

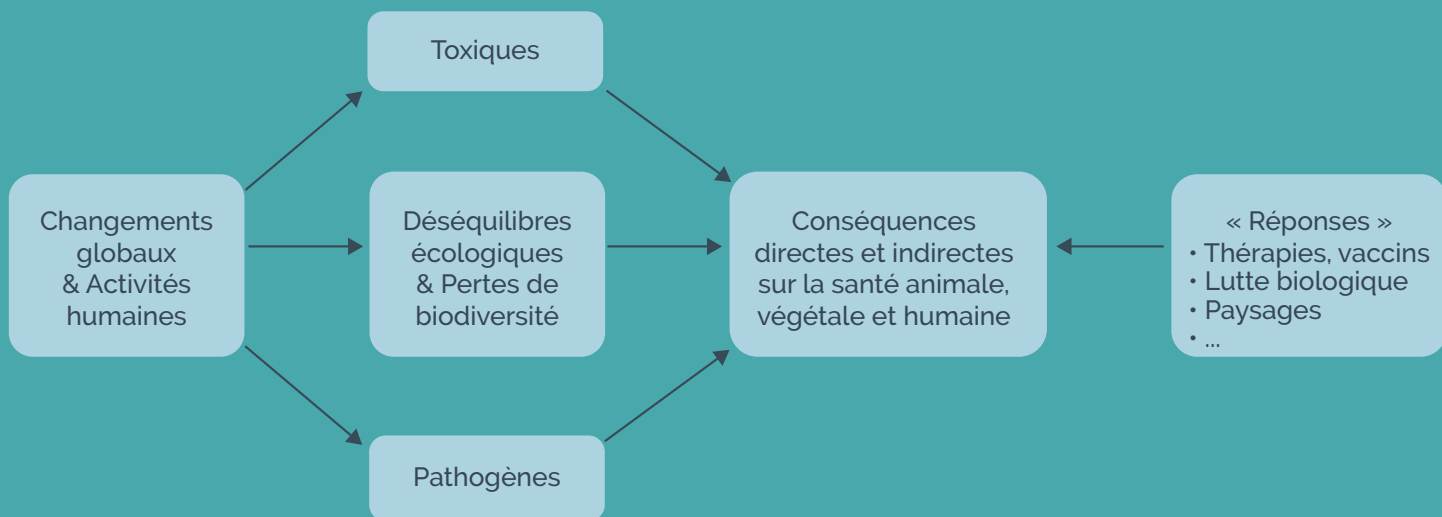


 dossier de
PRESSE

INRAE

**One Health, une seule santé
pour la Terre, les animaux et les Hommes**

01.	Des pressions multiples	6
02.	Conséquences directes et indirectes sur la santé animale végétale et humaine	18
03.	Les réponses de la recherche	22
04.	Evaluer et gérer les risques	29
	Contacts scientifiques	34



Evaluation et gestion des risques

- Epidémiologie
- Phytovigilance
- Monitoring chimique de l'environnement
- ...

One Health, une seule santé pour la Terre, les animaux et les Hommes

Lorsque le thème de ce dossier de presse a été proposé, l'épidémie liée à la Covid-19 commençait à peine à être évoquée. Seule la Chine semblait affectée, et le reste du monde observait les événements avec une curiosité mêlée de compassion. Six mois plus tard, la pandémie, qui a fait plier tous les états de la planète, y compris les plus avancés, montre toute la pertinence du mouvement One Health, «une seule santé». Ce concept, initié au début des années 2000, fait suite à la recrudescence et à l'émergence de maladies infectieuses, en raison notamment de la mondialisation des échanges. Il repose sur un principe simple, selon lequel la protection de la santé de l'Homme passe par la santé de l'animal et celle de l'ensemble des écosystèmes. Cette notion, évidente pour les savants du 19^{ème} siècle, Louis Pasteur en tête, s'est estompée au siècle suivant, marqué par le cloisonnement des disciplines scientifiques. Et pourtant, chacune d'elles a accumulé tant de connaissances, a tant à partager pour le bien commun ! L'actualité montre à quel point médecine humaine et vétérinaire, mais aussi biologie, écologie, économie ou sciences sociales sont impliquées dans les problématiques de santé, en accord avec le concept d'écologie de la santé ou EcoHealth. Comment pourrait-il en être autrement, quand 60% des maladies infectieuses humaines ont une origine animale, et que 70% d'entre elles sont transmises par la faune sauvage ! Seule une approche interdisciplinaire peut permettre de faire face aux enjeux majeurs de santé qui, en raison de la mondialisation des échanges, mais aussi du changement climatique, vont devenir plus préoccupants encore dans les années à venir.

A INRAE, les projets interdisciplinaires, qui associent tous les domaines de recherche autour d'une thématique donnée, constituent désormais la norme. Surtout, les chercheurs disposent des connaissances et des outils qui leur permettent de réagir promptement en cas d'émergence ou de réémergence d'un agent infectieux. Ils ont ainsi pu mettre à profit leur expertise des coronavirus, qui touchent les animaux d'élevage et de compagnie, au service de la lutte contre le SARS-CoV-2. Une équipe de biostatisticiens a été la première à calculer le taux de létalité liée à la Covid-19 dans un pays autre que la Chine. D'autres chercheurs, ont séquencé des dizaines d'échantillons de virus transmis par les hôpitaux, grâce à de nouveaux boîtiers qui se connectent à l'ordinateur *via* une simple prise USB ! Voilà une belle illustration du concept One Health réunissant plusieurs disciplines au service d'un même objectif. La lutte contre l'antibiorésistance en est une autre. L'usage encore trop important des antibiotiques en élevage entraîne l'apparition de résistances chez les bactéries. Ces organismes peuvent alors se transmettre d'animaux en animaux, notamment *via* l'environnement, puis aux humains qui les fréquentent ou les consomment. Et l'impact n'est pas seulement sanitaire. Les pertes de production liées à l'antibiorésistance, ont des conséquences économiques et sociales importantes, notamment dans les pays en développement, en plus d'augmenter les risques de malnutrition. Enfin, le concept One Health, intégrant la notion d'EcoHealth, s'intéresse aux effets de la contamination de l'environnement pour la santé humaine. Là encore, les motifs d'inquiétude sont nombreux, comme le montrent les crises sanitaires récentes. Les chercheurs de toutes disciplines unissent leurs compétences, pour produire des connaissances et éclairer dans leur prise de décisions l'ensemble des acteurs concernés par ces enjeux de santé publique.



One Health : approche intégrée et unifiée de la santé publique, animale et environnementale.

EcoHealth : concept d'écologie de la santé qui intègre les effets de la contamination de l'environnement pour la santé humaine.

Une vision élargie de One Health recouvre ce que certains appellent désormais EcoHealth.



01.



Des pressions multiples

6.

One Health, une seule santé pour la Terre, les animaux et les Hommes



Changements globaux et activités humaines

La volonté de réduire fortement l'usage des produits phytosanitaires, et la prise en compte simultanée des santés animale, végétale et humaine dans le cadre du concept One Health, mobilisent les scientifiques d'INRAE, réunis au sein de groupes de recherche le plus souvent pluridisciplinaires. Une nécessité, pour faire face aux changements majeurs liés aux bouleversements climatiques et à la mondialisation des échanges.

Echanges internationaux et sécurité des consommateurs : l'équilibre à trouver

Les Français souhaitent davantage de diversité dans leur assiette. Cela tombe bien, avec la mondialisation des échanges, le choix d'aliments provenant de pays développés ou en voie de développement n'a jamais été aussi vaste. Mais, dans le même temps, chaque nouvelle crise sanitaire entraînant une vague d'hospitalisations, voire de décès, érode leur confiance vis-à-vis des organismes chargés du contrôle des produits alimentaires importés. A cela s'ajoute, depuis quelques années, une défiance forte à l'égard des pesticides, qui s'accompagne d'un besoin croissant d'information quant aux réglementations encadrant leur usage, information jugée insuffisante. Cela alors même que le cadre sanitaire européen est sans doute le plus strict au monde, au point d'être inaccessible pour bon nombre de producteurs et exportateurs non-européens, en particulier ceux des pays en développement, qui peinent à s'adapter aux exigences européennes. Et ceci pas nécessairement parce que leurs produits ne répondent pas aux normes sanitaires et phytosanitaires en vigueur, mais tout simplement en raison de leur méconnaissance des règles commerciales, voire des codes de négociation. Comment, dans ces conditions, garantir l'absence de dangerosité des produits importés, sans pour autant entraver les échanges internationaux ? Comment s'assurer que la protection du consommateur ne soit un prétexte au protectionnisme ?

C'est tout l'objet de l'accord SPS de l'OMC, qui reconnaît depuis 1995 à chaque pays membre, le droit d'établir ses propres normes de protection sanitaire et phytosanitaire, visant à protéger la santé et la vie des personnes, ou à préserver les végétaux et les animaux. Cet accord impose que ces normes reposent sur un fondement scientifique, afin justement d'éviter toute dérive protectionniste. Ainsi, les pouvoirs publics s'efforcent par exemple de contrôler que les biens importés respectent les normes sanitaires, et bien sûr qu'ils soient sans danger. Elles visent aussi à informer précisément les consommateurs, qui peuvent alors choisir librement, mais en connaissance de cause, les produits qu'ils souhaitent consommer, par exemple des produits issus ou non d'animaux traités aux antibiotiques. INRAE est fortement impliqué dans ces démarches. Les économistes du département ECOSOCIO étudient les effets des normes et labels publics ou privés visant à garantir la sécurité sanitaire, sur les échanges commerciaux. Ils s'efforcent d'éclairer les décideurs sur les politiques à mettre en œuvre (taxes, labels, réglementations...) pour trouver le bon équilibre entre sécurité du consommateur et fluidité du commerce international.



R2A2, le *think tank* de l'antibiorésistance

Les bactéries résistantes présentes chez l'animal n'ont guère de difficulté à se transmettre à l'Homme ou à l'environnement, et réciproquement. Limiter les antibiotiques en élevage et proposer des solutions alternatives à leur usage est donc indispensable pour réduire l'apparition de résistances transmissibles à l'Homme (lors de la consommation de lait, de viande ou d'œufs) ou à l'environnement (*via* les fèces, les crachats des animaux contaminés ou le lisier répandu dans les champs). L'approche One Health, notamment dans la lutte contre les effets de l'antibiorésistance, vise à impliquer l'ensemble des acteurs de la santé humaine, animale et environnementale dans une réflexion commune. Inauguré en



2013, R2A2, pour Réseau Recherche Antibiotiques Animal, est un laboratoire d'idées multidisciplinaire financé par le métaprogramme Gestion Intégrée de la Santé des Animaux d'INRAE et construit autour d'une thématique bien précise : la réduction de l'usage des antibiotiques en médecine vétérinaire, afin de limiter l'apparition et la dissémination des résistances. Plusieurs fois par an, R2A2 organise des réunions traitant de problématiques variées. Par exemple, les raisons du manque d'observance des mesures de prévention de la part des éleveurs, le lien entre microbiote et santé ou bien encore l'usage des antibiotiques dans la filière cunicole. Sociologues, généticiens, spécialistes des maladies infectieuses, nutritionnistes, pharmacologues, épidémiologistes, vétérinaires, acteurs économiques, conseillers techniques, éleveurs ! Tous échangent en direct, imaginent des pistes de recherche et construisent des projets en lien avec la thématique abordée. Ces réunions, qui facilitent le rapprochement d'individus ou de secteurs peu habitués à se côtoyer, ont donné naissance à de nombreuses initiatives. Parmi les projets notables, TRAJ (Trajectoires de changement de pratiques en matière d'utilisation des antibiotiques en élevage) a étudié les ressorts techniques, économiques et sociaux du recours aux antibiotiques dans la gestion des maladies animales. Les chercheurs se sont notamment intéressés aux éleveurs pionniers de la réduction, voire de la suppression des

antibiotiques, pour tenter de comprendre d'où venaient leurs motivations, comment ils s'y étaient pris, comment ils étaient accompagnés et quelles difficultés ils avaient rencontrées. Les résultats de TRAJ ont été déterminants pour l'élaboration du projet européen Roadmap, lancé en 2019.

