ROYAL SOCIETY OPEN SCIENCE

royalsocietypublishing.org/journal/rsos

Recherche

Citez cet article : Kavanagh E *et al*. 2021 Dominance style is a key predictor of vocal use and evolution across nonhuman primates. *R. Soc. Open Sci.* 8 : 210873. https://doi.org/10.1098/rsos.210873

Reçu : 17 mai 2021
Accepté : 8 juillet 2021

Catégorie de sujet :
Biologie organisationnelle et évolutive

Domaines d'activité :
comportement/évolution

Mots-clés :
communication, socialité, comportement social, style de domination, voix

Auteurs pour la correspondance :
Eithne Kavanagh
e-mail : eithne.kavanagh@ntu.ac.uk Katie Slocombe
e-mail : katie.slocombe@york.ac.uk

Le matériel électronique complémentaire est disponible en ligne à l'adresse suivante : https://doi.org/10.6084/m9.figshare.c. 5525486.

THE ROYAL SOCIETY PUBLISHING

Téléchargé de https://royalsocietypublishing.org/ le 08 novembre 2024

Le style de dominance est un prédicteur clé de l'utilisation et de l'évolution de la voix chez les primates non humains

Eithne Kavanagh[1,2], Sally E. Street[3], Felix O. Angwela[5], Thore J. Bergman[6], Maryjka B. Blaszczyk[7], Laura M. Bolt[8], Margarita Briseño-Jaramillo[9,10], Michelle Brown[11], Chloe Chen-Kraus[12], Zanna Clay[4], Camille Coye[13,14], Melissa Emery Thompson[15], Alejandro Estrada[16], Claudia Fichtel[17,19], Barbara Fruth[20,21,22], Marco Gamba[23], Cristina Giacoma[23], Kirsty E. Graham[1,24], Samantha Green[25,26], Cyril C. Grueter[25,26,27], Shreejata Gupta[1], Morgan L. Gustison[28], Lindsey Hagberg[29], Daniela Hedwig[30], Katharine M. Jack[31], Peter M. Kappeler[17,32], Gillian King-Bailey[31], Barbora Kuběnová[33], Alban Lemasson[14], David MacGregor Inglis[34], Zarin Machanda[35], Andrew MacIntosh[33], Bonaventura Majolo[36], Sophie Marshall[1], Stephanie Mercier[37,38], Jérôme Micheletta[39,40], Martin Muller[15], Hugh Notman[41], Karim Ouattara[42], Julia Ostner[18,19,43], Mary S. M. Pavelka[44], Louise R. Peckre[17,19], Megan Petersdorf[45], Fredy Quintero[37], Gabriel Ramos-Fernández[46,47],

2021 Les auteurs. Publié par la Royal Society selon les termes de la Creative Commons Attribution License http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/, qui permet une utilisation sans restriction, à condition que l'auteur original et la source soient mentionnés.

Téléchargé de https://royalsocietypublishing.org/ le 08 novembre 2024

Martha M. Robbins[48] , Roberta Salmi[49] , Isaac Schamberg[29] , Valérie A. M. Schoof ,[31,50] Oliver Schülke[18,19,43] , Stuart Semple[34] , Joan B. Silk[51] , J. Roberto Sosa-Lopéz[52] , Valeria Torti[23] , Daria Valente[23] , Raffaella Ventura[53] , Erica van de Waal ,[38,54] Anna H. Weyher[55] , Claudia Wilke[1] , Richard Wrangham[29] , Christopher Young[56,57,58] , Anna Zanoli[23] , Klaus Zuberbühler[35,59] , Adriano R. Lameira[59,60] et Katie Slocombe[1]

