de couvert végétal annuel réduisent fortement la diversité de microorganismes bénéfiques au maïs.

L'analyse métagénomique du contenu cloacal a révélé qu'un réchauffement climatique de 3°C (simulé expérimentalement au Metatron de la SETE - Ariège)[4] ou l'urbanisation[5] peut altérer la diversité du microbiote intestinal du lézard vivipare ou du moineau domestique, respectivement. Cette altération du microbiote a des conséquences négatives sur la survie des descendants de lézard ou sur les capacités des individus à répondre aux changements environnementaux chez le moineau.

[3] Coutant O et al. (2021). Amazonian mammal monitoring using aquatic environmental DNA. *Mol. Ecol. Res.*, 21, 1875-1888

[4] Bestion E et al. (2017). Climate warming reduces gut microbiota diversity in a vertebrate ectotherm. *Nat. Ecol. Evol.*, 1, 161

[5] Teyssier A et al. (2020). Diet contributes to urban-induced alterations in gut microbiota: experimental evidence from a wild passerine. *Proc. R. Soc.* B, 287, 2019.2182

LA MODÉLISATION GRANDEUR NATURE

MICHEL LOREAU (SETE) & CATHERINE CLERC (SETE)

À mesure que la population humaine et l'économie mondiale augmentent, les activités anthropiques engendrent des perturbations de plus en plus importantes des systèmes naturels. Comprendre et prédire les effets de ces perturbations est indispensable pour assurer la conservation de la biodiversité et l'utilisation durable des écosystèmes.

© Cyril FRESILLON / SETE / CNRS Photothèque

© Quentin BENARD - CNRS Photothèque

Le changement climatique et l'érosion de la biodiversité ont des impacts majeurs sur le fonctionnement et la stabilité des écosystèmes. Pour en comprendre les causes et les conséquences, élaborer des politiques de conservation et de gestion, la Station d'Écologie Théorique et Expérimentale (SETE) développe une approche intégrative combinant théorie et expérimentation.

Cette station unique en France étudie sur les liens entre les changements de la biodiversité, les interactions entre espèces, le fonctionnement des écosystèmes et la durabilité des interactions homme-nature.

Il est essentiel de comprendre le rôle de la variabilité spatiale et temporelle des systèmes écologiques dans leurs réponses aux perturbations d'origine anthropique. Celles-ci sont de plus en plus intenses et fréquentes, érodant la biodiversité par la destruction et la fragmentation des habitats naturels, des pollutions et du changement climatique.

Afin de mieux comprendre et prévoir la réponse des systèmes écologiques à ces perturbations, les chercheurs doivent élaborer de nouvelles approches théoriques et expérimentales qui examinent les mécanismes et les répercussions à long terme des différentes perturbations d'origine anthropique. Chaque échelle spatiale et temporelle se caractérise par des interactions spécifiques entre différents niveaux de complexité, des gènes aux individus, et des populations aux écosystèmes entiers, qu'il s'agit d'étudier au travers d'un processus de recherche complexe combinant développement de nouvelles théories et tests des nouvelles prédictions théoriques à l'aide de systèmes expérimentaux adaptés.

Les travaux théoriques menés à la SETE ont permis l'émergence et le développement d'un nouveau domaine de recherche sur les relations entre la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes, qui étudie la façon dont les changements de biodiversité influent sur le fonctionnement, la stabilité et les services des écosystèmes. La théorie développée dans ce domaine est à présent reconnue comme une théorie fondamentale et empiriquement validée en biologie, et qui est utilisée dans les politiques de conservation et de gestion à l'échelle mondiale. Toutefois, la plupart des études dans ce domaine ont été menées à de très petites échelles, tandis que la SETE cherche à étendre cette théorie à de grandes échelles temporelles et spatiales[1].

En complément de ce volet théorique, la SETE a conçu et développé toute une gamme de systèmes expérimentaux novateurs, en particulier des systèmes de mésocosmes. Ces systèmes, les métatrons, sont composés de cellules connectées entre elles afin de permettre des flux de matière et d'organismes dans un environnement contrôlé afin de mimer des environnements réels ou potentiels.