RoadMap: on fait la route ensemble

Limiter l'usage des antibiotiques en élevage est indispensable pour réduire le risque d'apparition de résistances transmissibles à l'Homme, d'autres animaux ou à l'environnement. Durant de nombreuses années, les scientifiques ont scruté les comportements des éleveurs et des vétérinaires, afin d'identifier les leviers sur lesquels agir pour réduire la consommation de produits antimicrobiens. Sans grand succès, malheureusement. C'est en se penchant sur la littérature sociologique et économique que les chercheurs ont compris la raison de cet échec relatif. Observer les pratiques au niveau individuel ne suffit pas. Pour faire bouger les lignes, il convient de comprendre la structure des systèmes alimentaires et pharmaceutiques dans leur globalité. En effet, le comportement des acteurs est déterminé par un ensemble de contraintes liées aux politiques publiques, au marché du médicament, à la structure même des filières. Les aborder seulement sous un angle individuel n'a donc guère de sens. C'est ce constat qui a servi de base à l'élaboration du projet européen Roadmap (2019-2023). Fédérant 17 partenaires d'institutions européennes, il vise à mettre en œuvre un panel d'activités dans dix pays européens auxquels s'ajoutent le Mozambique et le Vietnam, pour tester des solutions susceptibles de réduire l'usage des antibiotiques. RoadMap est un projet interdisciplinaire et participatif, avec une forte dimension socio-économique. Les chercheurs en sciences sociales vont étudier la nature des interactions entre les principaux acteurs des filières agro-alimentaires et pharmaceutiques, et s'intéresser aux rapports entre éleveurs et vétérinaires autour de la question des antibiotiques. Mais Roadmap implique également les sciences animales. Accompagnés par les chercheurs, éleveurs, vétérinaires, coopératives agricoles, laboratoires pharmaceutiques et pouvoirs publics interagissent pour inventer et tester, en conditions réelles, des solutions de transition innovantes. Et surtout qui soient adaptées au pays, aux méthodes et aux systèmes d'élevage (extensif, intensif, conventionnel, bio...). Dans la dernière année du projet, les chercheurs évalueront l'impact des stratégies testées et présenteront les scénarii de transition les mieux adaptés aux contraintes environnementales, sociales et économiques des différents contextes d'élevage rencontrés.





« Forêt », « déforestation » et « maladies émergentes » : l'arbre qui cache la forêt !

La pandémie mondiale de Covid-19 met en lumière l'importance de certains domaines scientifiques jusque-là peu étudiés, comme le lien entre les écosystèmes, leur biodiversité et l'émergence de nouvelles maladies infectieuses. En effet, les humains exploitent de plus en plus leur environnement et sont par conséquent plus exposés à certains microbes, ce qui peut accroître les risques de nouvelles contaminations. Le virus SARS-CoV-2, responsable de la pandémie actuelle de Covid-19, est une zoonose, c'est-à-dire une infection d'origine animale. Dans les zones intertropicales où se concentre une diversité biologique importante et où les sociétés demeurent encore très vulnérables, certaines populations humaines sont aujourd'hui confrontées de manière plus importante à de nouvelles menaces sanitaires issues des animaux sauvages. En pratiquant la déforestation pour le développement de l'agriculture et de l'élevage, ces mêmes communautés entrent en contact avec certains des cycles microbiens qu'abritent les grands biomes forestiers. Mais quel est le lien entre la déforestation et l'émergence de maladies ? Où en est la science sur ce sujet ?

C'est pour répondre à ces questions que des chercheurs d'INRAE ont coordonné une analyse de synthèse, « de la recherche sur la recherche », essentielle pour avoir une vision objective et factuelle, et ainsi permettre d'orienter au mieux la recherche. Ils ont ainsi analysé 565 articles scientifiques citant les termes « forêt », « déforestation » et « maladie infectieuse émergente » dans leur titre et leur résumé, publiés entre 1953 et 2018. Sur l'ensemble du corpus analysé, seuls 165 d'entre eux traitent en pratique du lien entre forêts, déforestation et maladies émergentes. Mais comment expliquer un tel écart ? En regardant plus en détail les résultats, ils en concluent qu'un très grand nombre de ces articles traitent en réalité une partie souvent infime du cycle infectieux : les insectes vecteurs ou les animaux réservoirs uniquement, mais beaucoup moins les interactions qu'ils entretiennent avec des virus, des bactéries ou des protozoaires. De plus, une très grande majorité de ces articles ne fait pas le lien avec les cas humains ! Les sujets « forêt », « déforestation » et « maladies émergentes » sont donc finalement très peu abordés, même si un grand nombre d'articles les déclarent comme tel dans leur titre ou leur résumé.

L'exemple traité ici met en avant un problème : la plupart des travaux abordent ces sujets complexes de manière encore très sectorielle, bien qu'ayant une approche initiale One Health. Approfondir les connaissances autour de l'émergence des maladies infectieuses humaines et de leur transmission en prenant mieux en compte les composantes environnementales mais aussi anthropo-sociologiques, économiques et politiques est aujourd'hui primordial.

Une **zoonose** est une maladie infectieuse causée par une bactérie, un virus ou un parasite, qui se transmet entre l'animal et l'Homme ; 60% des maladies infectieuses humaines ont une origine zoonotique, à l'instar de la pandémie de Covid-19, causée par le coronavirus SARS-CoV-2.





Des toxiques, des agents pathogènes et des Hommes...

Les activités humaines peuvent impacter durablement les écosystèmes, et en retour affecter la santé des populations, qui dépendent pourtant des ressources de la Terre. Les enjeux sont immenses et visent à concilier la nécessité de nourrir les Hommes avec l'obligation de préserver l'environnement dans lequel eux-mêmes, mais aussi l'ensemble des organismes vivants, évoluent.

La chlordécone, un poison pour longtemps

Un poison pour la terre, les animaux, les végétaux et les Hommes. Voilà ce qu'est la chlordécone, un insecticide utilisé massivement en Guadeloupe et Martinique jusqu'en 1993, pour lutter contre le charançon du bananier. Classée cancérigène possible, perturbateur endocrinien, reprotoxique..., elle est très difficilement dégradable dans l'environnement terrestre, où sa persistance pourrait s'étendre sur 1 à 5 ou 6 siècles, suivant le type de sol. D'après l'étude Kannari de 2018, elle contamine, à des niveaux divers, plus de 90% de la population des deux îles. Et pour cause, l'insecticide n'a pas seulement contaminé les sols, il s'est aussi répandu dans les eaux souterraines, les rivières et le littoral marin avec des conséquences dramatiques. Il est absorbé passivement par les plantes au niveau des racines, est entraîné par le flux de sève brute, et se lie préférentiellement aux composés ligno-cellulosiques des vaisseaux conducteurs, qui jouent un rôle de filtre relativement efficace. Il en résulte un gradient de contamination des organes des plantes, avec une concentration maximale au niveau des racines, rhizomes et tubercules, et minimale pour les fruits des solanées, des bananiers ou des arbres fruitiers. Il est désormais impossible de cultiver les légumes racines (igname, carotte, patate douce...) dans les zones polluées (>100 mg de chlordécone / kg de sol sec), et même les fourrages consommés par les animaux sont significativement contaminés sur les sols les plus pollués. En outre, des travaux menés par INRAE et l'Université de Lorraine dans le cadre du projet INSSICCA financé par l'ANR ont démontré que les bovins ingèrent de 20 à 100 g de sol pour chaque kg de matière sèche de fourrage ingéré. Or, la totalité de la chlordécone mesurée dans le sol se retrouve dans l'organisme de l'animal qui l'ingère, pouvant conduire à des contaminations très fortes. Des analyses réalisées sur des porcs élevés en plein air ont montré des niveaux de contamination des tissus jusqu'à 70 à 80 fois supérieurs à la limite autorisée ! Bien sûr, des tests sont systématiquement réalisés dans les abattoirs, afin d'écarter les carcasses trop contaminées, mais les conséquences économiques peuvent être difficiles à supporter pour les éleveurs, en particulier pour les éleveurs bovins, les plus concernés. Pourtant, des solutions existent pour limiter l'exposition des consommateurs. Ainsi, les chercheurs ont observé que la concentration de chlordécone dans les animaux et leurs produits (viandes, laits, œufs) diminue avec le temps, dès qu'ils ne sont plus exposés. La concentration en chlordécone de l'organisme est divisée par deux au bout d'une semaine chez la poule, trois semaines chez la chèvre, trois et demie chez le mouton, six chez le bœuf et sept à huit semaines chez le porc (pour mémoire, il faut 10 à 17 semaines à l'Homme pour éliminer la moitié du polluant).



Pour cette raison, les scientifiques s'orientent maintenant vers la recherche de solutions qui soient techniquement efficaces, économiquement viables et socialement acceptables par la population. Plusieurs options biotechniques et organisationnelles sont envisagées avec les éleveurs, comme l'engraissement des bovins contaminés, soit sur des parcelles non polluées, soit dans des unités d'engraissement hors-sol, pour assurer une décontamination la plus complète possible avant abattage. Pour évaluer ces options, un projet Casdar vient d'être déposé par ITEL (Institut de l'Élevage de Guadeloupe), le centre INRAE Antilles-Guyane et l'Université de Lorraine. Enfin, INRAE apporte un soutien scientifique au programme régional de prévention Jardins Familiaux (JAJA) pour promouvoir des techniques de culture et d'élevage des volailles qui permettent aux particuliers auto-consommateurs de produire leurs œufs, volailles ou légumes en minimisant leur risque d'exposition à la chlordécone.



La qualité de l'eau des lacs africains sous haute surveillance

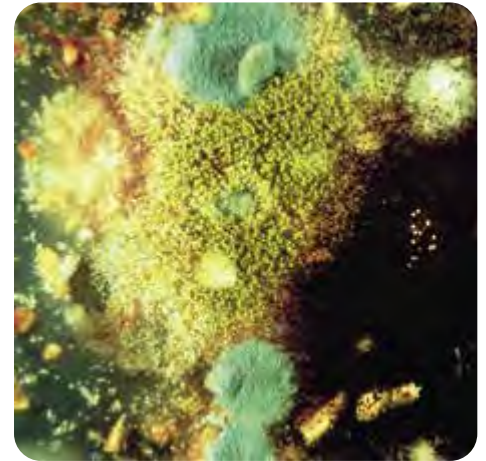
Coordonné par INRAE, le programme WaSaf (Protection des ressources en eau potable de surface en Afrique), évalue et surveille la qualité des eaux de trois lacs africains : le Lac de Guiers au Sénégal, les baies du nord du Lac Victoria (Ouganda) qui sont déjà utilisées pour la production d'eau potable, et la lagune Aghien (Côte d'Ivoire) qui le sera prochainement. Ces travaux montrent que la



situation est déjà très préoccupante et qu'elle pourrait devenir catastrophique dans les années à venir. Avec la forte croissance démographique que connaît ce continent et ses conséquences en termes de déforestation et de rejets d'eaux usées sans aucun traitement, ces écosystèmes lacustres connaissent une eutrophisation rapide, c'est à dire un enrichissement de leurs eaux en nutriments (phosphore et azote). Cette eutrophisation permet la production de fortes biomasses phytoplanctoniques qui peuvent soutenir une forte production piscicole. Cependant, elle conduit également très souvent à des proliférations de cyanobactéries (bactéries photosynthétiques) potentiellement capables de produire des toxines dangereuses pour la santé humaine. Depuis quatre ans, les scientifiques du programme WaSaf s'efforcent de diagnostiquer l'état des lacs et de sensibiliser les populations et les autorités locales aux risques liés à la dégradation de la qualité de l'eau. Ils travaillent également avec les institutions locales pour la mise en place d'une surveillance sur le long terme de ces écosystèmes en faisant appel à diverses stratégies. L'une d'entre elles concerne l'implication des habitants vivant au bord de ces plans d'eau pour surveiller les cyanobactéries, en complément des suivis réalisés par les institutions. Des chercheurs en sciences sociales et sciences de l'environnement ont ainsi impliqué les populations de trois villages répartis autour de la lagune Aghien, dans la surveillance de ces microorganismes qui, lorsqu'ils prolifèrent, donnent une coloration verte très prononcée à l'eau. Grâce à une application sur smartphone, les villageois peuvent signaler leur présence en temps réel, ce que le suivi institutionnel ne permet pas. En parallèle, des rencontres régulières ont été organisées pour sensibiliser les populations locales aux causes de ces proliférations de cyanobactéries, aux risques associés, et aux moyens pour tenter de limiter leur importance. Ces échanges ont conduit à une prise de conscience, les chefs de village interdisant notamment aux villageois de déféquer dans le lac ou d'y déverser des produits détergents. La forte mobilisation citoyenne rencontrée a également montré combien il était nécessaire d'impliquer ces populations locales dans toutes les démarches institutionnelles actuelles visant à mettre en place une surveillance et une gestion durables de ces écosystèmes.