[1]Département de psychologie, Université de York, Heslington, York YO10 5DD, Royaume-Uni
[2]Département de psychologie, Nottingham Trent University, Chaucer Building, 50 Shakespeare St, Nottingham NG1 4FQ, UK[3] Département d'anthropologie et[4] Département de psychologie, Durham University, South Road, Durham DH1 3LE, UK[5] École des sciences agricoles et environnementales, Mountains of the Moon University, PO Box 837, Fort Portal, Ouganda[6] Départements de psychologie, EEB, University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109, USA
[7]Département d'anthropologie, Université du Texas à Austin, 2201 Speedway Stop C3200, Austin, TX 78712, USA
[8]Département d'anthropologie, Université de Waterloo, 200 University Avenue West, Waterloo, Ontario, Canada N2 L 3G1
[9]Instituto de Biologia, Universidad Nacional Autonoma de México (UNAM), Circuito exterior s/n, Ciudad Universitaria, Copilco, Coyoacán, Mexico 04510, Mexique
[10]Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca (CIIDIR), Instituto Politécnico Nacional, Hornos No. 1003, Col. Noche Buena, Municipio de Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca 71230, Mexique
[11]Département d'anthropologie, Université de Californie, 552 University Road, Santa Barbara, CA 93106-3210, USA
[12]Département d'anthropologie, Université de Yale, 10 Sachem Street, New Haven, CT 06511, USA
[13]Collège des sciences de la vie et de l'environnement, Université d'Exeter, Campus de Penryn Treliever Road, Penryn TR10 9FE, Royaume-Uni
[14]Ethologie humaine et animale (EthoS), Université de Rennes, Université de Normandie, CNRS, EthoS - UMR6552, Campus de Beaulieu, 263 Avenue du Général Leclerc, 35000 Rennes, France
[15]Département d'anthropologie, Université du Nouveau Mexique, 500 University Boulevard NE, Albuquerque, NM 87131, USA
[16]Station de recherche de terrain Los Tuxtlas, Institut de biologie, Université nationale autonome du Mexique, Circuito interior s/n, Ciudad universitaria, Delegacion coyoacan, Mexico City CP 04510, Mexique
[17]Unité d'écologie comportementale et de sociobiologie, Centre allemand des primates et[18] Groupe de recherche sur l'évolution sociale des primates, Centre allemand des primates, Institut Leibniz pour la recherche sur les primates, Kellnerweg 4, 37077 Göttingen, Allemagne
[19]Leibniz ScienceCampus Primate Cognition, Kellnerweg 4, 37077 Göttingen, Allemagne
[20]École des sciences biologiques et environnementales, Université John Moores de Liverpool, Liverpool L3 3AF, Royaume-Uni
[21]Centre de recherche et de conservation, Société royale zoologique d'Anvers, 2018 Anvers, Belgique
[22]Département de l'écologie des sociétés animales, Institut Max Planck du comportement animal, Bücklestraße 5, 78467 Konstanz, Allemagne
[23]Département des sciences de la vie et de la biologie des systèmes, Université de Turin, via Accademia Albertina, 13, 10123 Turin, Italie
[24]École de psychologie et de neurosciences, Université de St Andrews, St Andrews, KY16 9JP, Royaume-Uni
[25]School of Human Sciences,[26] UWA Africa Research and Engagement Centre and[27] Centre for Evolutionary Biology, School of Biological Sciences, The University of Western Australia, 35 Stirling Highway, 6009 Crawley, Western Australia, Australia
[28]Département de biologie intégrative, Université du Texas à Austin, 2415 Speedway, Austin, TX 78712, USA
[29]Département de biologie de l'évolution humaine, Université de Harvard, 11 Divinity Avenue, Cambridge, MA 02138, USA
[30]K. Lisa Yang Center for Conservation Bioacoustics, Cornell Lab of Ornithology, Cornell University, 159 Sapsucker Woods Road, Ithaca, NY 14850, USA[31] Department of Anthropology, Tulane University, 6823 St. Charles Avenue, New Orleans, LA 70118, USA
[32]Département Sociobiologie/Anthropologie, Institut Johann-Friedrich-Blumenbach de zoologie et d'anthropologie, Université de Göttingen, Kellnerweg 6, 37077 Göttingen, Allemagne
[33]Primate Research Institute, Kyoto University, 41-2 Kanrin, Inuyama, Aichi 484-8506, Japan[34] Department of Life Sciences, University of Roehampton, Holybourne Avenue, London SW15 4JD, UK[35] Department of Anthropology, Tufts University, 5 The Green, Medford, MA 02155, USA
[36]École de psychologie, Université de Lincoln, Lincoln, Brayford Wharf East LN5 7TS, Royaume-Uni
[37]Département de cognition comparée, Institut de biologie, Université de Neuchâtel, Rue Emile-Argand 11, 2000 Neuchâtel, Suisse
[38]Inkawu Vervet Project, Mawana Game Reserve, Swart Mfolozi 3115, Afrique du Sud
[39]Département de psychologie, Centre de psychologie évolutive et comparative, Université de Portsmouth, King Henry Building, King Henry I Street, PO1 2DY Portsmouth, UK
[40]Projet Macaca Nigra, Réserve de Tangkoko, PO Box 1495, Bitung, Indonésie
[41]Anthropologie, Faculté des sciences humaines et sociales, Université d'Athabasca, Athabasca, Canada
[42]Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire, 01 BP 1303 Abidjan 01, Côte d'Ivoire
[43]Département d'écologie comportementale, Institut Johann-Friedrich-Blumenbach de zoologie et d'anthropologie, Université de Goettingen, Göttingen, Allemagne
[44]Département d'anthropologie et d'archéologie, Université de Calgary, 2500 University Drive NW, Calgary, Alberta, Canada T2N 1N4
[45]Département d'anthropologie, Université de New York, 25 Waverly Place, New York, NY, USA
[46]Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuto Escolar 3000, C.U., 04510 Mexico City, Mexique

