

Découvrez l'ensemble des stages de formation sur
cnrsformation.cnrs.fr

Pour organiser une formation sur mesure
contactez-nous à cfe.contact@cnrs.fr ou 01 69 82 44 55



CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX

- Liquid foams and emulsions: generation, stability and properties du 17 au 19/03/2021
STRASBOURG - 3 jours 1 500 €

CHIMIE, SYNTHÈSE, PROCÉDÉS

- Cristallisation : recherche des conditions de cristallisation et des polymorphes à l'aide de montages expérimentaux microfluidiques et multi-puits du 24 au 26/03/2021
MARSEILLE - 3 jours 1 900 €
- Procédés d'oxydation avancée pour le traitement des eaux du 07 au 08/04/2021
NANCY - 1,5 jour 700 €

CHIMIE ANALYTIQUE

- Utilisation de la spectrométrie de masse haute résolution (HR-MS) : principe et applications du 30/03 au 02/04/2021
PALAISEAU - 3,5 jours 1 800 €
- Interprétation de spectres de masse obtenus lors de l'analyse de molécules bio-organiques polyfonctionnelles en LC-MS et LC-MS/MS du 23 au 26/11/2021
PALAISEAU - 3,5 jours 1 600 €

MICROSCOPIE ET IMAGERIE

- Histologie : de la préparation d'échantillons à la validation des marquages par analyse d'image du 22 au 25/03/2021
NANTES - 4 jours 1 800 €

BIOLOGIE CELLULAIRE ET MICROBIOLOGIE

- Biologie cellulaire de la peau : applications cosmétiques et pharmaceutiques du 29 au 31/03/2021
ORLEANS - 3 jours 1 900 €
- Neuro-electrophysiology: from patch-clamp to in vivo recordings du 12 au 16/04/2021
VALBONNE - 5 jours 2 400 €
- Biologie dans les systèmes microfluidiques du 11 au 12/10/2021
PARIS - 2 jours 1 300 €

BIOLOGIE MOLÉCULAIRE ET BIOCHIMIE

- Virologie fondamentale, moléculaire et structurale du 04 au 05/11/2021
GIF-SUR-YVETTE - 2 jours 1 000 €

BIOLOGIE ANIMALE ET FORMATIONS RÉGLEMENTAIRES

- Apport de l'imagerie du petit animal dans la mise en oeuvre des 3R en expérimentation animale le 23/03/2021
A distance - 0,5 jour 300 €
- Éthologie et bien-être animal le 06/04/2021
A distance - 0,5 jour 300 €
- Ethologie du cheval : cycle complet du 17/05/2021 au 25/11/2022
6 modules de 5 jours 5 700 €
- L'anesthésie des animaux de laboratoire le 18/05/2021
A distance - 0,5 jour 300 €

- Douleur et analgésie des animaux de laboratoire le 02/06/2021
A distance - 0,5 jour 300 €
- Éthique en expérimentation animale le 21/09/2021
A distance - 0,5 jour 300 €
- Biostatistiques en expérimentation animale le 19/10/2021
A distance - 0,5 jour 300 €

QUALITÉ ET SÉCURITÉ

- Evaluation du risque chimique : méthode et application du 01 au 02/07/2021
GIF-SUR-YVETTE - 2 jours 1 000 €

SOCIOLOGIE, SCIENCE POLITIQUE ET ÉCONOMIE

- Introduction à l'intelligence technologique le 04/06/2021
BORDEAUX - 1 jour 500 €

COGNITION ET COMPORTEMENT

- Faire évoluer un comportement : introduction le 05/03/2021
LILLE - 1 jour 500 €
- Faire évoluer un comportement : identifier les causes du 02 au 04/06/2021
LILLE - 3 jours 1 200 €
- Faire évoluer un comportement : intervenir sur les causes du 25 au 26/11/2021
LILLE - 2 jours 900 €

L'ESSENTIEL

> La distanciation sociale en cas de maladie est pratiquée par divers animaux : mammifères, poissons, oiseaux, insectes...

> Les animaux sociaux modifient certains de leurs comportements comme l'épouillage pour se tenir à l'écart et stopper la

propagation de maladies qui pourraient les décimer.