Les métatrons terrestre et aquatique de la SETE sont des systèmes expérimentaux uniques au monde destinés à tester les effets combinés du changement climatique et de la fragmentation des habitats sur les populations, les communautés et les écosystèmes. A l'aide de ces outils, les chercheurs ont pu par exemple démontrer que le changement climatique risquait d'entraîner l'extinction du lézard vivipare en accélérant son cycle de vie[2]. D'autres travaux ont pointé que la perte de la diversité des gènes dans une seule population pouvait avoir de puissants effets sur le fonctionnement d'écosystèmes entiers[3].

[1] Gonzalez A et al. (2020). Scaling-up biodiversity-ecosystem functioning research. *Ecol. Lett.* 23, 757-776
[2] Bestion E et al. (2015). Live fast, die young : experimental evidence of population extinction risk due to climate change. *PLoS Bio*, 13, e1002281
[3] Raffard A et al. (2018). The community and ecosystem consequences of intraspecific diversity: a meta-analysis. *Biol. Rev.*, 94, 648-661

REGARDS CROISÉS

La FR AIB représente un collectif de près de 450 personnes – étudiants, personnels contractuels et permanents – qui font de la recherche, de l'enseignement, qui ont des missions d'appui ou d'animation scientifique.

À l'occasion des 25 ans de la fédération, nous avons demandé à certaines d'entre elles d'évoquer leur regard sur leur parcours, leur environnement scientifique et, de façon plus générale, les métiers de la recherche.

© S. Guilhem

LE MILITANTISME OBJECTIF

LISA JACQUIN Maître de conférence à l'UT3 - EDB

Le rôle d'un scientifique est d'être objectif. Il est très important de garder une distance, de consacrer son énergie à la description et à la compréhension des mécanismes, même s'il s'agit de dégradation… car il y a maintenant consensus. Je travaille avec des assos militantes et pour elles on ne l'est pas assez alors que pour d'autres, au contraire, on l'est trop !

J'ai été plutôt agréablement surprise, EDB est un labo assez jeune, avec des thématiques allant des molécules aux écosystèmes, plus variées que là où j'ai débuté à Paris. Monter des collaborations entre laboratoires me semble aussi plus facile ici et m'a permis de développer très vite des projets. J'ai d'ailleurs été soutenue financièrement dès le début, il y a de nombreuses opportunités de financements des jeunes chercheurs et j'ai notamment eu une bourse de l'université de Toulouse puis un financement de la FR AIB en partenariat avec la SEEM. Cette collaboration se poursuit encore aujourd'hui.

Je me faisais une image de la recherche comme d'un travail très solitaire mais c'est tout le contraire ! On échange avec de nombreuses personnes et une grosse partie du travail est liée à ces interactions. Avec les nombreux appels à projet, l'évolution du métier nous pousse aux mises en concurrence collectives mais c'est aussi cette approche collective qui permet la mise en commun de compétences variées. Les interactions renouvellent les idées et l'interdisciplinarité en est le catalyseur. La multiplication des tâches est aussi une évolution pour pallier le manque de personnel de soutien. Nous sommes tous auto-entrepreneurs et cette tendance ne fait que se renforcer…

Les interactions renouvellent les idées.

Tout le monde peut faire de la recherche, cet univers compte de nombreux métiers. Il est facile d'y faire des stages et y rentrer relève beaucoup d'une question de persévérance.

Pour devenir chercheur, il faut être très mobile dans les premières années et après la thèse. Au moment du post-doc, il faut souvent partir à l'étranger et il est très rare de rester dans le même endroit du début à la fin de sa carrière. Cela tombe sur un moment difficile, autour de 25, 30 ans, où l'on balance entre vie pro et perso. Aussi, on fonde une famille souvent bien plus tard que les autres. C'est en revanche un métier dans lequel on est très libre dans la façon de s'organiser et de gérer son temps.