L'étude sans fin des mycotoxines

Les mycotoxines sont des métabolites produits par des moisissures qui peuvent provoquer de graves dommages chez l'Homme et l'animal qui les consomment. Si on les trouve en particulier dans les céréales, elles sont également présentes dans d'autres aliments, tels que certains fruits secs et séchés. Et leur présence n'a rien d'anecdotique, puisqu'elles affecteraient plus de 70% de la production agricole mondiale ! De plus, les aliments contaminés contiennent souvent un mélange de champignons. D'abord parce qu'un champignon peut produire plusieurs mycotoxines différentes en même temps. Ensuite parce qu'un aliment peut être contaminé par plusieurs champignons. Enfin parce que chacune des matières premières utilisées dans notre alimentation peut en héberger. Or, ces mélanges peuvent avoir trois effets distincts : additif, antagoniste ou synergique. Dans ce dernier cas, cela signifie que la toxicité cumulée de plusieurs mycotoxines, est supérieure à la somme de chacune d'elles. C'est ce qu'ont montré les chercheurs d'INRAE, et cet effet était d'autant plus important que les concentrations étaient faibles. En clair $1+1 = 3, 5, \text{ ou } 9$, et non pas 2 comme c'est le cas pour un effet additif ! On ne connaît pas encore toutes les conséquences de tels mélanges pour la santé humaine ou animale, mais des expériences menées *in vitro* montrent que l'intestin est une cible pour les mycotoxines. Elles altèrent notamment la fonction de barrière intestinale pour se diffuser dans l'organisme, suivies évidemment par d'autres contaminants/micro-organismes. Des tests *in vivo* devront confirmer cette alarmante constatation. Plus de 1 000 mycotoxines ont été identifiées, dont une trentaine jugées dangereuses, mais l'on en découvre régulièrement de nouvelles. Les scientifiques étudient ces toxines dites « émergentes » et s'efforcent de mesurer leur toxicité propre, et leur niveau de toxicité lorsqu'elles sont mélangées à d'autres. L'objectif étant d'identifier les plus dangereuses, qui viendront s'ajouter à la liste de celles dont la présence est systématiquement recherchée par les organismes de contrôle. Mais les mycotoxines sont thermostables, ce qui signifie qu'elles résistent à des températures élevées, et subsistent même lorsque la moisissure est éliminée. Pour cette raison, la prévention reste la meilleure arme, et consiste à adapter les pratiques agronomiques au tout début de la chaîne de production de manière à éviter ou limiter au maximum la contamination.





Les moustiques font de la résistance

Les insecticides. Voilà le moyen le plus efficace pour cibler les moustiques, vecteurs d'agents pathogènes susceptibles de provoquer des maladies infectieuses, à commencer par le paludisme. Utilisés depuis des dizaines d'années avec succès, ils exercent toutefois une forte pression de sélection sur les insectes, qui développent assez rapidement des résistances. Mais jusqu'à récemment, on ne s'était guère interrogé sur les conséquences de cette résistance : un moustique résistant est-il un transmetteur plus efficace d'agents pathogènes ? On pourrait le croire, puisqu'il va continuer à vivre, et donc piquer plus longtemps. Oui, mais dans le même temps, puisqu'il est résistant, il va également être exposé à de plus grandes quantités d'insecticides qui vont pénétrer son organisme. Avec quelles conséquences pour le parasite ou virus qu'il héberge ? Perturbé, celui-ci peut-il en mourir ou bien se retourner contre son hôte, et l'affaiblir ou le tuer ? Si c'est le cas, cela signifie que la résistance du moustique ne serait pas aussi dommageable que prévu. Voilà les questions auxquelles s'efforcent de répondre aujourd'hui les chercheurs, et ça n'est pas une mince affaire, tant le nombre de variables est important, au point de mettre à mal les modèles mathématiques les plus récents. Or, le temps presse car les échanges internationaux et le changement climatique entraînent l'émergence ou la réémergence en Europe de nouvelles pathologies causées par des virus véhiculés, non par des insectes importés comme le moustique tigre, mais par les moustiques communs.

C'est le cas du virus du Nil occidental (West Nile), transmissible à l'Homme. Bien que l'infection soit le plus souvent asymptomatique, le virus peut causer fièvre et maux de tête, voire s'avérer mortel. Les chercheurs se sont donc intéressés aux conséquences de la résistance aux insecticides, du moustique *Culex pipiens quinquefasciatus*, sur sa compétence vectorielle, c'est à dire sa capacité à ingérer et assurer le développement d'un agent pathogène lors de son repas de sang, et à le transmettre à sa prochaine victime. Et, mauvaise nouvelle, ils ont constaté un accroissement de la dissémination du virus West Nile dans l'organisme des moustiques résistants, conduisant à une augmentation de leur compétence vectorielle. De même, une expérience menée en Afrique a montré que des moustiques résistants, vecteurs du paludisme, voyaient leur compétence vectorielle augmenter. Mais cette fois l'exposition de ces moustiques aux insecticides perturbait le développement et la transmission du parasite. Ces deux études confirment que si l'on souhaite évaluer l'efficacité des méthodes de lutte, il est primordial de prendre en compte l'écosystème dans sa globalité, plutôt que de s'intéresser seulement à l'un des acteurs, Homme, moustique, agent pathogène ou insecticide.



Altérations de la biodiversité et déséquilibres écologiques

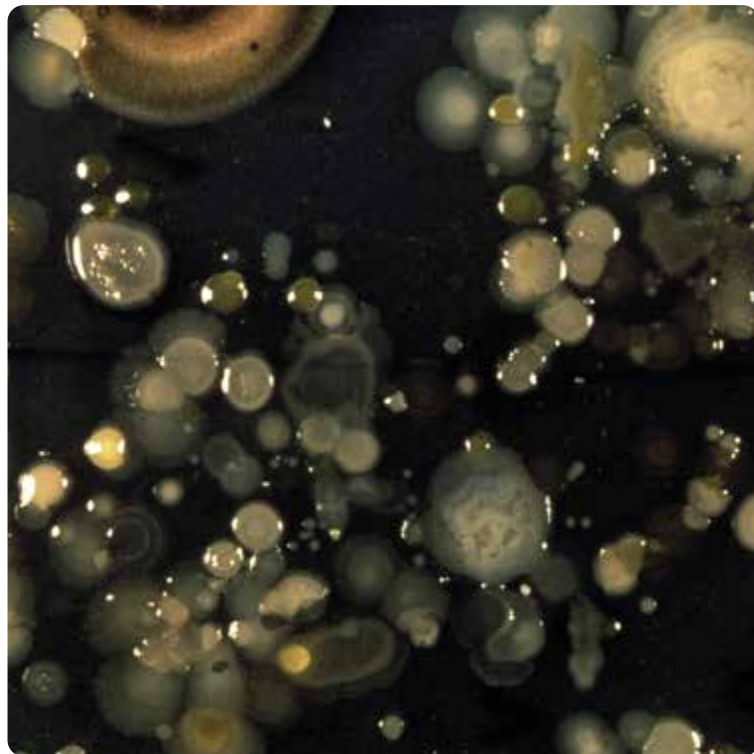
L'anthropisation des écosystèmes, les pratiques culturales et le changement climatique affectent l'environnement. Et les manifestations de ces dérèglements sont souvent inquiétantes. A INRAE, les chercheurs étudient les conséquences de ces bouleversements, développent des modèles de prévision à moyen et long terme, et s'attachent à proposer des solutions ou des pistes de réflexions susceptibles de limiter les impacts négatifs, à défaut de les empêcher.

Les richesses insoupçonnées du sol

Un gramme de sol contient un milliard de bactéries, de cent mille à un million d'espèces différentes. A ce titre, le sol constitue l'un des plus grands réservoirs de biodiversité et de ressources génétiques de notre planète. Mais avec d'importantes disparités, qui dépendent notamment de l'usage qu'on en fait. Durant quinze ans, les chercheurs d'INRAE ont caractérisé la diversité des sols du territoire national, en s'appuyant sur l'échantillonnage de 2 200 sols prélevés pour le Réseau de Mesure de la Qualité des Sols. Ce colossal travail d'analyse est compilé dans l'Atlas français des bactéries du sol, premier ouvrage à inventorier l'ensemble de la diversité microbienne à l'échelle d'un pays. Et les nouvelles sont plutôt rassurantes. Non, les sols français ne sont pas morts. On trouve de la diversité et de l'abondance microbienne dans tous les milieux, quel que soit l'usage qui en est fait. Bien sûr, les sols agricoles ou viticoles présentent une abondance microbienne moindre que ceux des forêts, mais un changement de pratiques pourrait suffire à rétablir cette richesse dans ces milieux perturbés. Les chercheurs prônent l'agriculture de conservation, qui consiste à couvrir les terres de végétation tout au long de l'année, soit par la mise en place d'intercultures, soit en enherbant les sols des parcelles viticoles, une pratique qui consiste aussi à limiter au maximum le travail du sol. Pourquoi ? Tout simplement parce qu'en remuant la terre, par exemple lors des labours, on casse les macrostructures, les agrégats. Autrement dit, on détruit la « maison » des microorganismes.

Et les conséquences sont néfastes à double titre car non seulement on perd de la biodiversité, avec notamment la disparition d'espèces capables de dégrader les polluants, mais cette pratique favorise l'émergence de bactéries pathogènes qualifiées de stratégies opportunistes, qui sont promptes à coloniser les environnements perturbés... et qu'il faudra combattre à l'aide d'intrants chimiques ! Pour les chercheurs, l'idéal consisterait à associer l'agriculture biologique, qui pallie la réduction des intrants par un important travail du sol, et l'agriculture de conservation. Mais combiner ces deux approches exige de solides connaissances techniques, une observation constante des parcelles et l'usage d'outils de suivi parfois complexes. C'est là que la science participative intervient.

Depuis plusieurs années, les chercheurs d'INRAE travaillent en étroite collaboration avec les agriculteurs, afin d'acquérir des connaissances, identifier leurs besoins et contraintes, dans le but de développer les outils et méthodologies adaptés à leur situation. Avec un objectif ambitieux : permettre à l'exploitant de construire un système durable, qui soit à la fois économiquement viable malgré une prévisible baisse des rendements, et suffisamment simple à mettre en œuvre pour éviter une surcharge de travail dissuasive.





Les paysages, complexes par nature

Dans quelle mesure la composition des paysages impacte-t-elle l'abondance des ravageurs des cultures et de leurs ennemis naturels, oiseaux, syrphes, carabes, coccinelles... ? Depuis quelques années, les chercheurs INRAE s'échinent à répondre à cette question fondamentale. Pourtant, malgré l'amélioration des modèles mathématiques et statistiques, malgré la somme de connaissances et de données acquises jusqu'à aujourd'hui, ils n'obtiennent pas de résultats clairs. Ils ont bien identifié certaines des raisons qui déterminent l'abondance des ravageurs et des ennemis naturels, mais les résultats en termes de recommandations pour la protection des cultures ne sont pas aussi tranchés qu'espérés. On sait maintenant que la grande majorité des ennemis naturels sont dépendants des habitats non cultivés, ce qui n'est pas le cas de la plupart des ravageurs. Et les études successives le confirment, plus un paysage intègre bois, haies et autres bandes enherbées, plus la variété et la quantité d'ennemis naturels présents dans les parcelles sont importantes. Autrement dit, plus le paysage est complexe, plus il compte d'ennemis naturels (et les ravageurs dans les parcelles n'ont qu'à bien se tenir !).

Le problème, c'est que parfois une telle configuration de paysage est aussi favorable à certains ravageurs, qui fréquentent les habitats semi-naturels au cours de leur cycle de vie. Dans ces cas précis, la protection des cultures n'y gagne pas. Autre enseignement, un paysage présentant une forte proportion de parcelles en agriculture biologique compte autant ou plus d'ennemis naturels, et autant ou moins de ravageurs, qu'un paysage essentiellement exploité en conventionnel. Dit autrement, l'augmentation du bio dans le paysage n'augmente pas le nombre de ravageurs, ce qui est une bonne nouvelle pour les agriculteurs... mais elle n'augmente pas forcément non plus celui de leurs ennemis naturels. Enfin, les études montrent que l'organisation spatiale d'un paysage impacte la présence d'ennemis naturels. Par exemple, ils pourront parcourir l'ensemble d'un champ en longueur bordé de haies ou traversé par des bandes enherbées, au contraire d'une vaste parcelle carrée ou circulaire, dont le centre, trop éloigné des habitats semi-naturels, ne sera jamais visité.