[47]UPIITA, Instituto Politécnico Nacional, Avenida Instituto Politécnico Nacional 2580, La Laguna Ticoman, 07340 Mexico City, Mexique
[48]Département de primatologie, Institut Max Planck d'anthropologie évolutive, Deutscher Platz 6, 04103 Leipzig, Allemagne
[49]Département d'anthropologie, Université de Géorgie, 355 S. Jackson Street, Athens, GA 30602, USA[50] Département de biologie, Université de York, Campus Keele, 4700, Keele Street, Toronto, ON Canada, M3J 1P3[51] École d'évolution humaine et de changement social, Université d'État de l'Arizona, Tempe, AZ 85287, USA
[52]CONACYT-Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca (CIIDIR), Instituto Politécnico Nacional, Hornos No. 1003, Col. Noche Buena, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca 71230, Mexique
[53]Scottish Primate Research Group, Division of Psychology, School of Social and Health Sciences, University of Abertay Dundee, Dundee, Écosse
[54]Département d'écologie et d'évolution, Université de Lausanne, 1015 Lausanne, Suisse
[55]Département d'anthropologie, Université du Massachusetts Amherst, 240 Hicks Way #217, Amherst, MA 01003, USA
[56]Laboratoire de recherche endocrinienne, Institut de recherche sur les mammifères, Faculté des sciences naturelles et agricoles, Université de Pretoria, Hatfield, Pretoria 0028, République d'Afrique du Sud
[57]Unité de recherche appliquée sur l'écologie comportementale et les écosystèmes, Université d'Afrique du Sud, Pretoria, Floride 1710, République d'Afrique du Sud
[58]Département de psychologie, Université de Lethbridge, Alberta, Canada T1K6T5
[59]School of Psychology and Neuroscience, University of St. Andrews, South Street, St. Mary's Quad, South Street, St. Andrews KY16 9JP, UK
[60]Département de psychologie, Université de Warwick, University Road, Humanities Building, Coventry CV4 7AL, Royaume-Uni