CE QU'IL FAUT DE DOUTES ET DE CHANCES

MÉLANIE RICH Post-doctorante au LRSV

En dernière année de lycée, j'ai eu un très bon prof de bio, c'est lui qui m'a influencée pour la suite de ma carrière. On ne peut cependant apprendre le fonctionnement de la science qu'en travaillant dans un laboratoire. En master, je n'étais plus sûre de vouloir continuer dans la recherche. Je savais le secteur avec peu de débouchés, précaire et, comparativement au privé, mal payé...Mais je me suis dit que même si ce n'était pas pour une vie, j'avais envie d'y aller… et suis partie en doctorat en Suisse.

Dans la recherche, si on remet toujours en doute les acquis scientifiques, on le fait moins pour sa carrière. Il faut toujours garder cette part de doute. Je trouve cela assez libérateur de me dire que je peux changer à tout moment. La recherche est un métier dans lequel il faut beaucoup s'investir. Si j'aime vraiment ce que je fais, ce n'est pas mon identité. Une identité construite uniquement autour du travail présente trop de risques. Je pense que, si plus de chercheurs avaient cette distance, cela ne ferait qu'améliorer notre qualité de vie.

En Suisse, la situation était différente : beaucoup plus de précaires, thésards comme post-docs étaient bien moins encadrés qu'ici. Les chercheurs qui en ont la responsabilité ne sont pas tenus à leur réussite ! Et j'ai eu une chance : je suis tombée sur un gène qui avait une histoire évolutive intéressante. Arrivée au terme de ma thèse, alors que je voulais prendre des vacances, une offre d'emploi est parue au LRSV pile sur cette thématique[1] ! On m'a fait une proposition que je ne pouvais pas refuser !

On m'a fait une proposition que je ne pouvais pas refuser !

C'est agréable de revenir dans un environnement avec plus de permanents et une dynamique hiérarchique et d'équipe différente. 20 personnes motivées, un vrai luxe ! Il y a plus de communication et d'échanges scientifiques d'égal à égal et c'est aussi grâce à la FR AIB qui assure l'animation scientifique. Il y a cependant un moment où l'on vise une meilleure stabilité et, dans le public, la loi Sauvadet limite les reconductions de CDD…

Bilan de mon parcours : je suis partie sur les aspects évolutifs complètement par hasard. Et cela m'a permis de rentrer en France et de poursuivre sur cette ligne qui se termine 4 ans plus tard avec ce papier dont je rêvais[2]…

© Julia Koblitz - Unsplash

[1] Poste chez Pierre-Marc Delaux, LRSV
[2] Rich M. et al. (2021). Lipid exchanges drove the evolution of mutualism during plant terrestrialization. *Science*, 372, 864-868

LE JUSTE ÉQUILIBRE

MATTHIEU ARLAT
Professeur à l'UT3 - LIPME | Coordinateur du LabEx TULIP

J'ai toujours été persuadé que l'université était là pour offrir des perspectives à des jeunes qui ne sont pas forcément bien insérés dans le système scolaire ou bien qui n'en ont pas bien compris les objectifs. C'est un endroit où chacun peut mûrir, sans être immédiatement soumis à une pression de sélection. On peut se révéler en licence 3 ! C'est pour moi tout le challenge : est-ce qu'il est possible de convaincre des jeunes qui se cherchent ? Si oui, à court terme, l'enseignement est finalement plus gratifiant que la recherche.

Ce ne sont pas forcément les meilleurs étudiants qui vont à l'université mais, dans leur travail, ils doivent le devenir et le deviendront. Le rôle de l'entourage joue beaucoup dans la réussite scolaire et professionnelle. L'université donne une chance à tous. D'un côté, je comprends que les filières deviennent plus sélectives car on ne peut pas continuer comme ça. La biologie / écologie attire beaucoup d'étudiants car elle suscite naturellement beaucoup d'intérêt et, évitant les maths et la physique, semble plus facile. Or, il n'y a pas d'adéquation entre l'offre d'emploi réelle et le nombre d'étudiants inscrits. D'un autre côté, n'est-ce pas aussi un problème de société qui ne donne pas assez de débouchés aux étudiants de cette matière ?