> Les stratégies de distanciation sociale varient : elles vont de l'éloignement de tout animal malade au maintien des relations avec les individus les plus apparentés.

LES AUTRICES



DANA HAWLEY
professeuse à l'Institut
polytechnique et université
d'État de Virginie (Virginia
Tech), aux États-Unis



JULIA BUCK
maîtresse de conférences
à l'université de Caroline
du Nord à Wilmington,
aux États-Unis

Les animaux aussi gardent leurs distances

Afin d'échapper à la maladie, divers animaux tels que des langoustes, des oiseaux, des fourmis ou des singes pratiquent la distanciation sociale... spontanément, sans directives administratives !

Au cœur d'un récif de l'archipel des Keys, à l'extrême sud de la Floride, une jeune langouste blanche (*Panulirus argus*) s'en revient de sa nuit passée à rechercher des mollusques et pénètre dans son repaire. Les langoustes ont l'habitude de partager ces fentes rocheuses et, cette nuit, un nouvel arrivant s'y est installé. Mais ce dernier est un peu bizarre. Son urine dégage une odeur inhabituelle. Elle contient des substances produites quand la langouste est infectée par un virus contagieux noté *Panulirus argus Virus 1*, ou PaV1. La jeune langouste en bonne santé qui était de retour semble sur le qui-vive. Aussi difficile soit-il de trouver un abri aussi bien protégé des prédateurs que le sien, elle fait marche arrière et s'éloigne vers la pleine mer, loin du virus mortel.

La réaction des langoustes au virus – observée à la fois *in situ* et en laboratoire – est la même que celle que nous n'avons que trop

expérimentée cette année : la distanciation sociale. Pour freiner l'épidémie de Covid-19, les interactions physiques avec autrui ont été fortement limitées, notamment *via* les mesures de confinement. Cela a été pénible. Et nombreux sont ceux qui se sont interrogés sur la nécessité de telles mesures.

Pourtant, aussi contre nature que cela puisse paraître, la distanciation sociale fait partie intégrante du monde naturel. Outre les langoustes, des animaux aussi différents que des singes, des poissons, des insectes et des oiseaux sont capables de détecter des congénères malades, et en conséquence de s'en tenir à distance.

Ce comportement est fréquent chez les animaux sociaux, car il augmente leurs chances de survie. En effet, la vie en groupe permet aux animaux de capturer plus facilement leurs proies, de se tenir chaud et d'éviter les prédateurs, mais elle favorise aussi la propagation de maladies contagieuses, comme pourrait en >



> témoigner n'importe quel parent dont l'enfant va à la garderie. Ce risque a favorisé une évolution des comportements susceptibles d'aider les animaux à éviter les infections. Ceux qui maintiennent une certaine distance sociale pendant une épizootie ont plus de chances de rester en vie. Et, de fait, ils augmentent leurs chances d'engendrer une descendance qui pratiquera à son tour la distanciation sociale lorsqu'elle sera confrontée à la maladie.

C'est ce que les écologues appellent l'«immunité comportementale». Les animaux sauvages ne sont pas vaccinés, mais ils peuvent se protéger des maladies en adoptant des modes de vie et des comportements adéquats.

Toutefois, cette immunité comportementale n'est pas sans coût. La distanciation sociale, même temporaire, fait perdre un certain nombre des avantages qui ont, au départ, justement favorisé la vie sociale. En fait, les chercheurs ont appris que l'évitement total n'est que l'une des stratégies adoptées par les animaux pour réduire le risque de transmission. Il existe des espèces sociales dont les membres restent ensemble bien que certains soient infectés, mais qui, alors, modifient certaines de leurs interactions, lors du toilettage par exemple, ou qui limitent leurs interactions avec les individus jouant un rôle particulier dans la colonie, comme dans le cas des fourmis.

UN SACRIFICE QUI EN VAUT LA PEINE ?

La capacité des langoustes à détecter et à éviter leurs congénères infectées a été la clé de leur survie face au virus PaV1, qui tue plus de la moitié des langoustes juvéniles qu'il infecte. Elles présentent en effet une forte vulnérabilité au virus, car elles sont si grégaires qu'elles se tassent jusqu'à 20 individus dans le même abri. Mais c'est ainsi, regroupées au cœur d'éponges, de coraux ou de crevasses rocheuses, en brandissant et en faisant claquer leurs pinces, qu'elles parviennent à se défendre contre les prédateurs tels que les poissons balistes.

