

LA VIE SECRÈTE
DES PLANTES ET DES ANIMAUX
L'INRA AU SIA 2019





LA VIE SECRÈTE DES ANIMAUX

LES ABEILLES, CHAMPIONNES DE LA MANIPULATION -----	5
LA TIQUE, VOYAGEUSE IMMOBILE-----	5
MONDIALISATION : LES INSECTES RAVAGEURS ADORENT! -----	6
ANTICIPER ET PRÉVENIR LA MENACE-----	6
DE L'INTELLIGENCE DES POULES... -----	6
DU RIFI FI DANS LA PORCHERIE -----	7
LES PORCS DONNENT DE LA VOIX!-----	7
DOMAINE EXPÉRIMENTAL DE LA FAGE - 1 000 BREBIS À L'ÉTUDE! -----	7
LES BÉNÉFICES DES INTERACTIONS ANIMALES -----	8
COMMENT LA VACHE PERÇOIT LE MONDE?	
UNE HISTOIRE DE RELATION HOMME-ANIMAL -----	8
L'INFLUENCE DU LAIT MATERNEL SUR LA CROISSANCE DES PETITS-----	9

2

LA VIE SECRÈTE DES PLANTES

LA GRAINE, UN SYSTÈME D'UNE RARE COMPLEXITÉ -----	11
LES PLANTES DE SERVICE, DE PRÉCIEUX AUXILIAIRES DE CULTURE -----	11
CE QUE VOIENT LES PLANTES -----	11
LES PLANTES INTERAGISSENT... ET C'EST FORMIDABLE -----	12
LA PROPRIOCEPTION CHEZ LES PLANTES -----	12

3

PLANTES, ANIMAUX, MICROBES: DES MONDES EN INTERACTION

MALIN COMME UN VIRUS -----	14
SALMONELLE, UNE CHAMPIONNE DE L'INFILTRATION -----	14
LA TRUFFE, PRÉCIEUX CHAMPIGNON SYMBIOTIQUE -----	15
LA ROUILLE DU PEUPLIER FAIT FI DE TOUTE RÉSISTANCE -----	15
LÉGUMINEUSES ET RHIZOBIUM: UNE SYMBIOSE MUTUALISTE -----	16
LA CHENILLE, SENSIBLE AUX ODEURS -----	16
QUAND L'ABEILLE SE REBIFFE -----	16
LE SENS DU SACRIFICE -----	17
LES MOLÉCULES DE LA PAROLE -----	17
LE VERGER ROND DE GOTHERON -----	17





1

LA VIE SECRÈTE DES ANIMAUX

Qu'ils aient deux, quatre, six ou huit pattes, qu'ils pèsent quelques dixièmes de grammes ou plusieurs centaines de kilos, qu'ils possèdent un cerveau énorme ou minuscule, les animaux ne cessent d'étonner, voire d'émerveiller les chercheurs qui les étudient. Et à l'Inra, pas de jaloux, tous ont droit à la même considération. La génomique, l'élevage de précision ou l'analyse du comportement contribuent à une meilleure connaissance des animaux d'élevage, condition essentielle à l'amélioration de leur bien-être et de celui des hommes qui s'en occupent. Parasites et bioagresseurs sont scrutés avec la même attention, mais avec cette fois le souci de réduire l'impact négatif qu'ils peuvent avoir sur l'environnement et la santé humaine et animale.

LES ABEILLES, CHAMPIONNES DE LA MANIPULATION

Approchez de la ruche (avec prudence, bien sûr) et ouvrez-là. Les habitants sont en pleine forme et il se dégage un délicat parfum de miel, de cire et de propolis. C'est à peu près tout ce que peuvent percevoir vos récepteurs olfactifs. Et pourtant, l'air de la ruche est saturé d'odeurs qui sont autant de voies de communication entre les individus et dont l'action combinée est essentielle à l'équilibre et la bonne santé de la colonie. Ces substances chimiques, dont certaines très volatiles, sont les phéromones, et toutes les abeilles en émettent pour interagir avec leurs congénères. Ou les manipuler. On sait depuis longtemps que la reine produit une phéromone qui inhibe le développement des ovaires des ouvrières et que les larves en utilisent pour indiquer aux nourrices la nature des soins qu'elles requièrent tout au long de leur développement. Les butineuses de leur côté peuvent retarder la maturité des jeunes ouvrières afin qu'elles s'occupent des tâches intérieures, plutôt que de partir récolter le pollen. Les larves sont aussi capables d'une telle manipulation. Mais, comme les chercheurs de l'Inra l'ont découvert récemment, elles peuvent aussi émettre une molécule volatile, l'ocimène, qui en plus d'inhiber le développement des ovaires, comme le fait la reine, va forcer les nourrices à devenir butineuses si les besoins en nourriture deviennent prioritaires. Ce phénomène illustre bien la plasticité des abeilles, qui peuvent changer de rôle à des stades plus ou moins avancés de leur existence, pour répondre aux exigences de la colonie.



LA TIQUE, VOYAGEUSE IMMOBILE

Tout le monde connaît les tiques. Et pour cause, ces acariens présents partout en France sont avec les moustiques, les principaux vecteurs de pathologies transmissibles à l'homme. À commencer par la maladie de Lyme, en progression sur l'ensemble du territoire. Mais les animaux, et notamment les bovins, ne sont pas épargnés. Lors de leur repas de sang, les tiques peuvent leur transmettre un parasite responsable de la piroplasmose, une pathologie proche du paludisme et potentiellement mortelle. Mais comment cet acarien, à la mobilité réduite et privilégiant l'humidité des milieux forestiers, parvient-il à planter son rostre dans le cuir d'une vache en pâture ou dans le mollet d'un randonneur en rase campagne ? Eh bien en faisant de l'animal-stop ! Au cours de sa vie, la tique doit effectuer trois repas de sang pour passer de la larve (presque un adulte en miniature) à la nymphe, puis au stade adulte. Et pour cela, elle s'agrippe, suivant sa taille, à de petits animaux tels que les rongeurs et les oiseaux, ou à de plus grands mammifères, par exemple les cervidés, dont certains peuvent héberger les agents pathogènes qui la contamineront. Or, ces animaux sont capables de parcourir de très longues distances, favorisant la dissémination des tiques qu'ils transportent bien malgré eux. D'autant que le repas de sang peut durer longtemps : plus de dix jours pour les femelles adultes ! Le projet OSCAR, mené de 2012 à 2016, s'est efforcé d'évaluer le rôle de la faune sauvage et de l'organisation des paysages dans la dynamique des populations de tiques. Il s'est aussi attaché à mesurer la densité de tiques infectées dans les différents milieux. L'étude mise en place dans deux grandes zones (Bretagne et Vallons et Coteaux de Gascogne) comprenait près de 1 800 points d'échantillonnage répartis dans trois types d'habitats : forêts, lisières des bois et haies bordant les prairies. Des milliers de tiques ont été prélevées sur le terrain, mais également sur les micromammifères et chevreuils, ces derniers ayant en outre été munis de colliers GPS afin de mesurer leurs déplacements. Les analyses ont ainsi montré que 2 à 5 % des tiques et micromammifères étaient porteurs de pathogènes. L'étude a également mis en avant l'impact du paysage agricole dans la dissémination des acariens. Ceux-ci, par exemple, sont davantage présents dans les prairies bordées de haies hautes et denses que dans les champs dépourvus de ce type de végétation. Des analyses statistiques ont permis d'estimer le nombre de tiques et d'hôtes présents dans un milieu, en fonction de sa nature et sa localisation par rapport aux milieux adjacents et aux variables climatiques. Et un logiciel permet dès à présent de générer des paysages virtuels et ainsi mesurer l'impact des changements dans la structure du paysage, par exemple l'ajout de haies ou la diminution des surfaces forestières dans la densité et la propagation des tiques.

UN GÉNOME GRAND COMME ÇA !

Parce qu'on ne combat bien que ce qu'on connaît bien, l'Inra pilote deux grands projets de génétique dédiés à l'étude de la tique. Le projet GenLric, en collaboration avec le Génomuscope à Evry, s'efforce de séquencer le génome complet de la tique *Ixodes ricinus*, vectrice de la maladie de Lyme. Et c'est un sacré challenge, car sa taille est presque aussi importante que celle du génome humain ! Cette connaissance accrue de l'embarrassant acarien ouvrira la voie au développement de nouvelles méthodes de lutte, ainsi qu'à la mise au point de traitements médicaux à l'attention de l'homme et des animaux. De son côté, Xenobio-TICK vise à constituer un catalogue exhaustif des neurorécepteurs exprimés au niveau du « cerveau » de ces acariens (synganglion). Le but consiste à identifier ceux qui sont spécifiques à l'animal afin de développer des acaricides les ciblant exclusivement. Eh oui, il ne faudrait pas que ces nouveaux produits menacent le reste de la faune, à commencer par les insectes qui partagent son biotope et dont certains, comme les bousiers par exemple, sont particulièrement utiles !



MONDIALISATION : LES INSECTES RAVAGEURS ADORENT !