L'université donne une chance à tous.

Mon ambition pour le LabEx TULIP est de renforcer les liens entre laboratoires, trouver les plus-values au service, certes, de l'excellence, mais aussi de tous. Je ne crois pas au ruissellement et j'ai confiance dans les interactions entre chercheurs de différents horizons. Je souhaite qu'il y ait un sentiment d'appartenance, tout comme c'est le cas pour la FR AIB. Cette fédération est le « bras armé » du LabEx. En effet, le LabEx n'est pas une structure physique et ne peut posséder ni matériel, ni plateforme et ne peut faire construire de bâtiment… C'est un facilitateur. Il est là pour accélérer la politique scientifique des laboratoires avec toujours ce souci de maintenir une interface entre écologie et biologie mécanistique. Cependant, je pense que spontanément, même sans le Labex, avec l'agroécologie, cette interface serait naturellement apparue. Je veux que le site toulousain de la mécanistique et de l'écologie reste une référence au niveau national et international. Le Labex, la FR AIB et maintenant l'EUR supportent cette recherche et fonctionnent ensemble dans ce but… C'est primordial pour qu'il y ait un avenir et de belles carrières pour les jeunes chercheurs !

© UT3 Paul Sabatier

DE L'AUTRE CÔTÉ DU MIROIR

JEAN-PHILIPPE COMBIER
Chercheur CNRS au LRSV, co-fondateur de MicroPEP

micropep technologies

© Deposit Photos

J'ai travaillé sur les champignons, les plantes puis sur les maladies orphelines chez l'humain… 5 ans de post-docs en France, ce ne serait plus possible maintenant d'être recruté au CNRS ! Cela m'a permis de compléter mon panel expérimental. J'avais une variété de techniques assez large pour être utilisées avec n'importe quel modèle.

Avant mon recrutement, j'ai travaillé sur les microARNs et les peptides. J'ai toujours aimé décortiquer des mécanismes moléculaires, regarder là où l'on ne regarde pas forcément. Aussi, dès mon recrutement au LRSV, j'ai poursuivi ce travail et, pressentant qu'il y avait des applications possibles, j'ai contacté la cellule valorisation du CNRS, puis la SATT TTT[1]… ce qui a débouché sur les premiers brevets puis la publication dans *Nature*[2] en 2015. Avec Dominique Lauressergues, nous nous interrogions sur la suite : laisser tomber, trouver des entreprises pour faire une licence d'exploitation - mais nous étions trop en amont - et la troisième possibilité… c'était de créer une activité. Cela semblait une aventure, aussi sommes-nous dit : « Et pourquoi pas ? ».

J'ai toujours aimé décortiquer des mécanismes moléculaires.

Les investisseurs qui nous ont financés sont des fonds privés qui parient sur de nombreuses entreprises et font appel à des experts pour évaluer leur potentiel. Nous avons dû les convaincre ! Au côté de Thomas Laurent, notre porteur de projet, je jouais le rôle de la caution scientifique. En tant que chercheur, on est accompagné tout en étant extrêmement isolé. Les contrats peuvent être interprétés de tant de manières différentes. Il faudrait avoir un avocat, du conseil juridique ! Une fois la première levée de fonds obtenue, nous avons passé le cap de l'entreprise artisanale à la moyenne entreprise. Nous sommes 30 maintenant, avec tout le cadre légal que cela implique, et j'assiste aux réunions du conseil d'administration de MicroPEP. Ce sont des réunions où l'on apprend beaucoup, d'autant plus que le monde de l'entreprise est différent de celui de la recherche académique. On rend des comptes tous les mois aux investisseurs et, quand on parle de millions, aucun d'eux ne rate une réunion !

J'aime laisser mon esprit vagabonder, tester différentes hypothèses…. Il n'y a pas ce luxe dans la recherche privée, il faut des résultats immédiats. Pour autant la recherche publique n'est à mon sens pas moins productive, c'est que l'on a plus le loisir d'explorer. Moi, j'aime cette recherche qui explore de nouvelles pistes, tente des choses auxquelles personne n'avait pensé.