EK, 0000-0001-7202-005X ; SES, 0000-0001-8939-8016 ; TJB, 0000-0002-9615-5001 ; MBB, 0000-0002-9157-3052 ; LMB, 0000-0002-8275-6543 ; MB, 0000-0002-2995-1745 ; CC-K, 0000-0002-4136-077X ; ZC, 0000-0002-3016-1732 ; MET, 0000-0003-2451-6397 ; AE, 0000-0002-6107-9109 ; CF, 0000-0002-8346-2168 ; BF, 0000-0001-9217-3053 ; MG, 0000-0001-9545-2242 ; KEG, 0000-0002-7422-7676 ; CCG, 0000-0001-8770-8148 ; MLG, 0000-0002-1162-8966 ; KMJ, 0000-0003-3569-8544 ; PMK, 0000-0002-4801-487X ; AL, 0000-0001-8418-5601 ; ZM, 0000-0001-7060-7949 ; BM, 0000-0002-0235-3040 ; SM, 0000-0002-4257-1456 ; JM, 0000-0002-4480-6781 ; JO, 0000-0001-6871-9976 ; LRP, 0000-0002-0065-8529 ; GR-F, 0000-0001-7175-3905 ; OS, 0000-0003-0028-9425 ; SS, 0000-0003-0452-8104 ; JRS-L, 0000-0002-0120-0704 ; VT, 0000-0002-6908-1203 ; DV, 0000-0001-6086-5135 ; CY, 0000-0001-8919-2093 ; AZ, 0000-0002-9402-5617 ; ARL, 0000-0003-3071-4824 ; KS, 0000-0002-7310-1887

On pense depuis longtemps que la communication animale est soumise aux pressions et aux contraintes associées aux relations sociales. Cependant, notre compréhension de la manière dont la nature et la qualité des relations sociales sont liées à l'utilisation et à l'évolution de la communication est limitée par le manque de méthodes directement comparables à plusieurs niveaux d'analyse. Nous avons analysé ici des données d'observation provenant de 111 groupes sauvages appartenant à 26 espèces de primates non humains, afin de tester le lien entre la communication vocale et le style de dominance (la rigueur avec laquelle une hiérarchie de dominance est appliquée, allant de "despotique" à "tolérante"). Au niveau individuel, nous avons constaté que les individus dominants qui étaient plus tolérants vocalisaient davantage que leurs homologues despotiques. Cela indique que la tolérance au sein d'une relation peut faire pression sur le partenaire dominant pour qu'il communique davantage au cours des interactions sociales. Au niveau de l'espèce, cependant, les espèces despotiques présentaient un plus grand répertoire de vocalisations liées à la hiérarchie que leurs homologues tolérants. Les résultats suggèrent que les signaux des primates sont utilisés et évoluent en même temps que la nature des interactions qui caractérisent les relations sociales des individus.

1. Introduction

Pour comprendre l'évolution du comportement des animaux humains et non humains, une approche à "plusieurs niveaux d'analyse" a souvent été préconisée [1]. Une telle approche exige que les analyses couvrent différents niveaux d'un système (par exemple, l'individu, la famille, le groupe, l'espèce). Toutefois, dans la pratique, la plupart des études se concentrent sur un seul niveau d'analyse (par exemple, la variation entre les individus ou entre les espèces). Un certain nombre de théories majeures prétendent que l'évolution de la communication et du langage peut être comprise en termes de contraintes et de pressions de l'environnement social [2-4]. Les études empiriques qui examinent les schémas d'association à plusieurs niveaux d'analyse en tandem sont probablement essentielles pour obtenir une image complète du paysage évolutif de la socialité et de la communication, mais de telles études sont rares. De même, alors que la complexité sociale a été proposée comme un facteur clé de la variation de la communication entre les taxons animaux [4], les tests empiriques de cette hypothèse se sont largement appuyés sur des analyses au niveau des espèces et sur l'utilisation de la taille du groupe comme mesure de la complexité sociale, négligeant d'autres aspects importants de la socialité [5]. La taille du groupe ne peut expliquer les variations individuelles dans la communication au sein d'un groupe, car elle ne rend pas compte de la nature et du type d'interactions qui se produisent au sein des groupes et qui peuvent entraîner des contraintes et des pressions variables sur les individus [6]. Afin d'offrir de nouvelles perspectives, nous avons mené une étude à plusieurs niveaux d'analyse en nous concentrant sur une mesure liée à la nature plutôt qu'au nombre de relations sociales : le style de dominance.

Le style de dominance dans les relations sociales est un facteur potentiellement important, mais plutôt négligé, pour comprendre la communication. De nombreuses espèces animales qui vivent en groupes sociaux ont des rapports de domination asymétriques.