Saviez-vous que le commerce mondial des plantes d'ornement était en 2007 responsable de 53 % des arrivées d'insectes exotiques en provenance d'un autre continent ? C'est un fait, tous les êtres humains aiment les fleurs, plantes en pot, arbustes et arbres qu'ils vont chercher dans la région voisine, ou à l'autre bout du monde. Mais le souci, c'est que ces végétaux ne viennent pas forcément seuls. Il arrive que des passagers clandestins les accompagnent et s'éclipsent discrètement à leur arrivée, avec des conséquences parfois dramatiques. Une statistique illustre l'ampleur du phénomène : 70 % des insectes ravageurs introduits en France métropolitaine entre 2005 et 2014 ont voyagé sur des plantes d'ornement ! La moitié d'entre eux en provenance d'Asie. Dans leur pays d'origine, les dégâts qu'ils causent sont rarement préoccupants car leurs prédateurs naturels se chargent d'en limiter le nombre. Mais en France, rien ne vient entraver leur expansion. La pyrale du buis, introduite accidentellement en Europe en 2007, sans doute en même temps que des pieds de buis provenant de Chine, est un exemple frappant de ce phénomène qui s'est amplifié ces dernières décennies avec la mondialisation des échanges. Mais le plus préoccupant, c'est que les insectes se propagent aujourd'hui bien plus vite que par le passé. En cause, l'effet que les scientifiques qualifient de « tête de pont » au cours duquel une population de ravageurs nouvellement établie dans un lieu donné sert de source à de nouvelles introductions. Ces insectes, transportés accidentellement, parfois sur de grandes distances, atteignent ainsi des territoires indemnes bien plus vite que s'ils avaient dû s'y rendre par leurs propres moyens. Plateformes d'import-export, pépinières et grandes surfaces de jardinerie constituent un réseau de dissémination idéal. S'agissant de la pyrale, sa dissémination fulgurante était inévitable, sachant que les Français achètent chaque année deux millions de pieds de buis qui ne proviennent que d'une poignée de centrales d'achat ! Une fois introduite dans nos villes et villages, elle n'a pas eu de mal à trouver le chemin de nos forêts et la pyrale menace à présent l'ensemble des buxiers sauvages.

ANTICIPER ET PRÉVENIR LA MENACE

La lutte contre les ravageurs constitue l'une des priorités de l'Inra. Piégeage à base de phéromones, lutte bactériologique, usage de parasitoïdes, gestion paysagère..., tous les moyens alternatifs aux produits phytosanitaires de synthèse sont à l'étude pour tenter de les contrôler. Avec déjà des résultats encourageants, notamment contre la processionnaire du pin qui profite du réchauffement climatique pour s'étendre vers le Nord, ou encore le cynips du châtaignier arrivé récemment dans le Sud de l'Europe. Mais la prévention se révèle tout aussi essentielle pour anticiper l'arrivée de nouveaux insectes phytophages. Dans cette optique, l'Inra, en collaboration avec la Chine, a installé dans ce pays d'où proviennent la plupart des insectes exotiques, des plantations d'arbres européens, ou « plantations sentinelles ». Objectif, observer le comportement des insectes phytophages locaux et évaluer le degré de menace de chacun d'eux, en cas d'introduction sur le territoire européen. Un laboratoire, associant l'Inra et deux organismes scientifiques chinois, a été créé en 2018 afin d'exploiter ces données et définir des mesures préventives.

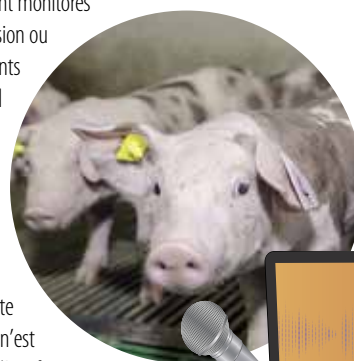
DE L'INTELLIGENCE DES POULES...

Les éleveurs de poules pondeuses en ont fait le constat. Parmi les individus qu'ils reçoivent en provenance de différents fournisseurs, certains trouvent sans difficulté nichoirs et mangeoires, tandis que d'autres au contraire peinent à appréhender leur nouveau milieu. Or, une poule pondeuse qui ne parvient pas à s'adapter à son environnement risque de développer un mal-être qui nuira à sa productivité. Il est donc essentiel de comprendre la façon dont un animal apprend et traite les informations, comment il analyse et interprète son environnement, de manière à concevoir des systèmes d'élevage adaptés. C'est tout l'enjeu des travaux menés par l'équipe Cognition, Éthologie, Bien-être animal de l'Inra Val de Loire. Les chercheurs développent des méthodologies permettant d'évaluer les capacités cognitives des animaux d'élevage, de la poule jusqu'au cheval, dans le but de mieux appréhender leurs besoins. Déjà, une expérimentation menée sur les cailles japonaises a montré que les animaux d'un naturel peu émotif sollicitaient des systèmes de mémoire simples. Concrètement, ils ne repéraient la nourriture dans l'enclos qu'en se basant sur la couleur de la mangeoire. Les cailles, plus émotives en revanche, faisaient appel à la mémoire spatiale, plus complexe d'un point de vue cognitif, et retrouvaient l'emplacement de la mangeoire, sans se soucier de sa couleur. Ce sont elles qui, *a priori* plus curieuses, s'adapteront le mieux à un nouvel environnement. Mais doit-on pour autant négliger les autres ? Non, évidemment, d'où l'importance d'adapter le système d'élevage aux traits de caractère et à « l'intelligence » de chaque individu afin de favoriser leur bien-être et leur adaptation.



DU RIFI DANS LA PORCHERIE

Peut-on surveiller individuellement le comportement d'un seul porc au sein d'une porcherie comptant plusieurs centaines d'individus ? Oui, grâce à l'élevage de précision. Apparu à l'aube du 21^e siècle, ce concept met en avant l'usage des nouvelles technologies pour conférer à l'éleveur un suivi individualisé de ses animaux et lui permettre de repérer très rapidement les signes de mal-être. Dans les élevages, certains porcs, confrontés à la promiscuité ou naturellement bagarreurs, peuvent se montrer agressifs, et par exemple mordre la queue des autres pensionnaires. Il convient de détecter au plus tôt ces comportements déviants qui entraînent un mal-être des animaux et affectent la productivité. C'est tout l'objet des travaux menés conjointement par l'Inra et le CEA, dans le cadre du projet européen Pigwatch. Depuis deux ans, les chercheurs travaillent à la conception d'un dispositif permettant d'automatiser la détection des comportements délétères. Le système repose sur un accéléromètre fixé à l'oreille du porc qui mesure les mouvements de chaque animal du groupe. Les données sont transmises à un logiciel qui les analyse en temps réel. Tous les individus sont monitorés simultanément. Ainsi, si deux accéléromètres s'affolent en même temps, on a sans doute affaire à une agression ou une bagarre. L'algorithme est encore en phase d'apprentissage mais déjà les résultats sont très encourageants puisque le logiciel identifie avec justesse près de 50 % des comportements agressifs. Une fois au point, cet outil permettra à l'éleveur, prévenu par l'envoi d'un SMS, d'agir très rapidement.



LES PORCS DONNENT DE LA VOIX !

L'éleveur attentif sait reconnaître à l'oreille la nature des sons émis par ses cochons. Mais parfois, une plainte peut être masquée par les grognements des autres animaux ou un engin qui s'active, ou se produire alors qu'il n'est pas là... Pourtant, les porcs expriment un grand nombre d'émotions par leurs vocalises, douleur, joie, peur, colère, frustration, en plus de donner de la voix pour appeler les copains ou leur mère, ou encore informer les autres de leur gabarit. Afin de les écouter, les trier et repérer les sons qui traduisent un mal-être ou un bien-être, les chercheurs de l'Inra impliqués dans le projet européen Soundwel, comptent sur l'intelligence artificielle (IA). Et plus précisément sur les réseaux de neurones. En clair, ils vont communiquer à l'ordinateur les données qui lui permettront d'apprendre par lui-même à identifier, sans l'ombre d'un doute, la nature de n'importe quelle vocalise. Et ces données, ce sont plus de 50 000 sons traduisant les différentes émotions du porc, que les chercheurs des cinq pays du projet ont réunis dans une base de données. Charge pour l'IA de les écouter, les comparer, les classer afin d'être capable, à terme, d'identifier, y compris dans le brouhaha d'une porcherie, la nature du moindre son suspect mais aussi positif, auquel un être humain, même attentif, n'aurait peut-être pas prêté attention.



DOMAINE EXPÉRIMENTAL DE LA FAGE 1 000 BREBIS À L'ÉTUDE !

À La Fage, chercheurs et techniciens sont aux petits soins pour les 1 000 brebis laitières et allaitantes réparties sur les 380 ha de ce domaine expérimental unique en Europe. Situé à 800 mètres d'altitude sur le Causse du Larzac, ce site exceptionnel accueille 600 brebis laitières Lacaune, la race laitière la plus répandue en France, et la seule autorisée dans le cadre de l'AOP Roquefort. Jusqu'aux années 80, chercheurs et sélectionneurs se sont efforcés d'améliorer la productivité de ces animaux mais au détriment de la qualité du lait, marquée par une diminution des taux de matière grasse et de protéine. Mais, grâce aux efforts réalisés depuis une trentaine d'années, la tendance s'est inversée, au point qu'aujourd'hui on a retrouvé la qualité du lait d'après-guerre... avec des quantités presque cinq fois supérieures ! Désormais, les recherches visent à améliorer la santé et la robustesse des brebis, notamment grâce à l'étude des gènes et de leur fonction (génomique). Déjà, l'Inra a identifié un gène majeur qui intervient dans la résistance aux mammites. Cette découverte permettra de sélectionner les brebis sur ce critère. Le comportement des animaux face aux aléas climatiques est aussi étudié. Chez certains, ces épisodes entraînent une baisse de la production de lait, qui ne retrouvera jamais son niveau normal. D'autres brebis, au contraire, confrontées aux mêmes conditions, ne sont affectées que temporairement. Quels sont les gènes impliqués dans cette résistance, et les mères les transmettent-elles à leurs filles ? Là encore, ces travaux contribueront à sélectionner des lignées plus robustes et aptes à faire face au changement climatique. On le voit, les brebis sont plus mystérieuses qu'il n'y paraît. Ainsi, pour produire une même quantité de lait, certaines ont besoin de plus de nourriture que d'autres. En clair, elles ne valorisent pas avec autant d'efficacité les aliments consommés. Les chercheurs mettent maintenant au point des dispositifs expérimentaux qui permettront de mesurer l'efficacité alimentaire afin, vous l'aurez compris, de sélectionner les brebis les plus performantes. Tout cela paraît finalement assez simple. C'est au contraire extrêmement complexe car la brebis parfaite, à la fois très robuste, productive et résiliente, n'existe pas. Toute la difficulté consiste à trouver le bon équilibre, de manière à permettre à l'éleveur de dégager un revenu correct de son activité, tout en préservant le bien-être et la santé de l'animal.