Rongeurs et pathogènes: un monde d'interactions

Les petits rongeurs qui peuplent les forêts et les parcs urbains sont susceptibles de véhiculer une importante variété d'agents pathogènes (bactéries responsables de la maladie de Lyme, de leptospiroses...), sans présenter de symptômes chez les rongeurs mais être à l'origine de maladies chez l'Homme. Ils sont notamment porteurs sains d'hantavirus, qui peuvent provoquer de graves maladies chez l'humain (maladies pulmonaires, fièvres hémorragiques...). La contamination s'effectue par les voies respiratoires, lors de l'inhalation de particules virales en suspension, provenant de la salive ou des fèces des rongeurs. Les cabanes de chasseurs, où ces animaux se réfugient durant l'hiver, constituent ainsi un réel danger pour les chasseurs qui y pénètrent, plusieurs mois après les avoir fermées.

Dans le cadre du projet européen BiodivERSA-BioRodDis, piloté par INRAE, les scientifiques s'intéressent aux liens biodiversité-santé, et en particulier à l'influence de la biodiversité sur la dynamique des pathogènes, en forêt et dans les parcs urbains. De précédentes études se sont intéressées à l'existence d'un « effet dilution », qui prévoit que plus la diversité d'hôtes est importante dans un milieu donné, et moins les risques de contamination par un pathogène sont importants, celui-ci, en théorie, rencontrant moins facilement son hôte. Mais on sait désormais qu'un même hôte est fréquemment infecté massivement par plusieurs pathogènes à la fois. Les chercheurs souhaitent donc vérifier si l'on retrouve cet effet dilution, en observant l'ensemble des agents pathogènes qui circulent dans des populations de petits rongeurs. Ils vont également s'intéresser au microbiote intestinal qui peut conférer une certaine résistance ou tolérance aux pathogènes. Les nombreuses espèces de cette flore pourraient se transmettre entre rongeurs, notamment *via* les excréta. Dans quelle mesure la diversité de cette flore est-elle partagée entre rongeurs ? Peut-elle protéger les animaux des infections et participer à réduire la circulation des pathogènes ? Les scientifiques utilisent aussi des modèles de prédiction du changement climatique, afin de mesurer son impact sur les niches écologiques des rongeurs et des pathogènes.

A terme, l'ensemble de ces données permettra de mieux appréhender la nature des pathogènes qui circulent dans les forêts et parcs urbains et de transférer cette connaissance au public. Le projet BiodivERSA-BioRodDis s'inscrit plus largement dans la démarche One Health de par sa forte dimension transdisciplinaire et sociologique. Il s'agit d'analyser dans quelle mesure les professionnels de santé et les personnes qui fréquentent ces lieux (professionnels de la forêt, des parcs, particuliers profitant de ces espaces pour usage récréatif...) connaissent les risques qui y sont associés. Ceci permettra de mettre en place des campagnes de prévention plus ciblées et plus efficaces. En conclusion, ce projet devrait participer à la définition et à la mise en place de stratégies « gagnant-gagnant », combinant conservation de la biodiversité et limitation du risque (danger et exposition) infectieux.

Les **leptospiroses** sont des maladies infectieuses, de gravité variable, dues à des bactéries du genre *Leptospira*.

Ce sont des anthroponoses, maladies communes aux humains et aux animaux (mammifères). Les réservoirs principaux sont les rongeurs sauvages (porteurs sains), puis les chiens et les animaux de rente (porcs, chevaux, bovins...). Ces animaux excrètent les bactéries pathogènes dans leur urine, qui contaminent le sol et les eaux, source directe ou indirecte des infections humaines (activités en eaux douces ou usées).



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. A 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 ? 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 enfin à la reproduction. 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. Certains de ces animaux 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



des micromammifères et des chevreuils, ces derniers ayant 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 d'agents 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 météorologiques. Ce travail a été complété par la génération de paysages virtuels pour mesurer comment la composition du paysage, par exemple l'ajout de haies ou la diminution des surfaces forestières, influence la densité et la propagation des tiques.

Une tique pousse l'autre

L'activité et l'abondance des tiques dépendent-elles des conditions météorologiques et environnementales ? Oui, comme le montrent les analyses menées dans le cadre du projet Climatick. Depuis 2014, les chercheurs prélèvent tout au long de l'année des tiques (*Ixodes ricinus*) sur huit observatoires situés en forêt et zones boisées, répartis sur l'ensemble de la France, à l'exception du bassin méditerranéen. Ils peuvent ainsi modéliser leur activité, et notamment le moment où elles sont à l'affût en recherche d'hôte, en fonction des caractéristiques météorologiques et climatiques. Et les résultats sont contrastés. En effet, la période d'activité la plus forte de ces gloutons arachnides diffère selon les régions. Ainsi, elle s'étend d'avril à juin en plaine et de mai à juillet en montagne. Mais

la dynamique des tiques au cours d'une année dépend aussi des conditions climatiques de l'année précédente. D'où l'intérêt de poursuivre les prélèvements sur le long terme. Les données recueillies permettront en outre de connaître l'évolution des aires de répartition des tiques, en fonction du changement climatique. Sensibles à la chaleur, elles montrent des signes de déplacement vers le nord, mais aussi en altitude. Le sud, enfin à l'abri ? Pas vraiment, car une autre tique, tout aussi problématique, s'est installée en France depuis une dizaine d'années. *Hyalomma marginatum*, originaire d'Afrique, peut en effet transmettre le virus de la fièvre hémorragique de Crimée-Congo, un virus de type Ebola, dont le taux de létalité peut atteindre 40% et pour lequel il n'existe aucun vaccin. Pour le moment, la présence du virus n'a pas été attestée en France métropolitaine. Mais pour surveiller l'évolution de cette tique émergente, et rechercher la présence d'agents pathogènes, des campagnes d'observation le long de transects ont été réalisées en 2019 dans le pourtour méditerranéen, dont la vallée du Rhône.



A l'assaut des chenilles processionnaires

Qui ne s'est pas étonné à la vue de ces longs rubans de chenilles défilant en file indienne sur le sol ou le tronc des arbres ? On pourrait presque s'émerveiller d'un tel comportement, si les processionnaires n'étaient d'aussi dangereux bioagresseurs. Pour l'arbre d'abord, puisque les chenilles se nourrissent, selon les espèces, des aiguilles des pins et cèdres, ou des feuilles des chênes. Cette importante défoliation entraîne un affaiblissement de l'arbre et un ralentissement de sa croissance, même si l'issue est rarement fatale. Mais surtout, les chenilles libèrent dans l'air des soies urticantes très allergènes, qui peuvent causer des démangeaisons, troubles oculaires et jusqu'à de graves difficultés respiratoires. Les animaux ne sont pas à l'abri, les chiens notamment qui, en se léchant la fourrure ou au contact avec une procession au sol, peuvent développer des œdèmes et une nécrose de la langue. Autant dire que la lutte contre les chenilles processionnaires constitue un véritable enjeu de santé publique. Le changement climatique est aussi un élément à prendre en compte. Dans le cas de la processionnaire du pin par exemple, le réchauffement climatique a permis une extension de l'aire de répartition vers le nord en raison d'une meilleure survie hivernale. Le front naturel se trouve actuellement à la hauteur de Paris, mais le transport accidentel par l'Homme a permis à des colonies de s'établir dans le Nord et l'Est de la France.

INRAE, qui explore depuis de nombreuses années toutes les pistes permettant de contrôler le développement de ces insectes ainsi que d'autres chenilles phytophages, a mis au point des méthodes de lutte efficaces et souvent novatrices, basées notamment sur l'utilisation des phéromones.



Des bons usages de la phéromone

L'utilisation des phéromones pour contrôler les populations de bioagresseurs repose sur trois leviers principaux : le monitoring, le piégeage de masse et la confusion sexuelle. Dans le cas du monitoring, l'objectif n'est pas tant d'éliminer la menace que de contrôler son évolution afin de déterminer où et quand agir. Ainsi, des pièges disséminés dans des endroits stratégiques permettent de détecter les premiers vols des papillons, et l'évolution des populations au cours de la saison de reproduction. Au contraire, le piégeage de masse consiste à attirer un maximum de papillons mâles afin de les éliminer et réduire ainsi la descendance. Enfin, la confusion sexuelle vise à saturer l'air de phéromones, dans le but de désorienter l'insecte et de l'empêcher d'atteindre la femelle. Cette méthode est particulièrement efficace dans le cadre de la lutte contre les processionnaires, car la durée de vie du papillon mâle n'est que d'une journée.

Projets SaveBuxus

Le buis, plante emblématique des jardins publics et patrimoniaux, et largement présente dans le milieu naturel, est en grave danger. En cause, la pyrale du buis (*Cydalima perspectalis*), un papillon nocturne originaire d'Asie centrale, et introduit fortuitement à la fin des années 2000. Les dégâts que causent les chenilles sont considérables, notamment en raison de la pression énorme qu'elles exercent sur ces plantes d'ornement. Trois jours suffisent à défolier totalement un arbuste qui, bien que robuste, finit par dépérir, d'autant que trois générations de larves peuvent s'y succéder en une année. En forêt, les conséquences, quoique moins visibles, sont tout aussi préoccupantes car les buxaias constituent un habitat privilégié pour certaines espèces et les racines du buis sont souvent essentielles pour maintenir les sols ou les blocs rocheux.

Les projets SaveBuxus I (2014-2017) puis SaveBuxus II (2018-2020) se sont donnés pour objectif de concevoir des moyens de lutte biologique contre la pyrale, en ciblant tous les stades de son développement. Et notamment les adultes, par le biais du piégeage et de la confusion sexuelle. Très impliqué dans le projet, INRAE a conçu Buxatrap, un piège utilisé avec succès depuis trois ans. Et les recherches se poursuivent, pour en améliorer encore l'efficacité. Si l'élimination totale de ce nouvel agresseur est désormais illusoire, l'usage conjoint des différents outils de lutte biologique pourrait permettre de maintenir sa nuisance à un niveau acceptable.



02.



Conséquences directes et indirectes sur la santé animale végétale et humaine

Les pesticides et autres polluants représentent un danger pour l'environnement, la santé humaine et animale, comme le montrent encore les dernières études, notamment menées à INRAE. Sciences sociales, biologie, génétique, agronomie... toutes les disciplines de l'Institut se mobilisent et interagissent, pour imaginer des moyens de réduire leurs impacts, et pour accompagner la société dans la transition écologique.

L'étude des pesticides à 360°

Ces dernières années ont été marquées par la montée des controverses liées à l'impact des pesticides pour la santé et l'environnement, mais aussi sur les procédures d'autorisation de leur mise sur le marché. Pour tenter de les éclairer, des chercheurs d'INRAE et d'autres organismes ont constitué un consortium associant économie, agronomie, histoire, sociologie, toxicologie, écotoxicologie, épidémiologie et chimie, autour d'un cas d'étude sujet à controverse : les fongicides SDHI. Ces molécules empêchent le développement de champignons affectant les cultures, en bloquant la succinate déshydrogénase, une enzyme impliquée dans la respiration cellulaire. Mais ces SDHI ont aussi une action sur cette enzyme chez la plupart des êtres vivants, humain compris.

Dans le cadre de ce projet intégratif, le consortium pluridisciplinaire s'intéresse aux politiques publiques, en ciblant les procédures d'autorisation de mise sur le marché de pesticides. Il apparaît en effet que les procédures réglementaires européennes n'évaluent pas directement le mécanisme des fongicides SDHI sur la respiration mitochondriale. Quelles connaissances les procédures réglementaires mobilisent-elles pour évaluer les effets hors cible des pesticides ? Dans quelle mesure la recherche académique peut-elle apporter des données validées, dans quel délai et à quel coût ? Quelles stratégies adoptent les entreprises pour s'adapter aux procédures, et ces dernières influencent-elles le choix des produits présentés pour autorisation/homologation ?

En répondant à ces questions, les chercheurs espèrent identifier les moyens d'améliorer la prise en compte des effets des pesticides sur la santé et l'environnement dans les procédures réglementaires. L'étude comprend également un volet agroéconomique, qui vise à étudier les bénéfices de l'usage des pesticides pour les agriculteurs, et l'impact économique de la reconception des systèmes, dans le but de réduire leur usage.





Entre les abeilles, la concurrence est rude !