Téléchargé de https://royalsocietypublishing.org/ le 08 novembre 2024

Les relations de dominance, et pour ces espèces, il existe des variations dans leur "style" de dominance, c'est-à-dire la mesure dans laquelle le comportement entre les partenaires dominants et subordonnés est cohérent avec la direction de l'asymétrie de dominance entre eux [7]. Nous utilisons les termes "despotique" et "tolérant" pour désigner les relations dans lequel le partenaire dominant affirme sa domination à un degré plus ou moins élevé, respectivement, ce qui signifie que seuls les partenaires dominants peuvent "donner" de la tolérance (par exemple en permettant ou en étant incapables d'empêcher l'agression du subordonné), tandis que les partenaires subordonnés ne peuvent que "recevoir" de la tolérance (notez que ces définitions sont différentes du continuum despotique/égalitaire dans les théories socio-écologiques, par exemple [8]). Bien que le style de dominance soit considéré comme une construction au niveau de la relation [9], des études empiriques indiquent qu'il existe des variations considérables du style de dominance entre certaines espèces de primates (par exemple les macaques [10]) et certaines variations ont été documentées entre des groupes d'une même espèce [11]. Il est toutefois important de ne pas négliger la variation du style de dominance qui peut se produire au niveau de l'individu au sein d'une espèce (par exemple, la variation du degré auquel (i) chaque individu dominant d'un groupe est tolérant à l'égard des subordonnés et (ii) chaque individu subordonné bénéficie de la tolérance des dominants). Nous avons donc cherché à vérifier si le style de dominance affectait la communication à la fois au niveau de l'espèce et au niveau individuel.

Au niveau individuel, nous avons prédit que les relations tolérantes pourraient être associées à un taux de communication plus élevé pour les individus dominants et subordonnés. Dans les relations despotiques, les individus dominants peuvent être plus susceptibles d'utiliser la menace de la force pour atteindre leurs objectifs, ou de se voir attribuer automatiquement des ressources ou de recevoir des services sans avoir besoin de communiquer [12]. Dans les relations tolérantes, les individus dominants peuvent être davantage incités à communiquer pour formuler des demandes, car leur statut seul est moins susceptible d'être efficace pour atteindre les objectifs, ou à s'affilier à des subordonnés, car cela est susceptible de jouer un rôle, parallèlement à l'agression, dans l'accès à la nourriture et aux possibilités d'accouplement, ainsi que dans le maintien du rang [13,14]. Pour les individus subordonnés, nous suggérons que le coût de la communication peut être réduit dans la tolérance par rapport aux relations despotiques. Si les signaux sont mal compris ou perçus comme une transgression de la hiérarchie par les partenaires dominants, ils pourraient être plus susceptibles d'être punis par une agression physique dans les relations despotiques. Le fait d'accorder et de recevoir de la tolérance peut entraîner une plus grande utilisation de la communication, mais pour des raisons très différentes. Il est donc essentiel que ces deux perspectives du style de domination soient examinées séparément, et cette étude est la première tentative empirique en ce sens.

Au niveau des espèces, nous avons prédit qu'une plus grande tolérance pourrait être associée à une plus grande diversité dans les systèmes de communication des espèces (par exemple, des répertoires plus importants), comme le prévoit l'hypothèse de la complexité sociale de Freeberg *et al* [4]. Globalement, la plus grande complexité sociale des espèces tolérantes devrait se traduire par des systèmes de communication plus complexes, souvent traduits par le nombre de signaux discrets dans le répertoire d'une espèce [4], par rapport aux espèces despotiques. Selon Freeberg *et al* [4], alors que le despotisme limite fortement l'étendue des relations possibles au sein d'un groupe, la tolérance implique davantage de renversements d'interactions, et cette plus grande diversité de connexions directionnelles entre les individus indique une plus grande complexité du point de vue du réseau social. Les interactions au sein des relations tolérantes requièrent aussi probablement un traitement plus complexe de l'information sociale en raison d'une plus grande incertitude sociale [15]. La fonction proposée des relations de dominance asymétrique est de contribuer à minimiser les blessures associées aux conflits sur les ressources, en rendant les résultats des interactions plus prévisibles [16]. Ainsi, une prédiction claire de l'hypothèse de Freeberg *et al.* [4] est que les espèces qui entretiennent des relations relativement tolérantes devraient avoir des systèmes de communication plus complexes que celles qui entretiennent des relations relativement despotiques, en raison d'une plus grande incertitude quant à l'issue de leurs interactions.