LES BÉNÉFICES DES INTERACTIONS ANIMALES

Les animaux d'élevage entretiennent des relations sociales avec leurs congénères. Mieux, les chercheurs n'hésitent plus à évoquer les « liens d'amitié » qui peuvent se tisser entre des individus. Mais ce sont les relations entre la mère et son petit qui sont les plus fortes. À l'Inra, les chercheurs tentent de comprendre dans quelle mesure les animaux se reconnaissent et quelles conséquences entraînent l'absence ou la disparition d'un partenaire. Ils étudient notamment la relation d'attachement qui se construit, à travers le temps, entre la brebis et son agneau. On sait que la mère qui vient de mettre bas peut accepter un autre petit que le sien. C'est ce comportement qui permet à l'éleveur de lui confier un agneau de substitution en cas de perte du premier, ou de lui en confier un second, s'il l'estime capable de s'en occuper. Mais cette opération ne peut s'effectuer que dans un laps de temps très court, au plus tard quelques heures après l'agnelage. Passé ce délai, la mère, qui a mémorisé l'odeur de son petit, adopte un comportement sélectif qui la pousse à rejeter les autres agneaux. Ainsi, les orphelins, ne pouvant être placés près d'une brebis, devront être nourris au lait artificiel. Mais les observations montrent que nombre de ces animaux développent une forme de mal-être, souffrent de diarrhées, en plus de connaître une mortalité plus importante. Ce qui confirme le rôle de la mère dans le bien-être et la santé du petit. En Roumanie, un éleveur a rapporté que des orphelins, allaités artificiellement mais placés auprès de brebis adultes, présentaient une santé bien meilleure que ceux élevés à l'écart du troupeau. Les chercheurs de l'Inra ont donc mis en place un protocole de test afin d'observer ce comportement. Eh bien ça marche ! Bien sûr, les adultes refusent d'allaiter ces petits inconnus et peuvent même se montrer assez fermes à l'encontre des plus insistants. Mais rapidement, la situation s'apaise, et après quelques jours, on observe que les « nounous » interagissent spontanément avec les agneaux et semblent en retirer du bien-être. Les agneaux aussi, qui montrent des signes de bonne santé tels que l'absence de diarrhée et la propreté du pelage. Un nouveau programme de recherche vise maintenant à tester ce scénario en collaboration avec les éleveurs de chèvres laitières dont les petits sont systématiquement séparés de leur mère à la naissance. L'idée consiste à placer les chevreaux allaités artificiellement aux côtés de chèvres non allaitantes afin d'observer les bénéfices de ces interactions. Si l'expérience est concluante, la méthode, très simple et peu coûteuse à mettre en place, pourrait être transposée en élevage.

COMMENT LA VACHE PERÇOIT LE MONDE ? UNE HISTOIRE DE RELATION HOMME-ANIMAL

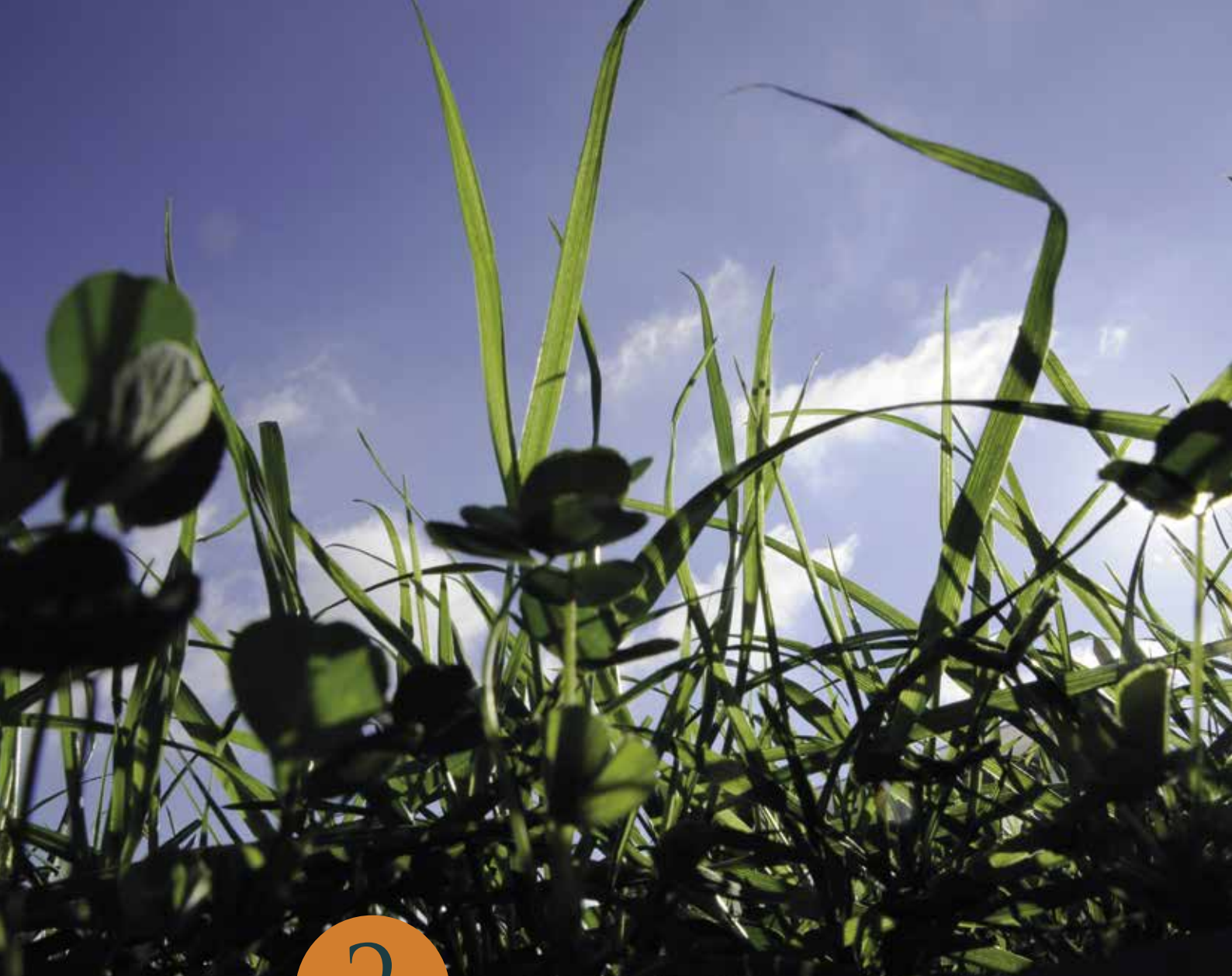
Le bien-être de l'animal, le bien-être des hommes et leurs interactions dans l'environnement sont intimement liés. Cette prise de conscience, fondement du concept One Welfare « un seul bien-être », apparaît récente. Pourtant, cela fait des années que les chercheurs de l'UMR Herbivores s'efforcent de comprendre comment l'animal perçoit son monde, comment il construit sa vie en relation avec son environnement et comment le travail de l'homme peut s'organiser autour de cette perception. Par des approches expérimentales, les scientifiques étudient les pratiques d'élevage aux moments clés de la vie de l'animal, naissance, sevrage, gestation, et jusqu'à l'abattage. En relation avec les généticiens, biologistes et éthologues caractérisent les prédispositions des animaux à construire une relation positive avec l'homme. Eh oui, les vaches, comme les humains, ont leur personnalité propre qui dépend en partie de leur patrimoine génétique, même si leur histoire de vie peut aussi la modeler. Or, si certains animaux se montrent volontiers sociables, au point qu'on se demande parfois qui, d'eux ou de l'homme, apprivoise l'autre, d'autres se révèlent peureux, asociaux et même agressifs. Des attitudes qui peuvent poser problème, voire s'avérer dangereuses, tant pour l'animal que pour l'éleveur. La sélection génétique permet d'écarter ces individus, pour privilégier au contraire ceux avec lesquels l'homme pourra construire un parcours harmonieux. Les chercheurs étudient aussi les possibilités d'enrichir le milieu de vie des animaux par l'homme ou par d'autres moyens. La mise à disposition d'une brosse automatique pour les vaches en donne un bon exemple. Couplée à des capteurs installés sur chaque vache, le dispositif permet d'identifier un changement de leurs habitudes. Un animal cesse d'utiliser l'appareil ou, au contraire, en fait un usage immodéré ? L'éleveur, alerté par ce comportement pouvant traduire une maladie ou une infection parasitaire, interviendra avant l'apparition des premiers signes cliniques, de manière à rétablir le bien-être de l'animal... et préserver le sien par la même occasion.