L'abeille domestique (*Apis mellifera*) est précieuse. Pour son rôle dans la reproduction des plantes d'abord, mais aussi bien sûr pour le miel qu'elle produit dans les ruchers, sous le contrôle attentif des apiculteurs. C'est d'abord pour la préserver elle, que les pouvoirs publics, pressés par la société, ont décidé l'interdiction des néonicotinoïdes. Mais n'oublions pas que les abeilles sauvages ont elles aussi payé un lourd tribut à ces insecticides. Enfin du répit pour ces dernières ? Non, comme viennent de le démontrer des chercheurs d'INRAE. Les abeilles sauvages doivent en effet affronter la concurrence alimentaire... des abeilles domestiques qui envahissent leur territoire ! Les apiculteurs sont en effet toujours plus nombreux à installer leurs ruchers dans des milieux naturels, afin de les préserver des intrants chimiques et autres polluants présents dans les agrosystèmes.

Et ça n'est pas sans conséquences. Lors d'une étude visant à mesurer l'impact de leur présence sur la faune locale, dans les garrigues du Massif de la Côte Bleue, au Nord-Ouest de Marseille, les chercheurs ont observé une diminution de 55% des abeilles sauvages dans un rayon de 0,6 à 1,1 km autour des ruchers ! Un chiffre inquiétant, qu'il convient toutefois de relativiser. D'après les chercheurs, les abeilles de taille égale ou supérieure aux abeilles domestiques ont la capacité de se déplacer sur de longues distances, et donc au-delà de l'emprise des ruches, pour trouver leur nourriture. En outre, elles sont capables de recoloniser l'espace, une fois le rucher déplacé. Les petites abeilles, dont certaines ne mesurent que quelques millimètres semblent aussi s'accommoder de cette présence, peut-être parce qu'elles ne butinent pas forcément les mêmes fleurs. Plus qu'une perte de la biodiversité, on assiste donc à une perturbation qui peut se résorber à condition de lever la pression.

Les chercheurs préconisent ainsi de déplacer régulièrement les ruchers, de les espacer suffisamment pour éviter une saturation du milieu, ou encore de libérer la place suffisamment longtemps pour permettre aux populations natives de se réapproprier le milieu et de préparer les nids pour l'année suivante. Les travaux se poursuivent, et portent maintenant sur le suivi de la biologie et de la reproduction d'espèces plus spécialistes, et notamment celles qui ont des exigences particulières en termes d'habitat, telle l'anthidie, qui niche uniquement dans des coquilles d'escargots. Les chercheurs vont mesurer l'impact de la compétition alimentaire sur la quantité de nids produits par ces abeilles, et donc sur leur descendance.



La sentinelle de l'eau pas plus grosse qu'une crevette!

Ce petit crustacé est devenu en quelques années la coqueluche des agences de l'eau. Le gammare est en effet une formidable sentinelle du milieu aquatique. Qu'un cours d'eau subisse la moindre contamination, et le voilà qui perd soudainement l'appétit, peine à se reproduire ou retarde sa mue. Laissez-le trois semaines dans un milieu contaminé, et vous retrouverez dans son organisme les traces de toutes les molécules chimiques qui polluent le cours d'eau. Voilà plus d'une quinzaine d'années que les chercheurs tirent parti des atouts de cette étonnante créature. Ils ont notamment mis au point une technique innovante de biosurveillance, basée sur l'utilisation de gammares élevés en environnement contrôlé, puis calibrés, triés et conditionnés par la société Biomae, essaimage du Laboratoire d'écotoxicologie d'INRAE. Ces précieuses sentinelles sont disposées dans des cages avec une quantité précise de nourriture, et plongées dans le milieu à analyser : abords d'un site industriel, station d'épuration des eaux usées ou de captage d'eau potable, zone de lâcher de barrage ou de déversoir d'orage, et plus largement n'importe quel site demandant une surveillance particulière. Les chercheurs ont déterminé avec précision la quantité de nourriture qu'un gammare immergé dans un milieu non contaminé consomme en fonction de la température ambiante. Alors, s'il ne mange pas comme il faut, cela signifie que le milieu, toxique, perturbe son métabolisme. Mais ça n'est pas tout. Les chercheurs ont développé des méthodes d'analyses chimiques permettant de déceler la présence de plus de 200 micropolluants organiques et métalliques dans un gammare exposé au milieu durant trois semaines. Très précis, rapide et simple à mettre en place dans n'importe quel cours d'eau, le dispositif est aujourd'hui utilisé par l'ensemble des agences de l'eau, et un nombre croissant d'entreprises privées. A présent, les chercheurs d'INRAE et Biomae réfléchissent à la façon d'utiliser les données d'analyse provenant des centaines de stations évaluées. Leur projet : élaborer un outil capable de prédire les types de micropolluants susceptibles d'altérer le milieu aquatique en cas d'installation ou modification de telle ou telle infrastructure. Mais pour parvenir à ce résultat, il faudra encore compter durant quelque temps sur l'assistance des précieux gammares, de manière à recueillir suffisamment de connaissances écotoxicologiques pour garantir la robustesse des modèles.



@Creative Commons Attribution

Confirmation de l'effet cocktail des pesticides

On le suspectait, mais une nouvelle étude d'INRAE le confirme : l'exposition à un mélange de pesticides provoque des perturbations métaboliques chez les mammifères. Durant un an (soit l'équivalent de trente ans chez l'humain), les chercheurs ont nourri des rats à l'aide d'aliments contenant un cocktail de six pesticides utilisés dans les pommeraies, en France et en Europe. La surprise provient du fait que la réaction à l'exposition prolongée diffère suivant

le sexe de l'animal. Tous les mâles, en plus de se retrouver en surpoids, ont développé un diabète de type 2 (hyperglycémie chronique) et une stéatose (accumulation de graisse dans le foie). Au contraire, les femelles ont montré des perturbations hépatiques se traduisant par un stress oxydant, ainsi qu'une modification de l'activité du microbiote intestinal, dont les conséquences restent à déterminer. Même exposition, effets différents, voilà qui pose question. En comparant l'expression des gènes qui codent pour les systèmes de détoxification, les chercheurs ont constaté que chez les mâles celle-ci s'effectuait principalement au niveau du foie, ce qui n'était pas le cas chez les femelles. Ils pensent que la détoxification pourrait dans ce cas s'effectuer au niveau intestinal, et peut-être par le microbiote. Autre hypothèse, les œstrogènes pourraient assurer un rôle protecteur vis-à-vis du développement de certaines pathologies métaboliques. Quoi qu'il en soit, ces résultats confirment ceux obtenus par l'étude NutriNet-Santé de 2017, qui montrent que les individus consommant une proportion importante d'aliments issus de l'agriculture bio, ont une probabilité moindre de présenter des maladies métaboliques. Les chercheurs poursuivent à présent leurs travaux afin de mesurer l'impact de l'exposition aux pesticides pendant la gestation et la lactation sur la santé de la descendance.





03.



Les réponses de la recherche

Les interactions entre un hôte et ses pathogènes font appel à des mécanismes très complexes, que les chercheurs s'attachent à décrypter. Une étape essentielle pour développer des méthodes de lutte contre les bioagresseurs, et pour aider la plante ou l'animal à se défendre plus efficacement. Par exemple, grâce à la sélection génomique, *via* la stimulation de ses défenses naturelles, ou en tirant parti des microorganismes symbiotiques présents dans son environnement.



A la découverte du phytobiome

Utiliser la biodiversité naturelle de l'agroécosystème pour optimiser l'adaptation de la plante cultivée à différents stress (stress hydrique, nutritionnel et bioagresseurs). L'idée n'est pas nouvelle, mais la nécessité de réduire l'usage des intrants dont les produits phytosanitaires la rend à nouveau séduisante. Durant des décennies, on a totalement délaissé le sol pour se focaliser sur la plante, sélectionnée avec toujours plus de soin, essentiellement sur le critère du rendement, et abondamment nourrie d'engrais pour sa croissance et consommatrice en pesticides pour sa protection. Tout ce que le sol comptait de diversité de microorganismes était considéré comme une boîte noire, voire comme un réservoir d'organismes phytopathogènes. Nous savons désormais qu'au contraire, l'ensemble, qu'on nomme phytobiome forme un écosystème complexe où les organismes sont en perpétuelle interaction. Surtout, les chercheurs ont découvert que la plante sélectionne, au sein de la biodiversité microbienne du sol, les microorganismes qui lui permettent de s'adapter aux stress biotiques (bioagresseurs par exemple) et abiotiques (sécheresse, température...). Elle les nourrit en retour, en libérant dans le sol différents composés organiques issus de la photosynthèse. Mais cette action a aussi pour conséquence de modifier la composition physique et biochimique du sol et donc la nature des microorganismes présents aux abords de la rhizosphère. Certains sont utiles à la plante, stimulant par exemple ses systèmes de défense, d'autres sont pathogènes, mais tous interagissent.

Au sein d'INRAE, écologues, agronomes, généticiens, pathologistes, mathématiciens... partagent leur expertise, dans le but de mieux comprendre et d'envisager des leviers pour piloter ces interactions. Ici, ils étudient l'impact des systèmes de production sur la diversité des microorganismes. Là, ils s'efforcent de décrypter les subtilités des dialogues moléculaires entre les différents acteurs du phytobiome... Leur objectif : optimiser l'écosystème microbien, en sélectionnant les microorganismes les plus susceptibles de contribuer à l'adaptation de la plante aux stress biotiques et abiotiques, dans un contexte de durabilité des systèmes agricoles.

Car c'est bien de cela qu'il s'agit désormais : remettre la nature et les interactions biologiques au cœur de l'agroécosystème, afin de contribuer à faire émerger de nouvelles pratiques agricoles durables, et contribuant à la santé des écosystèmes et des sociétés humaines.



Stress biotique/abiotique :

les plantes subissent un stress biotique lorsqu'elles sont agressées par des organismes vivants, tels que champignons, insectes ou virus. Le stress abiotique résulte de facteurs environnementaux, par exemple le gel, la sécheresse ou le déficit en nutriments.

La **rhizosphère** est la partie du sol qui comprend les racines des plantes ainsi que l'ensemble de la biodiversité microbienne et la faune qui y sont associés.



Des champignons sous pression

Les champignons phytopathogènes sont des champions de l'adaptation. Prenez *Leptosphaeria maculans* (*L. maculans*) par exemple. Cet agent pathogène des Brassicacées (crucifères), et plus particulièrement du colza, provoque la nécrose de la base de la tige, entraînant une perte de rendement importante pour l'agriculteur. Oubliez les fongicides, peu efficaces sur ce champignon. Ce qui fonctionne en revanche, c'est d'utiliser des cultivars dotés d'un gène de résistance contre *L. maculans*. L'avantage, c'est que l'on évite l'emploi de produits phytosanitaires, la plante étant naturellement protégée de l'agresseur.

Mais il y a deux problèmes. D'abord, des gènes de résistance, les chercheurs n'en ont identifié qu'une poignée. Mais surtout, le champignon, confronté à cette pression de sélection, évolue à vitesse grand V, parvenant très rapidement à contourner la résistance. Les chercheurs s'efforcent donc d'approfondir leurs connaissances de ce redoutable agresseur, tout en contrôlant les populations, en collaboration avec les agronomes, semenciers et autres instituts techniques. La situation est d'autant plus préoccupante que *L. maculans*, comme bon nombre de champignons phytopathogènes, peut s'adapter à de nouvelles espèces végétales, lorsque ses cibles de prédilection ne sont pas disponibles. On parle alors de « saut d'hôte ». Or, depuis quelques années, les agriculteurs utilisent une nouvelle Brassicacée, la moutarde d'Abyssinie (*Brassica carinata*). Réputée pour sa résistance aux stress abiotiques, elle s'emploie principalement en inter-culture, pour composer un couvert végétal et protéger le sol, même si cette plante constitue également une source intéressante d'huile pour les biocarburants. Ce qui surprend, c'est que malgré sa très proche parenté phylogénétique avec le colza, elle fait preuve d'une résistance extrême vis à vis de *L. maculans*. Mais cela pourrait ne pas durer. En effet, les chercheurs ont montré en laboratoire que le champignon peut s'adapter à *B. carinata*.

Pour éviter que cela n'arrive dans les champs, il convient de prendre des mesures pour limiter la pression de sélection qui forcerait l'agresseur à évoluer. Par exemple, en évitant de cultiver la moutarde d'Abyssinie à proximité d'un champ de colza, ou même en inter-culture avec cette espèce. L'adaptation de *L. maculans* à *B. carinata* au laboratoire ouvre aussi la voie au décryptage des mécanismes de résistance de *B. carinata*. Cette compréhension permettrait d'identifier de nouvelles sources de résistance durables, ou de fournir des éléments pour la gestion des résistances déjà connus.