C'est au début des années 2000 que Don Behringer, de l'université de Floride, et ses collègues ont remarqué que certaines jeunes langoustes vivaient seules dans leur repaire, bien que cela les rende très vulnérables. Puis ils ont constaté que la plupart d'entre elles étaient infectées par le virus. Ils ont supposé qu'elles n'avaient pas choisi de vivre seules, mais qu'elles avaient été bannies.

En 2006, pour vérifier leur hypothèse, ils ont placé des langoustes bien portantes dans des aquariums où elles devaient choisir leur refuge : vide ou occupé par un congénère, qui était soit en bonne santé, soit malade. Dans le premier cas, ils ont observé que les langoustes se montraient sociables et choisissaient les repaires occupés par une langouste en bonne



Quand elles sont infectées par un champignon, les fourmis noires des jardins (*Lasius niger*) se tiennent éloignées de leur colonie.

L'évitement total n'est que l'une des stratégies adoptées pour réduire le risque de contagion

santé plutôt que ceux qui étaient vides. En revanche, dans le second cas, elles ont préféré rester seules et ont évité les abris contenant des langoustes infectées.

Comment est-ce possible ? En 2013, Don Behringer et son collègue Joshua Anderson ont montré que les langoustes sont capables de repérer leurs congénères malades grâce à la chimioréception de signaux provenant de l'urine. En effet, il s'est révélé que les urines des langoustes infectées contiennent des substances qui constituent des signaux d'alerte pour les langoustes en bonne santé. Ainsi, dès que les scientifiques bloquaient, avec une colle adéquate, les voies urinaires des langoustes



infectées, leurs congénères saines ne les évitaient plus (à la fin de l'expérience, la colle a été enlevée et les langoustes ont survécu).

En 2015, Mark Butler et ses collègues, de l'université Old Dominion, en Virginie, ont mené une expérience dans l'archipel des Keys pour corroborer ces résultats. Ils ont attaché une langouste malade dans un refuge de langoustes en bonne santé. Ils ont alors constaté que, le plus souvent, elles abandonnaient l'abri pour la pleine mer où elles couraient pourtant un risque bien supérieur d'être dévorées. Puis ils ont répété l'expérience en attachant, cette fois, une langouste saine dans l'abri. Dans ce cas, les langoustes ne quittaient plus massivement l'abri.

Ainsi, quand les langoustes détectent une congénère infectée, elles sont prêtes à prendre des risques considérables pour éviter la maladie. Cet évitement, bien qu'il ne soit pas sans coût, prévient les épizooties qui, sinon, dévasteraient bel et bien les populations de langoustes, comme Mark Butler et ses collègues l'ont montré à l'aide de modèles mathématiques.

PROTÉGER LES PLUS PRÉCIEUX ET LES VULNÉRABLES

Les langoustes ne sont pas les seuls animaux chez qui la distanciation sociale présente un rapport bénéfice/coût avantageux. D'autres animaux ont même développé des stratégies pour augmenter ce rapport, en protégeant plus spécifiquement les congénères les plus précieux pour le groupe ou les plus vulnérables.

Les exemples les plus impressionnants se trouvent chez les insectes sociaux, quand les individus exercent des fonctions distinctes et ont de ce fait des influences différentes sur la survie de la colonie.

Dans une étude menée sous la direction de Nathalie Stroeymeyt, de l'université de Bristol, en Grande-Bretagne, et publiée en 2018, les scientifiques ont utilisé de minuscules marqueurs numériques pour suivre les mouvements de fourmis noires des jardins (*Lasius niger*) lors d'une épidémie liée à un champignon mortel nommé *Metarhizium brunneum*. Les spores de ce champignon sont transmises de fourmi en fourmi par contact physique, puis pénètrent au bout d'un jour ou deux dans le corps des insectes, provoquant une maladie souvent létale. La durée qui sépare l'exposition aux spores de l'apparition de la maladie a permis aux chercheurs de voir si les fourmis modifiaient leurs comportements dans les 24 heures qui suivent la détection des premières spores dans la colonie, avant l'apparition des signes de maladie.