[1] SATT TTT : Toulouse Tech Transfer
[2] Lauressergues D et al. (2015) Primary transcripts of microRNAs encode regulatory peptides. *Nature*, 520, 90-3

© Cyril FRESILLON / SETE / CNRS Photothèque

POUR LA LIBERTÉ DE CHERCHER

DELPHINE LEGRAND Chercheuse CNRS à la SETE

Au début de ma carrière, je travaillais sur une espèce de drosophile effectuant tout son cycle de vie sur une ressource toxique pour la plupart des autres espèces. Ce type d'adaptations spectaculaires a tracé le fil rouge de ma carrière : mieux comprendre les mécanismes qui sous-tendent l'adaptation des organismes à leur environnement.

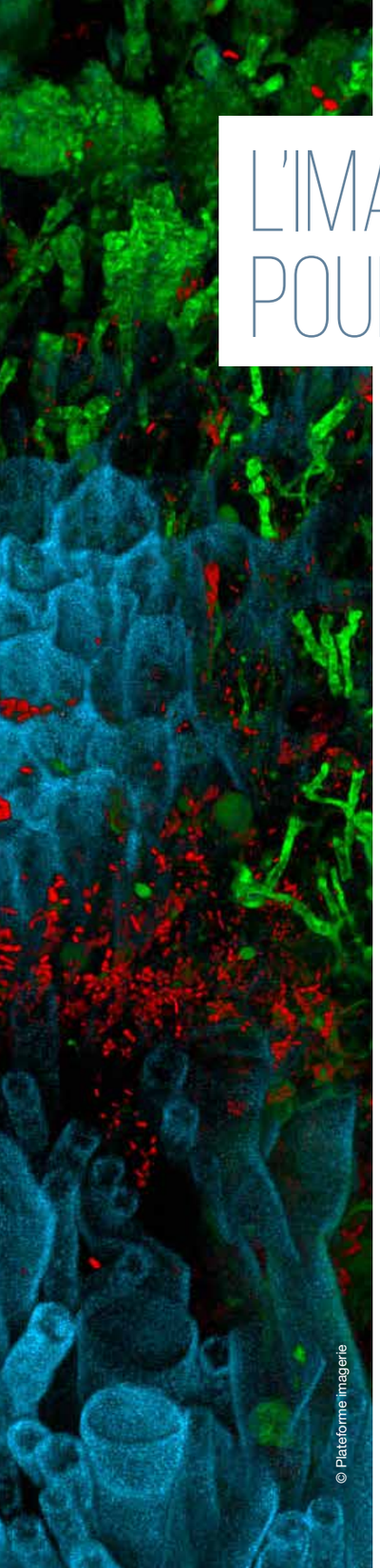
Je suis arrivée à Moulis par le biais de mon premier post-doc, partagé au départ avec Paris. Entre les deux, mon cœur a vite penché ! Moulis a l'avantage de disposer d'un panel unique de dispositifs expérimentaux permettant d'évaluer la réponse des organismes aux changements globaux… tout en étant situé au pied des Pyrénées. Pour bien réaliser son métier de chercheur, je pense qu'il faut être bien dans sa vie. Ce cadre me correspondait davantage que les grandes métropoles.

Il ne faut pas brider la créativité.

Alors que je conçois mon métier avant tout comme un enrichissement des connaissances sur le monde qui nous entoure, j'ai parfois l'impression que l'on attend de nous des solutions miracles. J'aimerais continuer à faire de la science pour mieux comprendre le monde qui nous entoure, sans qu'il n'y ait forcément de trajectoire prédéfinie pour mes recherches. Il ne faut pas brider la créativité car on ne peut prédire la direction à prendre… si ce n'est avoir une réflexion poussée sur la crise écologique que l'on traverse. Et ces questions me touchent autant en tant qu'individu qu'en tant que scientifique !

Moulis est un laboratoire isolé géographiquement mais pas scientifiquement. Je vis donc très bien ce relatif isolement car je vais régulièrement vers les structures du plateau toulousain et au-delà.