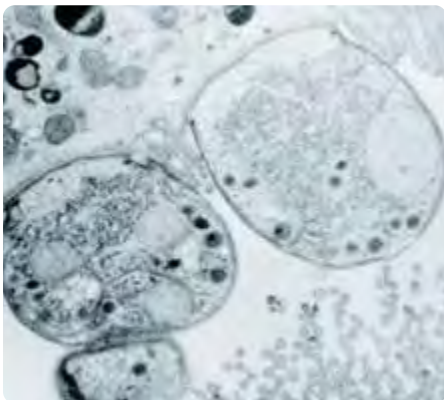
Les blés font de la résistance

La rouille jaune, la rouille brune et la septoriose sont des maladies fongiques à développement rapide, qui impactent les cultures de blé dans le monde entier. Les fongicides montrent une bonne efficacité pour lutter contre ces maladies, mais leur usage est nuisible à l'environnement. L'usage de variétés de blé naturellement résistantes est jugé préférable, mais on sait que les agents pathogènes évoluent et finissent par contourner les défenses de leur hôte végétal. Les chercheurs d'INRAE s'efforcent de caractériser les populations pathogènes pour comprendre comment elles s'adaptent aux résistances variétales dont on cherche à améliorer la durabilité de ces dernières. L'enjeu est d'identifier les variétés les plus efficaces et de les employer à meilleur escient, de manière à limiter la pression de sélection qu'elles exercent. Un moyen efficace consiste à diversifier les variétés cultivées à différentes échelles. S'il n'est pas toujours facile de mettre en place des changements de pratique tel que les « mélanges variétaux », notamment dans les grands bassins céréaliers, l'idée gagne du terrain. Dans les années 1980, une même variété de blé pouvait couvrir jusqu'à 40% des surfaces cultivées. La première « variété » est désormais... un mélange. Pour accompagner ces changements, l'unité BIOGER étudie les interactions entre les plantes, les agents pathogènes et les conditions environnementales. Les chercheurs identifient notamment les gènes de résistance (côté plante) et de virulence (côté champignon), en échantillonnant les populations pathogènes en France et en Europe. Ils dissèquent les contournements de ces résistances – leurs expressions sur le terrain et les mécanismes associés – et tentent d'en prédire les effets sur les nouvelles variétés développées par les sélectionneurs. Ils s'intéressent aussi à l'environnement abiotique des maladies : par exemple, quelles sont les conséquences des variations de température, de celles d'un cycle jour-nuit jusqu'aux effets du changement climatique, sur le développement des épidémies ? Les chercheurs ont notamment constaté que certaines souches de rouille jaune, adaptées aux climats du pourtour du bassin méditerranéen, commencent à se développer plus au nord en Europe. Ils s'intéressent également à la façon dont les champignons pathogènes survivent entre deux saisons de culture, par exemple dans les résidus de blé laissés sur le sol après la récolte (cas de la septoriose) ou dans les repousses de blé (cas de la rouille brune), avant de recontaminer les cultures l'année suivante. Dans ces conditions, vaut-il mieux réserver les variétés résistantes aux agriculteurs qui enfouissent ces sources d'inoculum en pratiquant le labour, et les variétés déjà contournées aux adeptes du semis direct ? Tel est le type de questions auxquelles des modèles, basés sur des données épidémiologiques et développés en collaboration avec d'autres unités de recherche INRAE, devraient aider à répondre. L'ensemble de ces travaux visent à proposer des solutions agroécologiques durables, basées sur les stratégies de déploiement de variétés de blé à différentes échelles spatiales, de la parcelle jusqu'au paysage.



Prévenir et guérir la Cryptosporidiose

La Cryptosporidiose est une maladie parasitaire causée par un minuscule organisme unicellulaire. Infectant les cellules de l'intestin, il provoque de fortes diarrhées et une déshydratation rapide de l'organisme pouvant entraîner la mort. Transmissible à l'Homme, cette zoonose affecte principalement les très jeunes enfants élevés notamment dans des conditions d'hygiène précaires, mais aussi les personnes immunodéprimées souffrant d'un déficit de lymphocytes (greffés, infectés par le VIH...).



Dans le monde animal, les veaux sont particulièrement exposés à la maladie, qui les frappe dès les premiers jours de la vie. Les anticorps apportés par la mère, *via* le colostrum, ne sont pas efficaces pour protéger le nouveau-né et un vaccin administré au jeune animal n'aurait pas le temps d'agir, tant la maladie se déclare rapidement. Dans une approche One Health, pour lutter contre ce parasite, les chercheurs développent des stratégies pour protéger les animaux identiques à celles qui peuvent être utilisées pour l'Homme. Ils explorent actuellement deux pistes conjointes. La première consiste à identifier des molécules capables d'interrompre le développement du parasite dès l'apparition des premiers symptômes. Bonne nouvelle, ils ont tout récemment mis la main sur un candidat très prometteur. Cette molécule, nommée AN3661, empêche la maturation des ARN messagers indispensables à la survie du pathogène. Les premiers tests sur souris ont révélé une efficacité remarquable. La seconde piste vise à renforcer l'immunité de l'hôte. Cette fois, l'idée consiste à utiliser des immunostimulants capables d'interagir avec les récepteurs des cellules de l'immunité innée mimant le comportement d'un agent pathogène, de manière à stimuler la réponse immunitaire protectrice. Administrés dès la naissance, ces leurres pourraient permettre à l'organisme de mieux réagir en cas d'infection par le parasite. Certains composés naturels se révèlent efficaces et, leur utilisation étant bien acceptée par les consommateurs, cela pourrait améliorer sensiblement le bien-être des animaux, et le profit des éleveurs. Enfin, les deux pistes étudiées sont tout à fait compatibles entre elles pour engendrer un maximum d'efficacité.

Le SARS-CoV-2 ne donne pas sa langue au chat

Le virus SARS-CoV-2, responsable de la pandémie actuelle de la Covid-19, est une zoonose, c'est-à-dire une infection d'origine animale transmissible à l'Homme. Mais ce virus est-il transmissible à d'autres animaux ? Des chercheurs d'INRAE ont étudié l'infection présumée du SARS-CoV-2 chez les chats de propriétaires suspectés d'être infectés par le SARS-CoV-2. Pour chaque chat, des prélèvements rectaux et nasopharyngés (nez et pharynx) ont été effectués et les échantillons ont été soumis à un test qRT-PCR ciblant deux gènes du SARS-CoV-2. Un seul chat a été testé positif sur prélèvement rectal et les écouillons nasopharyngés de cet animal ont été testés négatifs. Les antécédents médicaux indiquent que ce chat présentait des signes cliniques respiratoires et digestifs. C'est donc la première fois que des scientifiques mettent en lumière l'infection naturelle d'un chat en France (près de Paris), probablement par ses propriétaires. À ce stade des connaissances scientifiques, il semble que les chats ne soient pas aisément infectés par le virus SARS-CoV-2 même en contact avec des propriétaires infectés. Toutefois, afin de protéger leur animal familier, il est conseillé aux personnes malades de la Covid-19 de limiter les contacts étroits avec leur chat, de porter un masque en sa présence et de se laver les mains avant de le caresser. Pour rappel, les

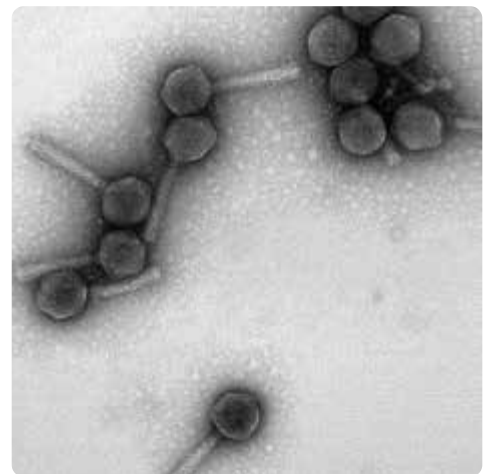


chats ne sont pas considérés comme des acteurs de l'épidémie. A ce jour, 4 chats naturellement infectés ont été signalés dans le monde.

Test qRT-PCR: méthode permettant de quantifier la quantité de virus dans le sang.

Les phages, de puissants alliés contre les bactéries

La colibacillose aviaire, causée par des souches pathogènes d'*Escherichia coli*, est l'infection bactérienne la plus fréquente en élevage avicole, à l'échelle mondiale. L'essentiel des traitements repose sur l'antibiothérapie. Mais l'observation d'un accroissement des résistances, contraint les chercheurs à rechercher d'autres méthodes de lutte contre cette bactérie qui peut causer de gros dommages lorsqu'elle n'est pas contenue. Parmi les plus prometteuses figure la phagothérapie, qui consiste à utiliser les bactériophages (ou phages), des virus qui n'infectent que les bactéries. Si les premiers usages de ces auxiliaires à des fins thérapeutiques remontent aux années 1920, ils sont tombés en désuétude après la découverte des antibiotiques. Notamment parce qu'au contraire de ces derniers, ils sont super spécialisés, ciblant souvent une seule espèce de bactéries. Pourtant, leur efficacité est redoutable, comme l'ont démontré récemment des chercheurs d'INRAE. Ils ont ainsi identifié 20 phages répartis dans 11 familles, qui se sont révélés aussi efficaces pour lutter contre l'infection, que les antibiotiques utilisés habituellement. Ils ont ainsi éliminé 100% des souches d'*Escherichia coli* lors des expérimentations *in ovo*, c'est-à-dire dans des œufs embryonnés, qui peuvent eux aussi être infectés par la bactérie. Bien sûr, les chercheurs ont observé l'apparition de résistances de la part de certaines souches bactériennes confrontées aux phages. Ils en ont même identifié une pour laquelle cette résistance est apparue à toute vitesse. Mais étonnamment, celle-ci avait perdu toute virulence ! Peut-être parce qu'elle a inactivé ou supprimé le récepteur impliqué dans l'interaction avec le phage (par ailleurs impliqué dans la virulence), pour se prémunir contre le phage qui le ciblait spécifiquement. Un bel exemple d'effet inattendu, mais favorable. Quoi qu'il en soit, cette observation démontre qu'il est indispensable d'utiliser des combinaisons de phages plutôt qu'un seul, pour éviter justement l'apparition de résistance. Les tests vont à présent se poursuivre sur poussins et volailles, afin de confirmer ces bons résultats. Il faudra enfin se pencher sur la méthode de diffusion du traitement, préventif ou curatif. La pulvérisation en local fermé pourrait constituer une méthode efficace, pour toucher rapidement un grand nombre d'individus.





La diversité génomique, source de bonne santé !

Lors des épisodes de grippe saisonnière ou de rhume, certains individus ne sont jamais affectés, alors que d'autres tombent régulièrement malades. Il en va de même pour les animaux. Prenez les porcelets par exemple. Lors du sevrage, certains vont contracter des pathologies, et peut-être en mourir, tandis que d'autres, bien qu'élevés dans les mêmes conditions, résisteront aux maladies ou les surmonteront sans grand dommage. Depuis de nombreuses années, des chercheurs d'INRAE s'attachent à identifier les déterminants impliqués dans les défenses immunitaires des animaux. On sait à présent que celles-ci dépendent non seulement de l'animal, mais aussi de l'ensemble des communautés microbiennes (microbiote) qu'il abrite. C'est donc au niveau de cet assemblage, appelé holobionte, et des interactions continues et réciproques entre l'hôte et son microbiote que s'orientent les recherches. Récemment, les scientifiques ont par exemple établi un lien entre la composition du microbiote intestinal avant vaccination et l'intensité de la réponse immunitaire à la vaccination (vaccination contre *Mycoplasma hyopneumoniae* ou contre le virus de la grippe chez le porc).

La composition de la flore intestinale dépend de nombreux facteurs environnementaux, tels que l'alimentation et les pratiques d'élevage, mais elle est aussi pour partie contrôlée par le génome de l'hôte. Les scientifiques cherchent à caractériser les régions du génome de l'hôte qui influent sur la diversité de composition du microbiote, afin de mieux comprendre les multiples interactions qui existent entre l'hôte et son microbiote et qui contribuent notamment aux réponses immunitaires de chaque individu. Au-delà des réponses individuelles, il est également important de considérer la robustesse de la population dans son ensemble. En effet, pour faire face à la variété d'agents pathogènes qu'elle est susceptible de rencontrer, une population doit maintenir une diversité de modalités de réponses pour se défendre. En augmentant la fréquence de certains variants génétiques, la sélection des animaux sur leurs performances productives peut entraîner une diminution de la variabilité génétique des populations d'élevage pour d'autres caractères, comme la capacité immunitaire. Il est donc important de caractériser et préserver conjointement la diversité génétique et fonctionnelle des hôtes et de leurs microbiotes, afin de favoriser la multiperformance des élevages et la santé globale.