Pour ce faire, ils ont appliqué les spores fongiques directement sur un sous-groupe de la colonie, les fourmis fourrageuses, des ouvrières spécialisées dans l'approvisionnement en nourriture. Ces fourrageuses, qui quittent souvent la colonie pour chercher de la nourriture, courent plus de risques que les autres d'entrer en contact avec les spores. Cette approche imite donc la façon naturelle dont le champignon s'introduit dans la fourmilière.

Les roselins familiers (*Haemorhous mexicanus*) évitent les congénères qui leur semblent mal en point.

Les mandrills (*Mandrillus sphinx*) épouillent leurs parents proches même s'ils ont des parasites, mais évitent les autres congénères infectés.



> Les chercheurs ont ainsi traité 11 fourmilières et ont comparé les réponses comportementales des fourmis à celles d'un nombre équivalent de fourmilières de contrôle où les fourrageuses ont été tamponnées avec une solution stérile et inoffensive (fourrageuses de contrôle).

Après l'application, les fourmis exposées aux spores fongiques ont rapidement mis en place des mesures de distanciation sociale. En

fourrageuses non infectées, mais qui interagissent souvent avec des fourrageuses susceptibles de l'être, se sont, elles aussi, tenues à distance de la colonie. Elles évitaient ainsi le risque de contaminer, par inadvertance, les fourmis s'occupant de la reproduction (la reine et les nourrices qui prennent soin du couvain). Les nourrices aussi ont pris des mesures aussitôt les premières spores détectées dans la colonie: elles ont déménagé le couvain plus loin à l'intérieur du nid, l'éloignant ainsi des fourrageuses.

Finalement, cette stratégie de distanciation sociale s'est révélée si efficace que toutes les reines et la plupart des nourrices des colonies étudiées étaient toujours vivantes à la fin de ces épidémies expérimentales. Les scientifiques cherchent désormais à comprendre comment les fourmis détectent les spores et réagissent si rapidement.

Si les fourmis noires des jardins protègent les individus les plus importants de leur colonie, certains oiseaux adoptent une stratégie différente, qui semble dépendre de leurs propres réponses immunitaires et de leur résistance aux infections.

En 2013, Maxine Zylberberg et deux collègues, de l'université de Californie à Davis, ont mené l'expérience suivante. Ils ont placé des rosélins familiers (*Haemorhous mexicanus*, des passereaux d'Amérique) dans trois cages adjacentes. L'oiseau de la cage centrale était entouré, d'un côté, d'un congénère en bonne santé et, de l'autre, d'un rosélin qui semblait

L'attitude des rosélins varie selon l'état de leur propre système immunitaire

24 heures, d'elles-mêmes, elles se sont isolées en passant plus de temps en dehors de la colonie, comparées aux fourrageuses de contrôle.

Dans ces mêmes colonies exposées, les fourmis en bonne santé ont également fortement réduit leurs interactions sociales, mais différemment selon leur fonction. Les



malade (il avait reçu une injection qui l'avait rendu léthargique).

En mesurant le temps que l'oiseau central passait d'un côté ou de l'autre de sa cage, les chercheurs ont montré qu'en général, les rose-lins évitaient le voisin qui semblait malade, mais que cela variait en fonction de l'état de leur propre système immunitaire. Ce dernier était déterminé selon la concentration sanguine en anticorps et en PIT54, une protéine dite «de phase aiguë», qui rend compte de la réactivité du système immunitaire. Les oiseaux dont le système immunitaire était le plus fort étaient ceux qui évitaient le moins leur voisin malade, tandis que les rosélins qui présentaient un niveau d'immunité inférieur se tenaient plus franchement à l'écart de leur voisin malade.

Un comportement similaire a été observé chez les guppys (ou poissons arc-en-ciel, *Poecilia reticulata*) infectés par un ver contagieux, *Gyrodactylus turnbulli*, qui les affaiblit considérablement. Dans une étude publiée en 2019, Jessica Stephenson, de l'université de Pittsburgh, en Pennsylvanie, a placé des guppys non infectés, un par un, dans un aquarium central flanqué de deux aquariums. L'un était vide et l'autre contenait un groupe de trois guppys.