Dans la recherche, une idée peut bien sûr être à l'initiative d'un individu mais c'est à mon sens un métier de collaborations où beaucoup de projets émergent à l'occasion de rencontres informelles autour d'un repas ou dans un couloir ! La période Covid nous a poussés à n'entretenir que des échanges virtuels et planifiés alors que, dans les laboratoires de recherche comme dans toute structure, les échanges informels servent le formel. Les appels à projets de la FRAIB, malgré leurs financements modestes, contribuent à ce dynamisme à l'échelle scientifique régionale. C'est un espace de partage interdisciplinaire très stimulant qui permet de rencontrer et développer des projets avec des communautés d'horizons et de compétences différents.



© Plateforme imagerie

L'IMAGERIE VÉGÉTALE POUR FONDATION

Nous ne pouvions pas conclure ce livret sur les 25 ans sans rappeler la première pierre à l'édification de la fédération. En 1998, le CNRS ouvrait un poste pour l'imagerie cellulaire. Alain Jauneau prenait alors en main un plateau d'imagerie riche… d'un seul et unique microscope. 25 ans plus tard, la plateforme d'imagerie végétale est composée de trois personnels et ne compte pas moins de 22 instruments dont certains sont uniques…

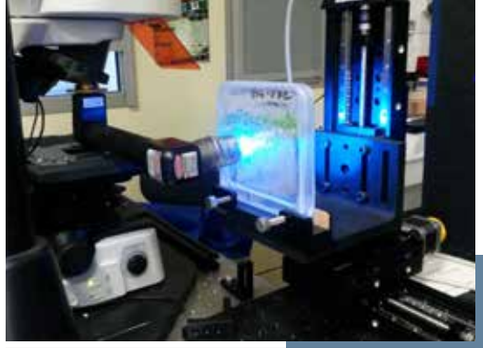
FONDATION

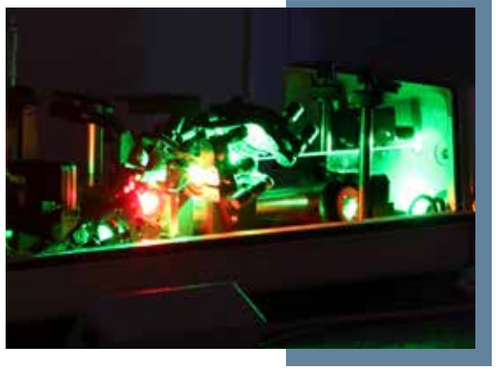
ALAIN JAUNEAU
-

« La première année, j'ai fait le tour des popotes, à recueillir les besoins des différents laboratoires. » témoigne Alain. Mais ce n'est que trois ans plus tard, en 2001, avec l'acquisition du microscope confocal qu'a lieu le réel « lancement de la fusée », comme il se plaît à dire. Dès lors, les utilisateurs ont convergé, sans cesse plus nombreux et, l'activité augmentant, personnels et matériels supplémentaires ont rejoint la plateforme à un rythme rapide mais réfléchi. En effet, bien décidée à jouer la carte du mutualisme jusqu'au bout, la plateforme déjà au service de plusieurs laboratoires, intègre naturellement le réseau Genotoul. En ligne de mire, éviter la redondance d'instruments dont les coûts d'acquisition et de maintenance ne cessent de grimper (plus de 300 000 € pour l'acquisition d'un microscope confocal…).

PLUS LOIN ENSEMBLE

De nombreux travaux de recherche requièrent l'observation des interactions moléculaires au sein des plantes. Avec le concours du constructeur Hamamatsu, Alain met en place un outil unique, le streak-FLIM permettant d'observer ces interactions en temps réel. Cependant, quand on demande à cet 'autodidacte' de l'optique, ce qui dans sa carrière le rend le plus fier, il vous répondra que ce n'est pas le FLIM, un instrument qu'il a conçu de ses propres mains, unique en Europe, mais bel et bien le succès de projets pour le collectif. Alain a créé la conjonction de plusieurs champs disciplinaires, a su former une équipe soudée dans une dynamique de centre qui a reçu l'appui des directions successives.