Afin de démêler les processus au niveau de l'individu et de l'espèce qui sous-tendent toute relation entre le style de dominance et la communication, il est nécessaire de quantifier directement le style de dominance dans un riche ensemble de données comportementales comparatives à plusieurs niveaux d'analyse à travers un large éventail d'espèces. La compréhension de la communication chez les primates non humains (ci-après "primates") est particulièrement importante pour éclairer les théories de l'évolution du langage en raison de leur étroite relation phylogénétique avec les humains [3,4], c'est pourquoi les études précédentes et la nôtre se sont concentrées sur l'ordre des primates. Quelques études existantes ont tenté d'examiner comment le style de dominance est lié à l'utilisation de la communication et aux répertoires, avec des résultats mitigés [17-25]. La tolérance au sein du genre macaque peut être liée à des répertoires faciaux et gestuels plus étendus [18,22,23]. En revanche, des études à petite échelle suggèrent que le style de dominance peut avoir une relation négative ou nulle avec la taille du répertoire vocal [17,21,24]. Il semble toutefois qu'une plus grande tolérance soit liée à une utilisation vocale plus faible [17], à une plus grande complexité structurelle [25] et à des modèles différentiels de similarité acoustique entre les dyades chez les macaques [19], ainsi qu'aux modèles et contextes d'utilisation de types vocaux spécifiques chez les babouins [20,24]. Toutefois, ces études ne portaient que sur deux à onze espèces de primates, généralement au sein d'un même genre, et ne prenaient généralement en compte qu'un seul niveau d'analyse. En outre, dans bon nombre de ces études, on ne sait toujours pas quelle variable sociale est la plus étroitement liée à la communication, car le style de dominance a été confondu avec d'autres dimensions sociales (par exemple, dans [17], l'espèce la plus despotique des trois espèces considérées était la seule à présenter un environnement social multi-mâle et multi-femelle).

Téléchargé de https://royalsocietypublishing.org/ le 08 novembre 2024

(les espèces les plus tolérantes étant constituées de groupes composés d'un seul mâle et de plusieurs femelles) et la dominance (les espèces les plus tolérantes étant constituées de groupes composés d'un seul mâle et de plusieurs femmes).

5

Le style n'a pas toujours été mesuré directement avec la communication chez les mêmes personnes.

Dans la présente étude, nous avons cherché à mieux comprendre comment le style de dominance est lié à l'utilisation de la voix et à l'évolution. Nous avons examiné le style de dominance et la communication vocale à plusieurs niveaux d'analyse dans un large échantillon de groupes sauvages d'espèces de primates, en analysant un vaste ensemble de données d'observation sur l'agression, le toilettage, l'alimentation et le comportement vocal. La fréquence vocale a été calculée à partir d'observations focales d'individus dans divers contextes. Bien que le style de dominance puisse varier entre les sexes, nous voulions obtenir une caractérisation holistique de la nature des interactions sociales que les individus ont avec tous les membres du groupe, plutôt qu'avec un sous-ensemble de ces membres (par exemple, les individus du même sexe). Le style de dominance n'a pas été étudié chez de nombreuses espèces de primates, c'est pourquoi nous avons cherché à utiliser un large éventail de mesures qui ont été utilisées avec succès dans des recherches antérieures sur les primates. Nous avons donc mesuré le style de dominance à l'aide de trois mesures comportementales axées sur les interactions agonistiques qui ont déjà été largement utilisées chez les macaques (symétrie de l'agression, contre-agression et intensité de l'agression ; [7,26-28]). Ces mesures ont été combinées en un seul score composite de style de dominance au niveau de l'espèce. Nous avons également effectué une analyse supplémentaire en utilisant la proximité de l'alimentation comme indicateur potentiel de tolérance, car il s'agit d'une mesure fréquemment utilisée dans la recherche sur diverses autres espèces de primates et de non-primates (par exemple les chimpanzés, les bonobos, les lémuriens, les loups, les chiens, les oiseaux ; [29-33]). On ne sait pas encore si cette "tendance à se rapprocher des ressources valorisées" correspond directement à la définition de la tolérance dans la recherche sur les macaques, bien que les macaques tolérants puissent également se nourrir plus près que les macaques despotiques [34]. Quoi qu'il en soit, il s'agit d'un bon candidat potentiel pour prédire le taux de vocalisation pour un grand nombre des raisons évoquées ci-dessus.