À chaque fois, le guppy de l'aquarium central a préféré évoluer à proximité des autres guppys, comme on s'y attend chez une espèce sociale. Cependant, certains guppys mâles ont clairement évité le côté de l'aquarium proche des poissons. Ces mâles se sont révélés particulièrement sensibles aux infections par les

vers (plus tard, une fois infectés, ils ont développé un nombre de parasites particulièrement élevé). Les mâles les plus sensibles aux vers réduisent leurs interactions pour éviter d'être infectés. Ainsi, ces deux exemples montrent que l'évolution favorise l'expression de la distanciation sociale chez les individus les plus à risque.

DES LIENS QUI MODULENT LA DISTANCIATION

Les stratégies de distanciation sociale impliquent parfois de maintenir des liens sociaux quand bien même cela augmente le risque de maladie. Les mandrills, des primates très sociaux, caractérisés par un museau coloré, illustrent ce point. Ils vivent dans les forêts tropicales humides d'Afrique équatoriale, en groupes composés de quelques dizaines à plusieurs centaines d'individus, le plus souvent membres d'une même famille élargie. Ils s'épouillent fréquemment les uns les autres, l'épouillage améliorant l'hygiène et consolidant les liens sociaux. Mais ils adaptent leurs comportements d'épouillage afin d'éviter les congénères contagieux. C'est ce qu'ont démontré en 2017 Clémence Poirotte et ses collègues, du CNRS à Montpellier.

Ces chercheurs ont passé plusieurs mois à observer les interactions quotidiennes d'épouillage de mandrills en milieu naturel dans un parc au Gabon. Ils ont aussi régulièrement prélevé des échantillons de matière fécale afin de déterminer les individus très infestés >

Les mangoustes rayées (*Mungos mungo*), très dépendantes de la coopération, continuent d'épouiller les membres malades de leur groupe.

> par des parasites intestinaux. Ils ont alors montré que les mandrills évitaient soigneusement d'épouiller ces individus les plus infestés (ils sont si infestés que les parasites intestinaux se retrouvent dans leur fourrure). Les biologistes ont également montré que les mandrills parviennent à évaluer le niveau d'infestation en se fiant à leur odorat. Quand on leur présente deux tiges de bambou préalablement mises en contact avec des excréments, ils évitent celle qui a été en contact avec les déjections d'un mandrill très infesté par les parasites.

Cependant, il arrive que les mandrills ne mettent pas la distanciation sociale en pratique malgré les risques de contagion. Ainsi, Clémence Poirotte et Marie Charpentier ont découvert que les mandrills poursuivaient l'épouillage de certains parents proches pourtant très infestés, alors qu'ils se tenaient soigneusement à distance des autres congénères infestés.

Dans leur étude publiée en 2020, elles expliquent que le maintien d'alliances fortes et inconditionnelles avec certains parents peut présenter un certain nombre d'avantages à long terme chez les primates non humains, tout comme chez les humains. Par exemple, chez les mandrills, les femelles qui entretiennent les liens sociaux les plus forts commencent à se reproduire plus tôt et sont donc susceptibles d'avoir des portées plus nombreuses au cours de leur vie. Pour cette espèce, le jeu en vaut la chandelle.

Pour d'autres, les liens sociaux sont si importants qu'il n'y a jamais d'évitement, même quand les individus sont manifestement malades. Par exemple, Bonnie Fairbanks et ses collègues de Virginia Tech, aux États-Unis, ont montré en 2015 que les mangoustes rayées n'évitaient pas leurs congénères même si ces dernières présentaient des signes évidents de maladie.

Les mangoustes rayées constituent une espèce très sociale originaire d'Afrique subsaharienne. Elles vivent en groupes stables pouvant atteindre 40 individus, apparentés ou non. Elles entretiennent de fortes interactions physiques en dormant les unes sur les autres et en s'épouillant, en contrepartie, à tour de rôle.

Dans un premier temps, Kathleen Alexander, coautrice de cette recherche, a constaté que de nombreuses mangoustes de sa zone d'étude, au Botswana, étaient atteintes d'une nouvelle forme de tuberculose qui les tuait en quelques mois. Bonnie Fairbanks a ensuite passé plusieurs mois à suivre six groupes touchés par cette maladie en observant les interactions sociales. Elle a rapporté que, de façon étonnante, les mangoustes en bonne santé ont continué à interagir étroitement avec des congénères visiblement malades. Elles les ont épouillées autant que leurs congénères en bonne santé, même si les mangoustes malades n'étaient pas en mesure de les épouiller autant en retour.