L'INFLUENCE DU LAIT MATERNEL SUR LA CROISSANCE DES PETITS

Le lait maternel est un prodigieux cocktail, essentiel au bon développement de tous les mammifères. C'est aussi un liquide d'une rare complexité dont certains des composants commencent tout juste à être étudiés. Ainsi, le lait varie en permanence sous l'action de l'environnement, de l'heure de la journée ou encore en fonction des besoins et même du sexe du petit. La composition du lait varie aussi selon les espèces et les races. Le premier lait qu'une vache transmet à son veau, le colostrum, est enrichi en protéines et anticorps qui participent à son immunité. Puis, à mesure que s'approche le sevrage, la composition du lait change pour être toujours en phase avec le développement du veau. À l'Inra, l'équipe Galac de l'UMR GABI étudie les facteurs qui influencent la composition du lait et les conséquences sur la croissance du petit. Les chercheurs ont déjà observé un développement anormal de la glande mammaire de lapines ayant été exposées à des gaz polluants (diesel). En outre, ils ont constaté un déficit de la croissance des lapereaux allaités par ces mères. L'équipe a également démontré l'impact d'une mauvaise alimentation de la mère (excès de gras, de sucre...) sur la composition du lait, avec là aussi des effets négatifs sur la croissance des petits. Les chercheurs s'intéressent également aux exosomes. Ces minuscules structures voyagent entre les organes et établissent un dialogue entre les cellules. Or, on a récemment découvert qu'elles étaient présentes en très grand nombre dans le lait. Alors, participent-elles à la communication entre la mère et le petit ? Et dans ce cas, leur composition a-t-elle un impact sur son développement et sa santé ? Ces recherches sont essentielles pour améliorer le bien-être et la santé des jeunes mammifères, mais aussi pour mesurer l'effet des changements environnementaux. Quelles conséquences pour le jeune veau allaité par une mère qui vit dans les champs, confrontée à une carence en eau ou nourriture en raison d'aléas climatiques ? En plus d'apporter des connaissances aux éleveurs, ces travaux pourraient conduire à la conception de laits spécialement formulés pour s'approcher au mieux d'un lait maternel de composition optimale.





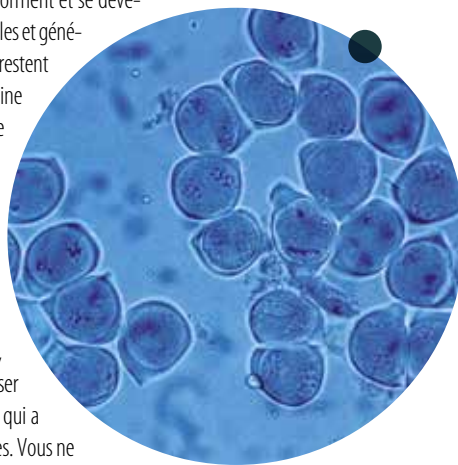
2

LA VIE SECRÈTE DES PLANTES

Les plantes sont des organismes fascinants. L'analyse génomique permet de mieux les appréhender, mais elles demeurent encore étonnamment secrètes. Il faut bien entendu se garder de tout anthropomorphisme lorsqu'on les évoque, mais avouons que les termes qu'emploient certains chercheurs pour les décrire ne nous y aident guère. Ainsi, les plantes dialoguent et interagissent avec leurs voisines, les insectes ou les organismes symbiotiques ; elles perçoivent la position de leur corps dans l'espace et voient même ce qui se passe autour d'elles.

LA GRAINE, UN SYSTÈME D'UNE RARE COMPLEXITÉ

À l'Inra, le laboratoire reproduction et développement des plantes s'intéresse à la façon dont les plantes se forment et se développent. Les chercheurs étudient notamment la formation des graines et les interactions moléculaires, hormonales et génétiques qu'entretiennent les trois compartiments de la graine. Et si les connaissances progressent, bien des secrets restent à découvrir, tant ce petit organisme se révèle complexe... et surprenant. Ainsi, contrairement aux animaux, la graine est le produit d'une double fécondation. Lorsque le grain de pollen (mâle) descend le long du pistil, la cellule reproductrice qu'il contient se divise en deux cellules spermatiques (cellule reproductrice mâle). L'une va fusionner avec une première cellule reproductrice femelle, et donner naissance à l'embryon, tandis que l'autre fusionnera avec une seconde cellule reproductrice femelle pour constituer l'albumen. Pour se développer, l'embryon va ensuite dévorer petit à petit l'albumen qui constitue un réservoir de substances nutritives. Albumen qui, rappelons-le, provient de l'un des deux spermatozoïdes. Oui, l'embryon dévore son petit frère ! Mais suivant les plantes, le processus prend plus ou moins de temps. Ainsi, si vous pressez un grain de maïs, vous y trouverez un petit point blanc. C'est l'embryon, enveloppé par l'albumen, lui-même enveloppé par le tissu maternel, à la manière des poupées russes. Ce n'est qu'une fois en terre que l'embryon poursuivra son repas pour puiser l'énergie nécessaire à la germination. À présent, décortiquez un petit pois : vous n'y trouverez que l'embryon qui a déjà consommé tout l'albumen. Deux graines, deux processus différents dans la gestion des ressources nutritives. Vous ne regarderez plus votre plat de lentilles de la même façon !



LES PLANTES DE SERVICE, DE PRÉCIEUX AUXILIAIRES DE CULTURE

Les pucerons sont des nez sur pattes ! Leurs récepteurs olfactifs sont capables de reconnaître avec une grande précision les composés volatils émis par leurs plantes préférées.

Mais si certaines odeurs les attirent irrésistiblement, d'autres en revanche les font fuir ou perturbent leur comportement.

Une sélectivité que les chercheurs s'attachent à mieux comprendre afin de l'exploiter dans une approche de biocontrôle. Notamment en s'appuyant sur les plantes de service. Les jardiniers connaissent de longue date l'action répulsive des œillets d'Inde installés à proximité des pieds de tomates. D'autres végétaux attirent au contraire le ravageur et le détournent de la plante cultivée qu'il colonise en temps normal. Enfin, certaines plantes attirent les ennemis naturels du puceron et contribuent ainsi à son élimination. Identifier les composés volatils impliqués dans cette modification du comportement des insectes est une étape essentielle, préalable à la sélection de plantes de service. Et ça n'a rien d'évident car le puceron est, dans ce domaine, particulièrement tatillon. Il ne suffit pas de



lui proposer le mélange d'odeurs auxquelles il paraît sensible pour déclencher une réaction. Encore faut-il les lui présenter dans les bonnes concentrations et proportions. C'est pour cette raison que les chercheurs testent un à un chaque composé volatil afin de trouver la bonne recette du cocktail qui déclenchera, à coup sûr, l'attraction ou la fuite du puceron, selon l'effet recherché. Leur but ultime ? Parvenir à modifier le profil des composés volatils émis par les plantes de service, par exemple en jouant sur le choix du génotype, la fertilisation, ou l'irrigation, de manière à optimiser leur efficacité. Avec toute la prudence qui s'impose, car il n'est pas question de privilégier une plante qui perturberait les auxiliaires de culture présents dans la parcelle, à commencer par les prédateurs naturels des pucerons. Sans oublier que pour s'imposer, ces plantes doivent aussi rester simples à entretenir et ne pas représenter une contrainte supplémentaire pour l'agriculteur. Mais le jeu en vaut la chandelle, tant les plantes de services peuvent constituer une alternative efficace et durable aux produits phytosanitaires.

CE QUE VOIENT LES PLANTES

Les plantes perçoivent les différentes couleurs qui composent la lumière. Non seulement elles les voient mais elles les interprètent et les emploient de manière différenciée, en fonction de besoins qui vont bien au-delà de la seule captation de l'énergie via la photosynthèse. Ainsi, la composition spectrale de la lumière affecte leur croissance, la forme et la taille de leurs ramifications, ou encore la longueur ou l'épaisseur de leurs feuilles. C'est ce que l'on nomme la photomorphogenèse. Mais le plus stupéfiant est à venir. Une plante voit son environnement proche. Vous avez bien lu. Grâce à l'analyse de la composition spectrale de la lumière réfléchie par les formes alentour, elle sait, dès sa sortie de terre, combien de plantes l'entourent et à quelle distance elles se trouvent. Si la compétition pour la lumière s'annonce âpre, elle va modifier son comportement de croissance pour capter le maximum d'énergie et éviter de se retrouver à l'ombre de ses congénères. Afin d'étudier ce comportement, une équipe de l'Inra a développé un dispositif expérimental permettant d'analyser, en conditions réelles, la compétition d'une plante pour la lumière, dans différents types de couverts végétaux et à tous les stades de sa croissance. Ces informations permettront de développer un modèle mathématique capable de simuler les interactions entre



végétaux d'une même espèce, ou cultivés en association. Et à terme, d'identifier les individus les mieux adaptés à un type de culture. Par exemple le fourrage, où, en raison de la densité du semis, la compétition s'avère très importante et conduit fréquemment à la disparition d'espèces inadaptées, ou tout au moins à une baisse de la quantité et de la qualité des récoltes.