Une mosaïque de cultures

La biodiversité cultivée disponible n'est pas suffisamment exploitée. Ainsi, pour des raisons économiques ou organisationnelles, les coopératives mettent souvent à disposition des agriculteurs, une sélection réduite de variétés, alors que le catalogue en compte un très grand nombre. Par ailleurs, on observe en France une importante spécialisation des bassins de production qui privilégient, ici les céréales, là l'arboriculture ou les cultures maraîchères. Tout cela conduit à une simplification de la biodiversité à l'échelle spatiale, de la parcelle au paysage, mais aussi temporelle, au niveau des rotations des cultures. Les grands gagnants, dans ce contexte, ce sont les agents pathogènes, qui profitent de cette homogénéité pour se propager et s'adapter très rapidement aux cultures. Pour pallier ce problème, on recourt à un usage important de produits phytosanitaires.

En utilisant des concepts empruntés à l'écologie et l'évolution, les chercheurs d'INRAE développent des modèles destinés à tester l'impact de l'organisation spatiale des cultures sur l'évolution des agents pathogènes. Le but étant d'identifier les configurations les plus à même d'entraver leur potentiel d'adaptation et leur dynamique démographique. Dans un premier temps, les modèles ont été employés pour opposer un hôte donné, le blé, le colza ou un cépage viticole, à son agent pathogène de prédilection. Les résultats ont par exemple montré qu'il était possible de cultiver une même variété de blé aux différentes échelles spatiales, à condition d'organiser les parcelles à la manière d'une mosaïque, et d'y planter « aléatoirement » des cultivars sensibles à la maladie, et d'autres dotés d'un gène de résistance. Cette configuration s'avère efficace pour ralentir la progression du parasite, tout en limitant la pression de sélection et donc le risque d'émergence de souches plus agressives. Bien sûr, la méthode est d'autant plus efficace que la biodiversité cultivée est importante.

En parallèle de ces travaux, les chercheurs observent les interactions entre les cortèges de parasites et les auxiliaires qui les combattent, ou qui contribuent à stimuler les défenses de l'hôte. Ils s'efforcent notamment de comprendre dans quelle mesure le paysage impacte l'ensemble des communautés, leur dynamique et leur évolution. Avec là encore le souci de fournir des pistes de réflexion à l'ensemble des acteurs impliqués dans la chaîne de production.





04.



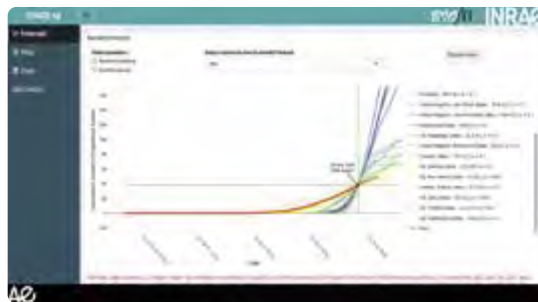
Evaluer et gérer les risques

Certains analysent des données, d'autres s'intéressent à des molécules ou observent des êtres vivants. Mais tous les acteurs impliqués dans les projets One Health, partagent leurs travaux, leurs ressources, leurs questionnements, dans le but d'apporter des éléments de réponse concrets aux problèmes de santé présents et à venir.



Donnez des données aux biostatisticiens !

Traditionnellement, l'épidémiologie s'appuie sur les observations réalisées sur le terrain, par des experts de la discipline concernée. Les procédures se révèlent assez semblables, qu'il s'agisse de veiller à la santé animale, végétale ou humaine. Bien que très efficace, cette méthode est toutefois limitée par les ressources, notamment humaines, que l'on peut y consacrer. C'est pourquoi les chercheurs s'emploient désormais à exploiter, en plus des données d'observation directes, celles provenant de sources plus nombreuses et facilement accessibles, à défaut d'être aussi précises. Il peut s'agir aussi bien de données satellites, que de traces laissées par les utilisateurs d'Internet et des réseaux sociaux. Ces données, bien que très hétérogènes, peuvent par exemple servir à identifier les signaux faibles de l'émergence d'un nouvel agent pathogène. Pour preuve, des chercheurs ont déterminé, *a posteriori*, la date d'apparition de la maladie Covid-19, uniquement en examinant les requêtes formulées sur Google et les moteurs de recherche chinois ! Plus on dispose de données, et à condition de les employer à bon escient, plus il est possible d'affiner les outils de surveillance épidémiologique. Ça, c'est le travail des biostatisticiens, qui tirent parti des progrès réalisés en statistique et en intelligence artificielle pour concevoir des modèles informatiques capables de traiter de gigantesques variables de données hétérogènes et de lever le voile sur des quantités non observables. Ils emploient notamment des approches mécanistico-statistiques, qui permettent de faire le lien entre les données récoltées sur le terrain, celles provenant de sources indirectes et les processus épidémiques étudiés. Un modèle a ainsi permis d'estimer, en Corse, la population totale de végétaux infectés par la redoutable bactérie *Xylella fastidiosa* et de prédire les risques de propagation à d'autres régions. Ce qui aurait été impossible en se basant sur une démarche seulement exploratoire des observations directes.



Ce cadre de modélisation, adapté à la Covid-19, a permis récemment aux chercheurs de calculer le taux de létalité réel de la maladie en France (0,5% sur la base des données hospitalières, et 0,8% en intégrant les données des EHPAD), en reconstruisant le nombre total de cas. Dans ces deux situations, les modèles utilisés pourraient être implémentés dans une plateforme en ligne alimentée jour après jour avec de nouvelles données et fournissant, en temps réel, des estimations des grandeurs épidémiologiques non observables et des prédictions de l'état sanitaire futur de la population touchée : une plateforme pour informer et appuyer la prise de décision.



La modélisation s'attaque à l'Attila des pins

C'est une terrifiante épée de Damoclès qui est suspendue au-dessus des Landes de Gascogne et autres forêts de pins. *Bursaphelenchus xylophilus*, le nématode du pin, est un ver microscopique qui s'attaque aux pins et cause leur mort en quelques semaines dans les cas les plus sévères. Originaire d'Amérique du Nord, il a décimé des millions de pins au Japon depuis sa détection en 1905, puis en Chine à partir de 1982, avant d'investir la Corée du Sud et Taiwan. Détecté près de Lisbonne en 1999, il s'est répandu rapidement sur l'ensemble du Portugal. Pour se propager, le nématode a besoin d'un insecte vecteur. En Europe, il s'agit de *Monochamus galloprovincialis*. Si cet élégant coléoptère xylophage cause assez peu de dégâts aux arbres, il en va tout autrement du ver qu'il transporte d'arbre en arbre. Et qui raffole du pin maritime qui compose la majeure partie des forêts landaises. La menace est telle que l'Union Européenne impose d'effectuer une coupe rase de 500 m autour d'un arbre contaminé ! Une mesure extrême, qui a conduit les modélisateurs d'INRAE à développer un modèle de prédiction, pour en évaluer l'efficacité. Ils l'ont notamment alimenté avec des données provenant de mesures réalisées sur manège de vol (un dispositif sur lequel on fixe un insecte pour estimer ses capacités de dispersion). D'autres coléoptères, marqués, lâchés dans la nature puis récupérés, ont apporté des informations complémentaires. Patatras ! Le modèle de prévision a montré que pour être efficace, ça n'est pas un cercle d'un rayon de 500 m qu'il faudrait raser dans une forêt de pins non fragmentée, mais un cercle de 14 à 38 km de rayon ! Impensable, évidemment. Les chercheurs préconisent donc de réduire ce rayon et en contrepartie de renforcer la surveillance. Notamment en installant plus de pièges, et en augmentant les prélèvements sur les arbres, afin de repérer au plus tôt un début d'invasion. Car il n'existe à l'heure actuelle, aucun moyen efficace de lutter contre le nématode du pin. Et que se passe-t-il dans les forêts fragmentées ? C'est ce qu'ambitionnent de découvrir les chercheurs, grâce à de nouveaux modèles. Ils envisagent aussi de déterminer la répartition optimale des pièges à coléoptères, en fonction de l'environnement, pour détecter au plus tôt l'arrivée du ravageur.



© Entomart



Anticiper et prévenir la menace

La lutte contre les ravageurs constitue l'une des priorités d'INRAE. Piégeage à base de phéromones, lutte bactériologique, usage de parasitoïdes... tous les moyens sont à l'étude pour tenter de les contrôler. Avec déjà des résultats encourageants, notamment contre la pyrale du buis. Mais la prévention se révèle tout aussi essentielle, pour anticiper l'arrivée de nouveaux insectes phytophages. Dans cette optique, INRAE, en collaboration avec la Chine, a installé dans ce pays d'où proviennent la plupart des insectes exotiques, des plantations d'arbres européens parmi les plus communs. 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 international associé regroupant INRAE et deux organismes scientifiques chinois a été créé en 2018, afin d'exploiter ces données et mettre au point des méthodes de lutte, à titre préventif.



S'adapter, c'est bon pour la santé!

Les systèmes d'élevage conventionnels d'animaux monogastriques sont à un tournant de leur évolution. Responsables de 64% de la consommation d'antimicrobiens en France en 2014, ils contribuent à l'apparition de microorganismes résistants, qui réduisent, voire interrompent l'efficacité des antibiotiques, aussi bien pour les animaux que pour l'Homme. Mais ceux-ci restent nécessaires pour lutter contre les pathologies qui peuvent rapidement se transmettre à un grand nombre d'individus. L'amélioration des conditions d'hygiène en élevage a déjà permis de diminuer l'usage des antibiotiques pour les monogastriques de 40% en 5 ans mais comment réduire encore cette dépendance aux antibiotiques, sans nuire à la productivité, tout en veillant au bien-être animal ? En stimulant les capacités d'adaptation des animaux durant les périodes critiques de l'élevage, et notamment lors du sevrage des porcelets et lapereaux, et du démarrage des poulets de chair.

C'est cette piste qu'explorent les chercheurs d'INRAE, au travers de plusieurs expérimentations. Si la période du sevrage est particulièrement étudiée chez les mammifères, c'est qu'elle s'accompagne de changements majeurs qui sont autant de sources de stress pour les animaux. D'abord, il a lieu plus tôt en élevage que dans la nature, et le passage du lait aux aliments solides peut être assez brutal, malgré une période de transition. Ensuite, les animaux changent subitement de milieu de vie car ils sont séparés de leur mère et enfin, ils se retrouvent avec d'autres congénères avec lesquels il faut établir de nouvelles interactions. Ces changements peuvent être trop importants au regard de la capacité d'adaptation de certains individus, qui peuvent alors devenir plus sensibles à des maladies qu'ils communiqueront à leurs voisins. D'autant qu'à l'instar des sportifs de haut niveau, les cochons, poulets et lapins, génétiquement sélectionnés sur des critères de production peuvent se révéler moins performants dans des environnements moins maîtrisés. Durant des années, les sélectionneurs ont cherché à obtenir « l'animal idéal », doté à la fois des meilleurs caractères de production et de santé. Un leurre, comme le reconnaissent les chercheurs, qui s'orientent à présent vers une nouvelle approche inspirée des colonies de fourmis et d'abeilles, où c'est la combinaison des individualités qui confère la robustesse à l'ensemble. Pour évaluer la pertinence de ce concept en élevage, l'idée est de constituer un « troupeau mosaïque » comprenant des animaux très prolifiques et d'autres plus robustes sur le plan immunitaire. Cette différence de sensibilité pourrait empêcher qu'un animal malade ne contamine l'ensemble du troupeau. En outre, les individus les plus robustes pourraient partager leur microbiote avec les plus prolifiques, stimulant ainsi leurs défenses.

Les chercheurs viennent d'achever une série d'expérimentations en élevage cynicole pour tester cette théorie. Les résultats sont en cours d'analyse. Un autre projet concerne cette fois les poulets de chair, qui sont habituellement transférés par camion de l'accouvoir vers le centre d'élevage, immédiatement après l'éclosion, ce qui génère un stress important. Pour le limiter, les chercheurs étudient un système d'élevage où l'éclosion se déroule directement en élevage et où les poussins sont élevés en présence d'un adulte. Celui-ci pourrait en effet les apaiser, tout en favorisant leur apprentissage, mais aussi stimuler leurs défenses immunitaires grâce à une colonisation plus rapide d'un microbiote adapté provenant de l'adulte *via* ses déjections.