Ainsi, la distanciation sociale avec les malades n'est tout simplement pas viable chez ces mangoustes et chez toutes les espèces où une coopération étroite entre individus pour chasser et se défendre est déterminante.

SUIVRE L'APPEL DE LA NATURE

Comme les autres animaux, les humains ont une longue histoire d'évolution avec les maladies infectieuses. De nombreuses formes de notre immunité comportementale, comme la sensation de dégoût dans des environnements sales, en résultent probablement.

Mais, contrairement aux autres animaux, les humains d'aujourd'hui disposent de nombreux atouts quand les épidémies frappent à leur porte. Par exemple, nous pouvons désormais nous informer les uns les autres, d'un bout à l'autre de la planète, et en un instant, de toute menace épidémique. Cette capacité nous permet d'instituer une distanciation sociale avant que la maladie n'apparaisse chez nous – une stratégie qui a sauvé de nombreuses vies. Nous disposons de plateformes de communication numérique avancées (courrier électronique, conversations vidéo...) qui nous permettent de garder nos distances physiques tout en maintenant certaines relations sociales. Les autres animaux perdent tout lien social en se mettant à distance.

Mais le plus grand avantage de l'humain est sans doute sa capacité à développer des outils non comportementaux élaborés, tels que les vaccins, qui le protègent de la maladie sans induire d'adaptations comportementales coûteuses. La vaccination permet de maintenir une vie sociale riche et interactive en dépit des maladies contagieuses comme la polio-myélite et la rougeole qui, autrement, nous auraient décimés.

Toutefois, quand il s'agit d'enrayer de nouvelles maladies comme le Covid-19, nous sommes plus ou moins dans le même bateau que les autres animaux. Ici, comme dans la nature, les comportements qui ont fait leurs preuves, tels que la distanciation sociale, demeurent les outils les plus efficaces jusqu'à ce que des vaccins ou des traitements soient développés. Mais à l'instar des autres animaux, nous nous devons d'être stratégiques. Comme les mandrills et les fourmis, nous pouvons maintenir les interactions sociales les plus essentielles, mais rester à distance des personnes les plus vulnérables que nous risquons d'infecter accidentellement. Le succès de la langouste contre le virus dévastateur dans les Caraïbes montre que la distanciation sociale, malgré des coûts élevés à court terme, est rentable à long terme pour la survie de l'espèce. Aussi contre nature que cela puisse paraître, nous n'avons, ici, qu'à suivre l'exemple de la nature. ■

BIBLIOGRAPHIE

C. Poirotte et M. J. E. Charpentier, **Unconditional care from close maternal kin in the face of parasites**, *Biology Letters*, vol. 16, 20190869, 2020.

J. F. Stephenson, **Parasite-induced plasticity in host social behaviour depends on sex and susceptibility**, *Biology Letters*, vol. 15, 20190557, 2019.

N. Stroeymeyt et al., **Social network plasticity decreases disease transmission in a eusocial insect**, *Science*, vol. 362, pp. 941-945, 2018.

M. J. Butler et al., **Behavioral immunity suppresses an epizootic in Caribbean spiny lobsters**, *PLoS One*, vol. 10(6), e0126374, 2015.

M. Zylberberg et al., **House finches (*Carpodacus mexicanus*) balance investment in behavioural and immunological defences against pathogens**, *Biology Letters*, vol. 9, 20120856, 2013.

J. R. Anderson et D. C. Behringer, **Spatial dynamics in the social lobster *Panulirus argus* in response to diseased conspecifics**, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, vol. 474, pp. 191-200, 2013.

U N



N E M E U R T

J A M A I S .

EN TRIANT VOS JOURNAUX,
MAGAZINES, CARNETS, ENVELOPPES,
PROSPECTUS ET TOUS VOS AUTRES
PAPIERS, VOUS AGISSEZ POUR UN MONDE PLUS
DURABLE. PLUS D'INFORMATIONS SUR
LE RECYCLAGE SUR
TRIERCESTDONNER.FR

CITEO

Donnons ensemble une nouvelle vie à nos produits