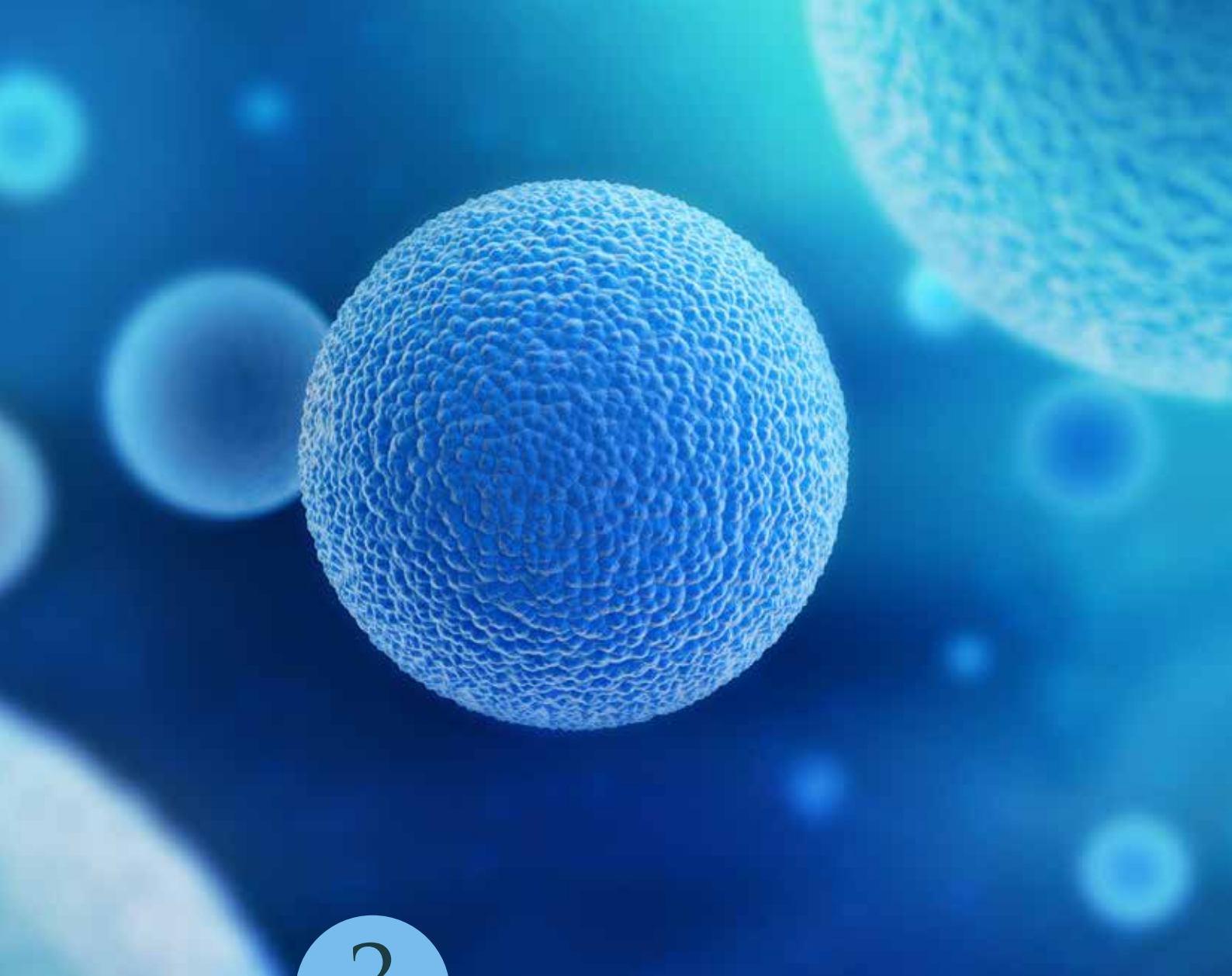
LES PLANTES INTERAGISSENT... ET C'EST FORMIDABLE

Les recherches sur la génétique monopolisent un grand nombre de chercheurs de l'Inra. Mais ce n'est que depuis cinq ans qu'une équipe étudie spécifiquement les gènes impliqués dans la variation des relations entre les plantes. Objectif de cet ambitieux programme, comprendre les mécanismes moléculaires à l'origine des interactions entre espèces et variétés similaires ou différentes. Et les premières découvertes interrogent autant qu'elles étonnent. Ainsi, les chercheurs ont observé qu'environ 7 % des lignées génétiques d'une même espèce, de la plante modèle *Arabidopsis*, coopèrent entre elles. Lorsqu'on les plante côte à côte, elles produisent ensemble jusqu'à trois fois plus de biomasse que lorsqu'elles poussent seules, alors que, du fait de leur proximité, elles disposent de moitié moins de ressources. Comment s'opère cette interaction ? Communiquent-elles via des signaux émis par les feuilles ou le réseau racinaire ? C'est un mystère, que les chercheurs vont s'efforcer de résoudre. Parce qu'il n'est pas difficile d'imaginer ce que donneraient ces interactions appliquées à des variétés d'intérêt agronomique ! Une autre découverte concerne cette fois les plantes adventices. Responsables de pertes de rendement supérieures à celles que causent les bactéries, les champignons ou les insectes ravageurs, elles concentrent 70 % des pesticides utilisés en agriculture. Or, en étudiant *Arabidopsis*, les chercheurs ont découvert des gènes qui permettent aux plantes qui les expriment de produire jusqu'à 50 % de graines en plus en présence d'une espèce adventice, avant que cette dernière ne soit éliminée ! Là encore, on ne sait pas comment ça marche, mais comment ne pas être séduit à la perspective de transformer les adventices en plantes de service ?



LA PROPRIOCEPTION CHEZ LES PLANTES

Les plantes perçoivent la forme et la position de leur corps. Cette proprioception a été mise en évidence par des chercheurs de l'Inra au cours d'une étonnante expérience. Ils ont placé de jeunes plantes dans des supports positionnés à l'horizontale et les ont fait tourner sur elles-mêmes dans l'obscurité. Privées de lumière et désorientées par rapport à la gravité, elles ont pourtant conservé une posture droite à mesure de leur croissance. Ce qui signifie qu'elles sont capables de mouvements actifs dans le but d'adopter la forme recherchée, un peu comme un homme qui corrige sa posture en permanence et de manière inconsciente pour conserver sa rectitude. En conditions naturelles, la plante combine proprioception et perception de l'orientation par rapport à la gravité pour contrôler sa posture. C'est cette faculté qui permet au jeune arbre de se redresser après avoir versé à la suite d'une tempête. Une aubaine, car avec les changements climatiques, la fréquence et l'intensité des épisodes extrêmes va sans doute augmenter. Mais il n'y a pas que les arbres qui vont y être confrontés. Les céréales sont tout aussi exposées. Peut-être avez-vous déjà vu des parties de champs de blés versées à la suite d'un fort coup de vent. Mais saviez-vous que ce phénomène a entraîné une perte de 5 à 10 % des rendements au niveau mondial au cours de ces dix dernières années ? Et pourtant, les céréales sont aujourd'hui bien moins hautes que par le passé. Pourrait-on encore réduire leur taille et donc leur exposition au vent ? Pas sûr, car plus les organes sont proches du sol, plus ils peuvent être ébloués par de la terre porteuse d'organismes pathogènes lors de violentes averses. Mais d'autres pistes sont à l'étude. Et notamment la sélection génétique de variétés capables de percevoir leur exposition au vent et d'adapter leur résistance. Attention, pas question de tenir à tout prix, cela demanderait trop d'énergie que la plante ne consacrerait pas à la production de grains. Non, les chercheurs souhaitent exploiter aussi la proprioception du végétal. En cas de tempête, la plante sacrifiera un fusible, en l'occurrence quelques racines, afin de se laisser tomber, pour se redresser ensuite activement.



3

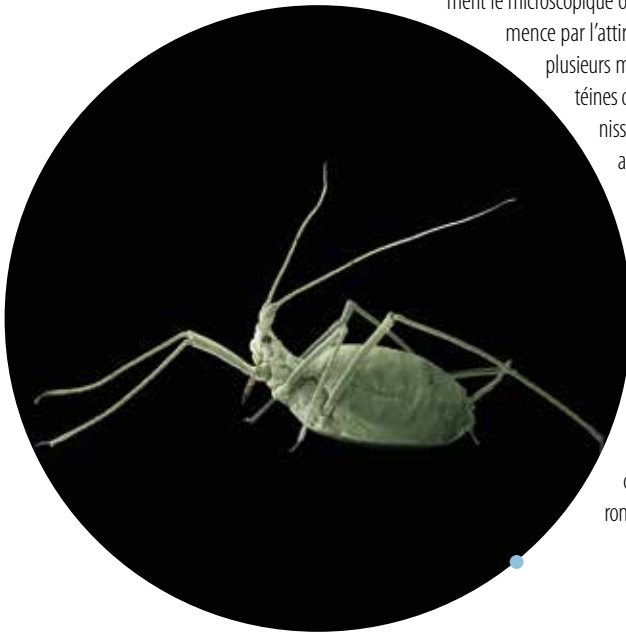
PLANTES, ANIMAUX, MICROBES: DES MONDES EN INTERACTION

Dans la nature, tout le monde se parle, s'entraide ou s'affronte. La connaissance de ces interactions est essentielle pour favoriser celles qui sont bénéfiques aux plantes et aux animaux qui nous sont nécessaires et pour limiter l'impact des autres.