© G. Esteve

PASSAGE DE RELAIS

Un des enjeux agronomiques actuels est l'identification de produits de protection des plantes plus respectueux de l'environnement. Cette recherche requiert de cribler plusieurs milliers de microorganismes de bio-protection ou de molécules candidates pour évaluer leurs effets sur les maladies des plantes. Lauréate de plusieurs appels à projets, la plateforme, désormais dirigée par Cécile Pouzet, se dote d'équipements de haut débit répondant aux besoins du biocontrôle. *« Nous nous appuyons toujours sur les projets des chercheurs pour déterminer les équipements à acheter »* explique t-elle. Ainsi les instruments existants, tels que le FLIM, sont constamment améliorés, et de nouvelles technologies viennent enrichir les stratégies d'imagerie. L'arrivée prochaine d'un équipement de microscopie Raman stimulé offrira de plus la possibilité de visualiser des fonctions biochimiques sans marquage préalable.

CÉCILE POUZET
-

TRAVAILLER EN PLATEFORME

« Cela fait 14 années que le travail sur cette plateforme nourrit ma curiosité. Nous sommes toujours en train d'apprendre et de découvrir ! Les sujets changent, la recherche et les machines évoluent… mais le relationnel reste primordial ! »

Pour travailler sur une plateforme, il faut être polyvalent pour gérer de front facturation, maintenance des outils, gestion et bien entendu manips ou aide aux utilisateurs. Il faut savoir en permanence changer de sujet car, même si nous pouvons avoir des moments dédiés à la R&D, nous sommes avant tout à la disposition des utilisateurs pour les conseiller et les assister.

L'ARABETTE & LE TOURNESOL

Une arabette interpelait ainsi un tournesol :
« Vous prenez tout le soleil et je me désole »
« Poussez-vous donc de côté » répondit Helianthus,
« Que ne le dites-vous à ce grand Eucalyptus ? »
« Mais quelle démesure - insista dame arabette -
Je m'étonne encore qu'avec ma belle rosette
Et mes graines si rapides à récolter,
nous puissions être parfois comparées.
Il est bien plus facile de m'étudier :
calcium, ubiquitine, paroi, hydathode, immunité,
protéomique, génomique, microbiote et diversité,
D'apex à méristème, je suis analysée.
Mais vous ? Quel supplice pour ausculter
tous ces organes démesurés ! »
« Peut-être êtes-vous bonne à tout faire »
Lui répondit l'hélianthe d'un air sévère,
« Mais sachez que la génétique d'association
permet chez moi de déduire bien des utilisations »
« Cessez donc, je suis une modèle et non une subalterne,
Vous ne valez guère mieux que tomate et luzerne. »
« À chacune ses talents »
rétorqua le grand élégant,
« cette dernière accueille nodules et mycorhizes,
or vous n'avez la solitude que pour seule devise »
« La belle affaire », se renfrogna dame arabis,
« J'ai pour moi des poils absorbants bien fournis.
Je n'ai que faire de ces symbiotes encombrants
si difficiles à dompter et parfois bien gourmands. »

Ainsi devisaient nos deux plantes sur les intérêts
que des chercheurs de la FR AIB pouvaient leur porter.
Querelle d'une grande indigence,
car en toute chose comme en sciences,
les découvertes viennent des différences.

JEUDISCIENCES

VULGARISER POUR MIEUX PARTAGER

Conçu pour être accessible à tous (administratifs, techniciens, chercheurs), ce cycle de conférences propose de découvrir un sujet de recherche d'actualité avec ses enjeux et son contexte.

AGROBIOSCIENCES
INTERACTIONS ET
BIODIVERSITÉ
TOULOUSE OCCITANIE

RETROUVEZ-NOUS !

Fédération de Recherche AIB 3450
24 chemin de Borde Rouge - Campus INRAE
31320 Auzeville

www.fraib.fr

TUTELLES

PARTENAIRES

LABORATOIRES MEMBRES