Un pour tous et tous pour un

La pandémie de Covid-19 nous l'a rappelé de la manière la plus brutale qui soit : la surveillance épidémiologique est essentielle pour prévenir et maîtriser les risques sanitaires. C'est pour la renforcer que le ministère de l'agriculture a lancé, dès 2010, la Plateforme d'épidémiosurveillance en santé animale (ESA), chargée de surveiller tout danger sanitaire ayant ou pouvant avoir un impact sur la santé animale et/ou la santé publique. Sa particularité est de réunir un ensemble pluridisciplinaire d'acteurs publics et privés, autour des questions de sécurité sanitaire. Mais sa plus grande force réside dans l'engagement de ses membres autour du partage des données dont ils disposent, permettant non seulement d'améliorer les connaissances sur la thématique choisie, mais aussi de détecter rapidement un « trou dans la raquette », autrement dit une faille éventuelle dans le dispositif d'épidémiosurveillance. En 2018, deux autres plateformes ont été créées sur le même modèle. La plateforme ESV est en charge de l'épidémiosurveillance en santé végétale, tandis que la plateforme SCA se consacre à la surveillance de la chaîne alimentaire. Cette dernière, dont les activités relatives aux dangers chimiques sont coordonnées par INRAE, compte 14 partenaires publics et privés ; elle s'est attelée d'emblée au dossier sensible du cadmium. Cet élément trace métallique est utilisé dans l'industrie est présent naturellement dans les engrais. Se retrouvant dans les couches superficielles du sol, il peut être transféré dans les végétaux et de là passer dans l'ensemble de la chaîne alimentaire. Classé cancérigène, le cadmium se rencontre à tous les niveaux de la chaîne alimentaire. Certes en quantité variable, mais 80% des aliments que nous consommons contiennent des traces de cadmium et notamment les céréales et les fruits de mer. Des études récentes ont montré que certaines catégories de la population pouvaient être exposées à des doses supérieures à la valeur toxicologique de référence.

Co-piloté par INRAE et l'ACTA, un groupe de travail associant des opérateurs publics et privés a été mis en place au printemps 2020 afin de réaliser un état des lieux de la surveillance du cadmium en France et de proposer des recommandations visant à optimiser les dispositifs de surveillance existant. Le rôle de la Plateforme SCA est donc de permettre aux organismes concernés par la surveillance du cadmium de mettre en commun leurs données et stratégies afin de mener une réflexion commune sur cette problématique à tous les maillons de la chaîne alimentaire et dans les différentes filières pour réduire la contamination des denrées et par cascade l'exposition des populations. L'identification d'éventuelles lacunes dans la chaîne de surveillance permettra *in fine* de proposer des actions de gestion à l'ensemble des acteurs concernés. Mais il n'est pas nécessaire de disposer de toutes les données pour agir. A la manière d'un « lanceur d'alerte », la plateforme SCA peut aussi faire remonter au comité de pilotage les préoccupations des partenaires sur une thématique donnée. Ainsi, elle a rédigé une note d'information soulignant l'urgence de financer des recherches sur les huiles minérales MOSH (Hydrocarbures saturés d'huile minérale) et MOAH (Hydrocarbures aromatiques d'huiles minérales), pointant le manque de connaissances sur le sujet mais aussi l'absence remarquée de méthodes d'analyse fiables permettant de relever de manière incontestable leur occurrence dans les denrées alimentaires. Enfin, la plateforme SCA publie tous les quinze jours un Bulletin de veille, qui fait état des risques biologiques et chimiques identifiés au niveau mondial.

Cadmium : élément chimique utilisé dans l'industrie, présent naturellement à l'état de traces dans les engrais phosphatés, notamment ceux produits à partir des roches phosphatées qui proviennent d'Europe, du Maroc ou d'Algérie.





Contacts scientifiques

Coordinateurs scientifiques :

Muriel Vayssier-Taussat

muriel.taussat@inrae.fr - 02 47 42 77 75
Chef du département Santé Animale
Centre INRAE Val de Loire

Thierry Caquet

thierry.caquet@inrae.fr - 02 23 48 57 66
Directeur Scientifique Environnement

01. Des pressions multiples

Echanges internationaux et sécurité des consommateurs : l'équilibre à trouver

Anne-Célia Disdier

Anne-Celia.Disdier@inrae.fr - 01 80 52 16 13
Unité Paris-Jourdan Sciences Economiques
Centre INRAE Ile-de-France-Versailles-Grignon

R2A2, le *think tank* de l'antibiorésistance

Christian Ducrot

christian.ducrot@inrae.fr - 04 99 62 48 95
Unité Animal, Santé, Territoires, Risques et Ecosystèmes
Centre INRAE Occitanie-Montpellier

Projet Roadmap : on fait la route ensemble

Nicolas Fortane

nicolas.fortane@inrae.fr - 01 44 05 41 05
Institut de Recherche Interdisciplinaire
en Sciences Sociales
Centre INRAE Ile-de-France-Versailles-Grignon

«Forêt», «déforestation» et «maladies émergentes» : l'arbre qui cache la forêt !

Jean-François Guegan

jean-francois.guegan@inrae.fr - 04 67 61 55 88
Unité Animal, Santé, Territoires, Risques et Ecosystèmes
Centre INRAE Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes

La chlordécone, un poison pour longtemps

Maurice Mahieu

maurice.mahieu@inrae.fr - 05 90 25 54 26

Harry Archimède

harry.archimede@inrae.fr - 05 90 25 59 43
Unité de Recherches Zootechniques
Centre INRAE Antilles-Guyane

La qualité de l'eau des lacs africains sous haute surveillance

Jean-François Humbert

jean-francois.humbert@inrae.fr - 01 44 27 41 67
Institut d'Ecologie et des Sciences
de l'Environnement de Paris
Centre INRAE Ile-de-France-Versailles-Grignon

L'étude sans fin des mycotoxines

Isabelle Oswald

isabelle.oswald@inrae.fr - 05 82 06 63 66
Unité de Toxicologie Alimentaire
Centre INRAE Occitanie-Toulouse

Les moustiques font de la résistance

Haoues Alout

haoues.alout@inrae.fr - 04 67 61 41 26
Unité Animal, Santé, Territoires, Risques et Ecosystèmes
Centre INRAE Occitanie-Montpellier

Les richesses insoupçonnées du sol

Lionel Ranjard

lionel.ranjard@inrae.fr - 03 80 69 30 88
Unité d'Agroécologie
Centre INRAE Bourgogne-Franche-Comté

Les paysages, complexes par nature

Claire Lavigne

claire.lavigne@inrae.fr - 04 32 72 26 66
Unité de recherche Plantes et Systèmes
de Culture Horticoles
Centre INRAE Provence-Alpes-Côte d'Azur

Rongeurs et pathogènes : un monde d'interactions

Nathalie Charbonnel

nathalie.charbonnel@inrae.fr - 04 99 62 33 02
Centre de Biologie pour la Gestion des Populations
Centre INRAE Occitanie-Montpellier

La tique, voyageuse immobile

Olivier Plantard

olivier.plantard@inrae.fr - 02 40 68 77 71
Unité Biologie, Epidémiologie et Analyse
de Risque en Santé Animale
Centre INRAE Pays de la Loire

Une tique pousse l'autre

Gwenaél Vourc'h

gwenael.vourch@inrae.fr - 04 73 62 47 26
Unité Epidémiologie des maladies
animales et zoonotiques
Centre INRAE Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes

Olivier Plantard

olivier.plantard@inrae.fr - 02 40 68 77 71
Unité Biologie, Epidémiologie et Analyse
de Risque en Santé Animale
Centre INRAE Pays de la Loire

Karine Chalvet-Monfray

karine.chalvet-monfray@inrae.fr - 04 78 87 26 68
Unité Epidémiologie des maladies
animales et zoonotiques
Centre INRAE Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes

A l'assaut des chenilles processionnaires

Maurane Buradino

maurane.buradino@inrae.fr - 04 32 72 29 48
Unité Expérimentale Forêts Méditerranéennes
Centre INRAE Provence-Alpes-Côte d'Azur

02. Conséquences directes et indirectes sur la santé animale végétale et humaine

L'étude des pesticides à 360°

Marion Desquilbet

marion.desquilbet@inrae.fr - 05 61 12 85 78
Toulouse School of Economics - Recherche
Centre INRAE Occitanie-Toulouse

Laurence Huc

laurence.huc@inrae.fr - 05 82 06 63 20
Unité de Toxicologie Alimentaire
Centre INRAE Occitanie-Toulouse

Entre les abeilles, la concurrence est rude!

Mickaël Henry

mickael.henry@inrae.fr - 04 32 72 26 01
Unité Abeilles et Environnement
Centre INRAE Provence-Alpes-Côte d'Azur

La sentinelle de l'eau pas plus grosse qu'une crevette!

Olivier Geffard

olivier.geffard@inrae.fr - 04 72 20 87 85
Unité Riverly
Centre INRAE Lyon-Grenoble-Auvergne-Rhône-Alpes

L'effet cocktail des pesticides confirmé

Laurence Payrastra

laurence.payrastra@inrae.fr - 05 82 06 63 51
Unité de Toxicologie Alimentaire
Centre INRAE Occitanie-Toulouse

03. Les réponses de la recherche

A la découverte du phytobiome

Christophe Mougel

christophe.mougel@inrae.fr - 02 23 48 51 96
Institut de Génétique Environnement
et Protection des Plantes
Centre INRAE Bretagne-Normandie

Des champignons sous pression

Jessica Soyer

jessica.soyer@inrae.fr - 01 30 81 68 01
Unité BIOlogie GEstion des Risques en agriculture
Centre INRAE Ile-de-France-Versailles-Grignon

Les blés font de la résistance

Frédéric Suffert

frederic.suffert@inrae.fr - 01 30 81 54 35
Unité BIOlogie GEstion des Risques en agriculture
Centre INRAE Ile-de-France-Versailles-Grignon

Prévenir et guérir la Cryptosporidiose

Fabrice Laurent

fabrice.laurent@inrae.fr - 02 47 42 77 51
Unité Infectiologie et Santé Publique
Centre INRAE Val de Loire

Le SARS-Cov2 ne donne pas sa langue au chat

Sophie Le Poder

slepoder@inrae.fr
Unité de virologie
Centre INRAE Ile-de-France-Jouy-en-Josas-Antony

Les phages, de puissants alliés contre les bactéries

Catherine Schouler

catherine.schouler@inrae.fr - 02 47 42 72 96
Unité Infectiologie et Santé Publique
Centre INRAE Val de Loire

La diversité génomique, source de bonne santé!

Claire Rogel-Gaillard

claire.rogel-gaillard@inrae.fr - 01 34 65 22 01
Unité Génétique Animale et Biologie Intégrative
Centre INRAE Ile-de-France-Jouy-en-Josas-Antony

Une mosaïque de cultures

Julien Papaix

julien.papaix@inrae.fr - 04 32 72 21 45
Unité Biostatistique et Processus Spatiaux
Centre INRAE Provence-Alpes-Côte d'Azur

04. Evaluer et gérer les risques

Donnez des données aux biostatisticiens !

Samuel Soubeyrand

samuel.soubeyrand@inrae.fr - 04 32 72 21 85
Unité Biostatistique et Processus Spatiaux
Centre INRAE Provence-Alpes-Côte d'Azur

La modélisation s'attaque à l'Attila des pins

Christelle Robinet

christelle.robinet@inrae.fr - 02 38 41 80 38
Unité de Recherche Zoologie Forestière
Centre INRAE Val de Loire

S'adapter, c'est bon pour la santé!

Laurence Lamothe

laurence.lamothe@inrae.fr - 05 61 28 53 18
Unité Génétique Physiologie et Systèmes d'Élevage
Centre INRAE Occitanie-Toulouse

Anticiper et prévenir la menace

Jérôme Rousselet

jerome.rousselet@inrae.fr - 02 38 41 48 48
Unité de Recherche Zoologie Forestière
Centre INRAE Val de Loire

Un pour tous et tous pour un

Bruno Le Bizec

bruno.lebizec@oniris-nantes.fr - 02 40 68 78 80
Laboratoire d'étude des Résidus et Contaminants
dans les Aliments
Centre INRAE Pays de la Loire



Centre-siège Paris-Antony
Service Presse
Tél. : +33 (0)1 42 75 91 86
presse.inrae.fr

Rejoignez-nous sur :



inrae.fr/presse

**Institut national de recherche pour
l'agriculture, l'alimentation et l'environnement**



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

INRAE