MALIN COMME UN VIRUS

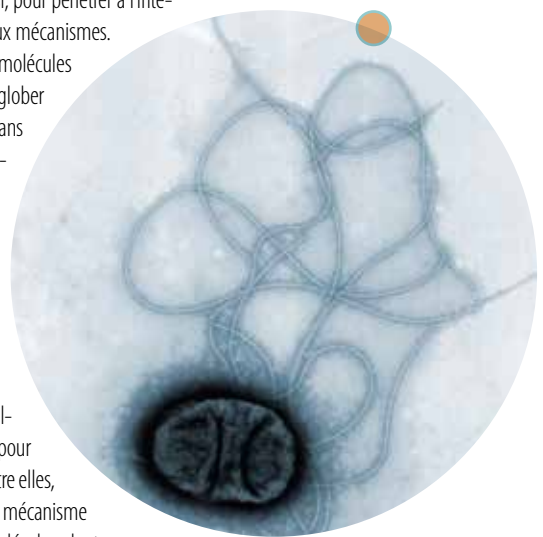
Les virus sont des organismes extrêmement simples. Pourtant, quels trésors d'ingéniosité déploient-ils pour se multiplier ! La façon dont ils manipulent les plantes qui les hébergent est si subtile qu'on serait tenté d'y voir une forme d'intelligence. Il n'en est rien évidemment. Pas de cerveau chez les virus, mais une incroyable adaptation au milieu. Qui leur permet notamment de franchir la distance considérable, à leur échelle microscopique, qui les sépare de la prochaine plante hôte. Pour s'y rendre, ils sont contraints d'utiliser un vecteur, un véhicule en quelque sorte. Et il s'agit souvent du puceron. Ces petits insectes phytophages sont un cauchemar pour les agriculteurs et les maraîchers, autant que pour le jardinier amateur. Et pour cause. Non contents d'affaiblir les plantes en aspirant leur sève, ils leur transmettent des virus pathogènes. Et parfois en grand nombre. Ainsi, le puceron *Myzus persicae* est impliqué dans la transmission de plus de 100 espèces de virus ! Mais comment le microscopique organisme s'y prend-il pour emprunter son moyen de transport ? Eh bien, il com-

mence par l'attirer. On ignore encore précisément comment il s'y prend, et peut-être utilise-t-il plusieurs moyens. Mais déjà, les chercheurs ont découvert que les virus expriment des protéines qui provoquent des symptômes visibles sur les plantes, tels que l'apparition de jaunisses, auxquels les pucerons sont sensibles. Mais il y a plus malin encore. Ils rendent aussi la plante plus appétissante, peut-être en boostant les composés volatils qu'elle émet naturellement et en modifiant son goût, afin que l'insecte consomme assez de sève pour accumuler la charge virale nécessaire à l'infection de la prochaine plante ! Dans le cadre d'un nouveau projet de quatre ans, les chercheurs de l'Inra vont s'attacher à décortiquer les protéines du virus qui rendent la plante plus attractive et plus appétissante pour le puceron. La finalité des recherches consistant à trouver le moyen de bloquer cette transmission. Des travaux qui pourraient permettre aux sélectionneurs de privilégier des variétés de plantes produisant naturellement moins de ces composés bénéfiques à la propagation du virus par le puceron. Associées à des plantes de services attractives, dans une stratégie de contrôle globale, elles seraient alors plus efficacement protégées contre les pucerons et les virus qu'ils véhiculent.



SALMONELLE, UNE CHAMPIONNE DE L'INFILTRATION

Les bactéries intracellulaires sont de minuscules organismes pleins de ressources. Ainsi, pour pénétrer à l'intérieur de la cellule de leur hôte, s'y nourrir et s'y multiplier, elles peuvent exploiter deux mécanismes. Certaines utilisent une entrée de type Trigger. À l'aide d'une seringue, elles injectent des molécules provoquant des sortes de renflements de la membrane cellulaire qui finissent par englober totalement la bactérie, conduisant à son internalisation. L'élégance du processus réside dans le fait qu'en agissant ainsi, la bactérie ne fait que détourner à son profit la méthode qu'emploie la cellule pour aller chercher dans le milieu les composants dont elle se nourrit. Le second mécanisme, qu'on nomme entrée de type Zipper, est tout aussi remarquable et n'est pas sans rappeler la *backdoor* informatique. La bactérie s'agrippe à un récepteur de la membrane extérieure, qui est prévu pour être internalisé et faire rentrer des molécules extérieures, dans un processus de communication entre la cellule et son environnement. En l'état des connaissances actuelles, toutes les bactéries intracellulaires n'utilisent que l'un ou l'autre des mécanismes. Sauf salmonelle. On pensait depuis une trentaine d'années que cette bactérie n'exploitait que le Trigger pour pénétrer la cellule et qu'elle se multipliait dans une vacuole, un petit compartiment qu'elle modifie pour survivre et se multiplier. Mais des chercheurs de l'Inra ont découvert que certaines d'entre elles, comme par hasard les plus virulentes pour l'homme, pouvaient également exploiter le mécanisme Zipper. Et très récemment, ils ont montré que salmonelle disposait de nombreuses molécules, dont certaines encore à identifier, capables d'induire ce mécanisme ! Ils s'attachent maintenant à décrire leurs fonctionnements tout en poursuivant l'étude du comportement de la bactérie après son internalisation (comment elle s'installe, se nourrit ou se multiplie...). Très récemment, il a été démontré que les salmonelles pouvaient non seulement coloniser une vacuole, mais aussi le cytosol, le liquide où baigne l'essentiel des composants de la cellule. Des connaissances indispensables pour comprendre comment la cellule réagit à l'entrée de la bactérie et quels moyens de défense elle déploie pour éliminer l'intrus.



LA TRUFFE, PRÉCIEUX CHAMPIGNON SYMBIOTIQUE



Les plantes ne vivent pas seules. Leurs racines notamment sont en relation avec des microorganismes, principalement des champignons, dans une association symbiotique qu'on nomme la mycorhize. Le mycélium, l'appareil végétatif du champignon, explore le sol et transmet à la plante l'azote, le phosphore et l'eau dont elle se nourrit. En échange, il reçoit les sucres nécessaires à son développement. On considère qu'entre 80 et 90 % des végétaux vivent en symbiose avec les champignons. Cela fait des années que les pépiniéristes tirent profit de cette franche camaraderie. Ainsi, en associant un champignon au pin Douglas, ils favorisent la croissance de ce dernier. Et en 1972, l'Inra a créé les premiers plants de chênes mycorhizés avec *Tuber melanosporum*. Eh oui, la truffe du Périgord, ou truffe noire, est un champignon symbiotique dont l'organe reproducteur à la forme globuleuse fait le bonheur des palais délicats, et fortunés. Désormais, les chercheurs s'attachent à mieux comprendre comment s'établit et se maintient la symbiose entre une plante et son champignon. Récemment, ils ont découvert que les deux organismes se parlent. Lors d'expérimentations en laboratoire, ils ont observé que le champignon *Laccaria bicolor* s'efforce de montrer patte blanche au système racinaire du peuplier auquel il souhaite s'associer, en exprimant une molécule qui témoigne de ses bonnes intentions. La truffe est bien entendu étudiée avec le même intérêt, dans le but d'améliorer sa culture. Parce que si l'on sait depuis près de 50 ans comment créer des chênes truffiers, amener le précieux champignon à maturité est une affaire délicate. Notamment en raison de son mode de développement. Contrairement au cèpe par exemple, la truffe noire se forme dans la terre au mois de mai-juin et va y demeurer six à huit mois supplémentaires. Durant cette période, le champignon est confronté non seulement aux animaux qui la convoitent, mais aussi aux aléas climatiques. Or, il est particulièrement sensible aux longues périodes de sécheresse. Pour cette raison, les chercheurs, en relation avec les professionnels, étudient dans le cadre du projet Culturtruf (financé par FranceAgriMer), les moyens d'optimiser la gestion de l'eau en truffière. Déjà, des capteurs installés dans le sol ont permis de caractériser la façon dont les meilleurs trufficulteurs gèrent l'irrigation, et ainsi de proposer des recommandations générales pour optimiser les ressources en eau. N'oublions pas que l'essentiel des truffes du Périgord sont en fait cultivées dans le sud-est, où les épisodes caniculaires et les sécheresses tendent à se multiplier ces dernières années.

LA ROUILLE DU PEUPLIER FAIT FI DE TOUTE RÉSISTANCE

Tout est affaire de compromis. Plus une plante pousse vite et plus elle est fragile face aux maladies, car elle monopolise une part importante de son énergie pour croître, plutôt que pour se défendre. Prenez un groupe de peupliers sauvages, par exemple. Ces arbres, qui poussent lentement et sont parfois un peu pliés, s'avèrent totalement inadaptés à la production de bois. Mais lorsqu'ils sont confrontés à une épidémie de rouille causée par le champignon *Melampsora larici-populina*, ils opposent un bon niveau de résistance et les dégâts qu'ils subissent restent modérés. En plus de leur rusticité, c'est leur diversité génétique qui contribue à cette résilience. Au contraire, lorsque ce même champignon frappe une peupleraie, il peut entraîner un déficit de croissance des arbres qui peut atteindre 60 % sur une année. Et cette fois, des centaines ou des milliers d'individus peuvent être affectés, car les arbres d'une peupleraie sont des clones génétiquement identiques. Ces peupliers sont le fruit d'une sélection sévère qui a fait d'eux des champions de la croissance rapide et rectiligne, mais des nains en termes de résistance aux bioagresseurs. Bien sûr, les généticiens s'efforcent de sélectionner des variétés offrant une bonne résistance aux maladies, dont la rouille. Mais le champignon, dont la survie dépend de sa colonisation du peuplier, est capable d'évoluer rapidement pour contourner les défenses mises en place par les sélectionneurs. Admettons qu'il lui faille dix ans pour faire sauter le verrou, il lui en restera au moins autant pour profiter de son hôte devenu accessible. Les chercheurs étudient depuis de nombreuses années ce champignon pathogène. Après avoir séquencé son génome en 2011, ils ont récemment identifié la région qui contient le gène responsable d'une mutation de la virulence. À présent, ils s'efforcent de le caractériser pour comprendre comment le champignon évolue et comment il parvient à contourner la résistance de son hôte. Ces travaux pourraient permettre aux généticiens de créer des variétés offrant une résistance plus durable. Idéalement, une vingtaine d'années, l'âge moyen pour l'abattage d'une peupleraie.



LÉGUMINEUSES ET RHIZOBIUM : UNE SYMBIOSE MUTUALISTE

Les légumineuses constituent une ressource alimentaire aussi bien pour les hommes que pour les animaux. Mais elles sont également précieuses pour l'environnement en raison de leur faculté à fixer l'azote de l'air et à terme, enrichir le sol en azote. À ce titre, elles peuvent être assimilées à de l'engrais vert, ce qui explique leur succès en agriculture biologique. Mais pas seulement. En conventionnel aussi, les légumineuses gagnent du terrain. Cultivées en rotation, ou en association avec d'autres cultures d'intérêt agronomique, elles permettent de réduire l'usage des intrants azotés, coûteux et polluants. Les bénéfices des légumineuses pour la fertilité des sols sont connus depuis l'Antiquité. Pliny l'Ancien indique ainsi « Une culture de lupin engraisse les champs et les vignes. Loin d'avoir besoin de fumier, il tient lieu du meilleur engrais ». On sait aujourd'hui que ces bienfaits sont dus à la symbiose mutualiste entre les légumineuses et des bactéries du sol nommées « rhizobium ». Lorsque celles-ci pénètrent dans le système racinaire de la plante, elles induisent la formation de nouveaux organes, les nodosités, dans lesquels elles se multiplient et se transforment. Elles deviennent alors capables de réduire l'azote de l'air (N_2) en ions ammonium (NH_4^+) des composés assimilables par la plante. En contrepartie, la plante fournit aux bactéries une niche écologique et des nutriments nécessaires à leur développement. Aujourd'hui, les équipes de l'Inra investies dans la recherche fondamentale étudient les interactions qui s'opèrent entre les deux organismes. Et notamment les mécanismes impliqués dans la symbiose tels que la production de molécules de reconnaissance par la bactérie pour s'identifier auprès de la plante, et peut-être se faire accepter (on sait ainsi que tous les rhizobiums n'interagissent pas avec toutes les légumineuses). Les scientifiques étudient aussi les changements qui s'opèrent au sein de la plante pour accueillir la bactérie, en particulier la formation des nodosités racinaires. Ils s'intéressent également aux programmes génétiques que met en place le rhizobium une fois dans la nodosité, notamment pour parvenir à réduire l'azote en ammoniacque, un processus qui demande énormément d'énergie.



LA CHENILLE, SENSIBLE AUX ODEURS

La noctuelle du coton, *Spodoptera littoralis*, est un papillon de nuit embarrassant. Sa chenille plutôt, qui cause des dommages très importants aux cultures de coton, maïs, tomates et légumes. L'un des moyens envisagés pour réduire sa nuisance consiste à développer des pièges à base de phéromones mimant l'odeur émise par les femelles adultes, de manière à capturer les mâles avant l'accouplement. Mais dans le cadre d'une stratégie de contrôle globale, il est nécessaire de cibler l'insecte à tous les stades de son développement. À commencer par la chenille. Mais comment savoir ce qui l'attire ? Eh bien ses antennes, bien que toutes petites, possèdent des récepteurs olfactifs, ce qui signifie qu'elle peut, *a priori*, reconnaître certaines odeurs. Reste à savoir lesquelles, et c'est là que les difficultés commencent. Pas question de faire sentir des milliers de parfums aux chenilles vivantes pour identifier celles qui déclenchent une réaction, cela prendrait un temps fou ! Pour pallier cette difficulté, les chercheurs ont opté pour l'option inverse : partir des récepteurs olfactifs eux-mêmes. En scrutant les informations génétiques de la chenille, ils ont pu établir l'inventaire de ses récepteurs. Puis ils les ont isolés pour mieux les étudier et tester sur eux tout un panel d'odeurs bien plus rapidement que ce qu'il est possible de faire en étudiant le comportement. Et ça a marché. Le dispositif a permis d'identifier neuf odorants, qui ont inmanquablement attiré les chenilles, vivantes cette fois ! L'expérience démontre que, contrairement à une idée reçue, elles sont capables de faire des choix et de privilégier une odeur plutôt qu'une autre. Ce qui signifie qu'on peut les piéger comme on piège les adultes. Mais les recherches ne sont pas terminées pour autant. La prochaine étape consiste à identifier, par des modèles mathématiques, des déclinaisons des odeurs sélectionnées, encore plus appétissantes que les originales, de manière à améliorer l'efficacité du leurre. Par exemple, pour attirer des chenilles déjà installées sur leur plante de prédilection.



QUAND L'ABEILLE SE REBIFFE



Varroa destructor : on dirait le nom d'un super vilain de *comic book* ! Ce n'est pas loin de la vérité, tant ce minuscule acarien, pas plus gros qu'une tête d'épingle, constitue l'un des pires fléaux pour les abeilles domestiques (*Apis mellifera*). Originaire d'Asie du Sud-Est, le varroa, arrivé en France en 1982, parasite aussi bien les larves que les nymphes ou les abeilles adultes. À ce titre, le varroa est l'un des responsables de la diminution des populations d'abeilles en France et dans le monde. Mais si le prédateur est présent dans toutes les colonies, certaines se révèlent naturellement résistantes. Pourquoi ? Eh bien parce que leurs abeilles sont capables de repérer les cellules de la ruche qui sont infestées et de tuer les acariens qui s'y trouvent. Et voilà ce qu'a découvert une équipe de l'Inra, à l'issue d'un programme de phénotypage de nombreuses colonies résistantes. Après avoir isolé le caractère impliqué dans la détection du varroa, ils ont identifié les molécules qui déclenchent l'agressivité de l'abeille à son encontre. Un brevet a été déposé, portant sur le développement d'un dispositif permettant aux apiculteurs de repérer très simplement quelles colonies sont résistantes au varroa, et leur permettre ainsi de les sélectionner sur ce caractère.

LE SENS DU SACRIFICE



Décidément, les abeilles ne sont pas à la fête. Déjà affaiblies par les néonicotinoïdes et le varroa, elles sont également menacées par un champignon microscopique originaire d'Asie. Problématique tout au long de l'année, c'est surtout en hiver que *Nosema ceranae* cause le plus de dommages. En effet, après avoir colonisé les cellules intestinales de son hôte, il dispose de beaucoup de temps pour s'y multiplier et se propager. Les abeilles et la reine sont d'autant plus vulnérables que le champignon semble interagir avec certains pesticides, augmentant leur toxicité. Les ouvrières infestées par le parasite présentent en outre des modifications du comportement, passant plus rapidement que prévu au stade de butineuses. Il pourrait s'agir d'une modification induite par *Nosema ceranae* qui profiterait de l'envol précoce de l'abeille pour aller contaminer d'autres colonies. Mais là encore, des moyens de lutte se dessinent, basés sur l'analyse de colonies résistantes. Alors que le champignon manipule les cellules intestinales afin d'empêcher leur mort, de manière à s'y multiplier durablement, certaines abeilles interrompent ce processus en sacrifiant les cellules contaminées, éliminant l'intrus du même coup. Reste maintenant à identifier les caractères responsables de cet étonnant processus...

LES MOLÉCULES DE LA PAROLE

Les plantes sont de grandes bavardes. Et les chercheurs commencent à peine à décrypter les conversations incessantes qu'elles entretiennent avec leur environnement. De ce point de vue, les plantes aquatiques restent les plus mystérieuses. Pour comprendre de quoi elles parlent, il convient en effet de les observer dans leur milieu naturel. Mais alors, que d'interactions avec les plantes alentour, les insectes et bien sûr les millions de microorganismes présents dans le milieu, qu'ils soient symbiotiques, opportunistes, parasites ou pathogènes. Pour communiquer, les plantes, y compris le phytoplancton, diffusent en permanence un grand nombre de molécules chimiques dont certaines sont propres à une espèce. Toutes ces molécules vont participer à sa défense, ces autres vont attirer d'autres organismes planctoniques, ou entretenir le dialogue avec des champignons symbiotiques. Mais toutes ne s'expriment pas en même temps. Les chercheurs ont ainsi découvert que les plantes coévoluent avec leur environnement et modifient leur communication pour s'adapter aux changements. En outre, certaines molécules ne sont émises que dans des circonstances précises, ou en présence d'autres organismes bien particuliers, qu'il s'agisse de végétaux, d'animaux ou de microbes. Une raison de plus pour préserver la biodiversité, gage d'un formidable réservoir de molécules naturelles. D'autant qu'un grand nombre d'entre elles peuvent se révéler utiles à l'homme. Déjà, certaines montrent des propriétés antioxydantes, antifongiques ou anticancéreuses. Et des travaux sont en cours pour développer des biopesticides comme alternative aux produits phytosanitaires. Mais ce n'est que le début, car si les chercheurs ont identifié deux cent mille molécules, toutes plantes confondues, ils estiment qu'elles pourraient être dix, voire cent fois plus nombreuses !



LE VERGER ROND DE GOTHERON

Produire des fruits avec zéro pesticide, voilà l'ambitieux défi que se sont fixés les chercheurs de l'Inra Gotheron (Drôme) impliqués dans le Projet Z. La méthode utilisée pour y parvenir repose sur l'organisation spatiale des plantes dans l'espace de production, pensée pour limiter l'arrivée, la progression, l'installation et l'impact des bioagresseurs. Première surprise, le verger de 1.5 hectare est rond, une forme choisie pour limiter la surface d'échange avec l'extérieur. Il est cerné par une double haie de 500 mètres de long, notamment constituée d'amandiers et de châtaigniers qui, en plus de son effet brise-vent, est conçue pour retarder la progression des ravageurs. Et en éliminer une partie, puisque des nichoirs à mésanges, des perchoirs à rapaces et des tas de pierre pour accueillir les belettes sont installés le long de cette première barrière. Les bioagresseurs qui la franchissent parviennent à un rang circulaire de pommiers qui jouent le rôle de piège en retenant les pucerons attirés par ce fruit. Les rescapés sont ensuite confrontés à une autre barrière, constituée d'arbres fruitiers variés. Notamment des espèces prospectives telles que la grenade, étudiées dans le contexte du changement climatique. Ce dernier cercle doit protéger les pommiers, pêchers, pruniers et abricotiers situés sur les rangs intérieurs où se concentre l'essentiel de l'espace de production. Les variétés ont été choisies pour leur résistance naturelle aux maladies. Dans cette zone, des plantes attractives et répulsives seront bientôt plantées à intervalles réguliers afin de piéger les insectes qui parviendraient à franchir les obstacles précédents. Des légumineuses sont aussi présentes, qui assureront la fertilité du sol.

Enfin, le centre du verger est constitué d'une mare et d'une zone semi-sauvage qui constituent un précieux réservoir de biodiversité fonctionnelle. Le verger, qui vient d'être conçu, arrivera à maturité dans cinq ans et sera évalué durant au moins dix ans supplémentaires. Durant tout ce temps, les chercheurs vont contrôler l'impact de l'agencement spatial dans la maîtrise des bioagresseurs et produire des connaissances sur la façon de construire un tel système. Il est en effet probable que des modifications de l'organisation du verger soient nécessaires afin d'optimiser l'efficacité de l'ensemble des dispositifs.

CONTACTS SCIENTIFIQUES

1 LA VIE SECRÈTE DES ANIMAUX

LES ABEILLES, CHAMPIONNES DE LA MANIPULATION

Yves Le Conte

yves.le-conte@inra.fr - 04 32 72 26 81
UNITÉ ABEILLES ET ENVIRONNEMENT
Inra Provence-Alpes-Côte d'Azur

LA TIQUE, VOYAGEUSE IMMOBILE

Olivier Plantard

olivier.plantard@inra.fr - 02 40 68 78 92
UNITÉ BIOLOGIE, ÉPIDÉMIOLOGIE, ANALYSE DE RISQUE
EN SANTÉ ANIMALE (Inra-Oniris)
Inra Pays de la Loire

MONDIALISATION : LES INSECTES RAVAGEURS ADORENT ! ANTICIPER ET PRÉVENIR LA MENACE

Jérôme Rousselet

jerome.rousselet@inra.fr - 02 38 41 48 48
UNITÉ DE ZOOLOGIE FORESTIÈRE
Inra Val de Loire

DE L'INTELLIGENCE DES POULES...

Ludovic Calandreau

ludovic.calandreau@inra.fr - 02 47 42 75 71
UNITÉ PHYSIOLOGIE DE LA REPRODUCTION ET DES
COMPORTEMENTS (Inra/CNRS/Université de Tours/IFCE)
Inra Val de Loire

DU RIFI FI DANS LA PORCHERIE LES PORCS DONNENT DE LA VOIX

Celine Tallet / Marie-Christine Saulin

celine.tallet@inra.fr / marie-christine.saulin@inra.fr
02 23 48 50 53
UNITÉ PHYSIOLOGIE, ENVIRONNEMENT ET GÉNÉTIQUE
POUR L'ANIMAL ET LES SYSTÈMES D'ÉLEVAGE
(Inra/Agrocampus Ouest)
Inra Bretagne-Normandie

DOMAINE EXPÉRIMENTAL DE LA FAGE 1 000 BREBIS À L'ÉTUDE !

Sara Parisot

sara.parisot@inra.fr - 05 65 99 02 16
DOMAINE DE LA FAGE
Inra Occitanie-Toulouse

LES BÉNÉFICES DES INTERACTIONS ANIMALES

Raymond Nowak

raymond.nowak@inra.fr - 02 47 42 76 18
UNITÉ PHYSIOLOGIE DE LA REPRODUCTION ET DES
COMPORTEMENTS (Inra/CNRS/Université de Tours/IFCE)
Inra Val de Loire

COMMENT LA VACHE PERÇOIT LE MONDE ? UNE HISTOIRE DE RELATION HOMME-ANIMAL

Xavier Boivin

xavier.boivin@inra.fr - 04 73 62 47 02
UNITÉ HERBIVORES (Inra/VetAgroSup)
Inra Auvergne - Rhône-Alpes

L'INFLUENCE DU LAIT MATERNEL SUR LA CROISSANCE DES PETITS

Fabienne Le Provost

fabienne.le-provost@inra.fr - 01-34-65-25-69
UNITÉ GÉNÉTIQUE ANIMALE ET BIOLOGIE INTÉGRATIVE
(Inra/AgroParisTech)
Inra Île-de-France - Jouy-en-Josas

1 LA VIE SECRÈTE DES PLANTES

LA GRAINE, UN SYSTÈME D'UNE RARE COMPLEXITÉ

Thomas Widiez

thomas.widiez@ens-lyon.fr - 04 72 72 86 08
LABORATOIRE REPRODUCTION ET DÉVELOPPEMENT
DES PLANTES (Inra/Cnrs/Ens Lyon/UCB Lyon 1/Univ Lyon)
Inra Auvergne - Rhône-Alpes

LES PLANTES DE SERVICE, DE PRÉCIEUX AUXILIAIRES DE CULTURE

Hélène Gautier

helene.gautier@inra.fr - 04 32 72 23 45
UNITÉ PLANTES ET SYSTÈMES DE CULTURE HORTICOLES
Inra Provence-Alpes-Côte d'Azur

CE QUE VOIENT LES PLANTES

Elzbieta Frak

elzbieta.frak@inra.fr - 05 49 55 61 01
UNITÉ PRAIRIES ET PLANTES FOURRAGÈRES
Inra Nouvelle-Aquitaine-Poitiers

LES PLANTES INTERAGISSENT... ET C'EST FORMIDABLE

Fabrice Roux

fabrice.roux@inra.fr - 05 61 28 55 57
LABORATOIRE DES INTERACTIONS PLANTES
MICRO-ORGANISMES (Inra/CNRS)
Inra Occitanie-Toulouse

LA PROPRIOCEPTION CHEZ LES PLANTES

Bruno Moulia

bruno.moulia@inra.fr - 04 43 76 14 23
UNITÉ PHYSIQUE ET PHYSIOLOGIE INTÉGRATIVES
DE L'ARBRE EN ENVIRONNEMENT FLUCTUANT (Inra/UCA)
Inra Auvergne - Rhône-Alpes

3 PLANTES, ANIMAUX, MICROBES: DES MONDES EN INTERACTION

MALIN COMME UN VIRUS

Véronique Brault

veronique.brault@inra.fr - 03 89 22 49 34
UNITÉ SANTÉ DE LA VIGNE ET QUALITÉ DU VIN
(Inra/Université de Strasbourg)
Inra Grand Est-Colmar

SALMONELLE, UNE CHAMPIONNE DE L'INFILTRATION

Philippe Velge / Sébastien Holbert

philippe.velge@inra.fr / sebastien.holbert@inra.fr
02 47 42 78 93
UNITÉ INFECTIOLOGIE ET SANTÉ PUBLIQUE
(Inra/Université de Tours)
Inra Val de Loire

LA TRUFFE, PRÉCIEUX CHAMPIGNON SYMBIOTIQUE

Claude Murat

claudemurat@inra.fr - 03 83 39 41 27
UNITÉ INTERACTIONS ARBRES/MICRO-ORGANISMES
(Inra/Université de Lorraine)
Inra Grand Est-Nancy

LA ROUILLE DU PEUPLIER FAIT FI DE TOUTE RÉSISTANCE

Pascal Frey

pascal.frey@inra.fr - 03 83 39 40 56
UNITÉ INTERACTIONS ARBRES/MICRO-ORGANISMES
(Inra/Université de Lorraine)
Inra Grand Est-Nancy

LÉGUMINEUSES ET RHIZOBIIUM: UNE SYMBIOSE MUTUALISTE

Claude Bruand

claudebruand@inra.fr - 05 61 28 53 52
LABORATOIRE DES INTERACTIONS PLANTES
MICRO-ORGANISMES (Inra/CNRS)
Inra Occitanie-Toulouse

LA CHENILLE, SENSIBLE AUX ODEURS

Emmanuelle Jacquin-Joly

emmanuelle.joly@inra.fr - 01 30 83 32 12
INSTITUT D'ÉCOLOGIE ET DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT
DE PARIS (Inra/Université PM Curie-Paris 6/CNRS/IRD/
ENS/AgroParisTech, Université Paris-Diderot/Université
Paris-Est Créteil)
Inra Île-de-France - Versailles-Grignon

QUAND L'ABEILLE SE REBIFFE

Yves Le Conte / Fanny Mondet

yves.le-conte@inra.fr - 04 32 72 26 81
UNITÉ ABEILLES ET ENVIRONNEMENT
Inra Provence-Alpes-Côte d'Azur

LE SENS DU SACRIFICE

Yves Le Conte / Cédric Alaux

yves.le-conte@inra.fr - 04 32 72 26 81
UNITÉ ABEILLES ET ENVIRONNEMENT
Inra Provence-Alpes-Côte d'Azur

LES MOLÉCULES DE LA PAROLE

Geneviève Chiapusio

genevieve.chiapusio@univ-fcomte.fr - 04 79 75 81 07
CENTRE ALPIN DE RECHERCHE SUR LES RÉSEAUX TROPHIQUES
ET LES ÉCOSYSTÈMES LIMNIQUES (Inra/USMB)
Inra Auvergne - Rhône-Alpes

LE VERGER ROND DE GOTHERON

Sylvaine Simon

sylvaine.simon@inra.fr - 04 75 59 92 21
UNITÉ EXPÉRIMENTALE RECHERCHES INTÉGRÉES - GOTHERON
Inra Provence-Alpes-Côte d'Azur



147, rue de l'Université
75338 Paris Cedex 07
France

Tél. +33(0)1 42 75 91 86
inra.fr



Février 2019