Au niveau individuel, nous avons examiné séparément la tolérance accordée par les dominants (tolérance donnée) et la tolérance reçue par les subordonnés (tolérance reçue), car il y a différentes raisons de s'attendre à ce que les dominants et les subordonnés dans des relations tolérantes communiquent plus fréquemment que ceux dans des relations despotiques. Nous avons prédit que la tolérance donnée et reçue, ainsi que la proximité de l'alimentation, seraient associées à un taux plus élevé de vocalisation dans tous les contextes.

Au niveau des espèces, nous avons prédit qu'un indice de style de dominance (basé sur la symétrie de l'agression, la contre-agression et l'intensité de l'agression) serait associé à deux aspects des répertoires vocaux. La taille du répertoire est une indication de la complexité de la communication [4,26], et nous avons donc prédit que les espèces plus tolérantes (indiquées par un score plus élevé de l'indice de style de domination) auraient des répertoires vocaux plus étendus. Nous avons également prédit que les espèces plus despotiques (indiquées par un indice de style de dominance plus faible) auraient plus de signaux vocaux dans leurs répertoires associés à l'établissement et/ou au maintien de la hiérarchie (c'est-à-dire des signaux de dominance/appaisement). Les espèces despotiques devraient avoir davantage besoin de gérer et de renforcer la hiérarchie, ce qui exercerait une pression de sélection plus forte sur les signaux associés à la hiérarchie.

2. Méthodes

2.1. Thèmes

Notre échantillon comprenait 111 groupes sauvages, habitués et non fournis de 26 espèces de primates, qui ont tous un certain degré d'asymétrie de dominance dans les relations sociales documentées (voir le matériel électronique supplémentaire, S1 pour les détails des espèces et des groupes dans l'échantillon). Les données relatives à l'agression étant nécessaires pour calculer trois de nos quatre mesures, les individus et les espèces présentant des taux d'agression très faibles ne sont pas bien représentés dans nos échantillons analysés, après application des critères minimaux d'inclusion (voir le matériel électronique supplémentaire, S2).

2.2. Données sur le style de dominance

2.2.1. Collecte de données

Cette étude étant le fruit d'une collaboration, elle comprend un mélange de données obtenues spécifiquement pour l'étude en cours et de données déjà collectées dans le cadre de projets non apparentés. Pour cette raison, toutes les mesures comportementales n'étaient pas disponibles pour tous les groupes, et il y a eu des variations dans les méthodes de collecte des données et les définitions comportementales (par exemple, différents intervalles inter-sorties). Nous avons traité ces problèmes en limitant nos mesures à celles qui n'étaient pas affectées par des définitions différentes (par exemple, nous n'avons pas inclus le taux d'agression, car il aurait été affecté par des variations dans la définition de l'accouchement) et en excluant les ensembles de données qui ne contenaient pas les données de l'enquête sur le comportement.

Téléchargé de https://royalsocietypublishing.org/ le 08 novembre 2024

Tableau 1. Description des quatre variables de style de dominance.

variables de style de dominance	description
symétrie de l'agression	la mesure dans laquelle la direction des épisodes d'agression au sein d'une dyade tend à être la même. symétrique, par opposition au fait qu'un individu initie l'agression avec l'autre plus souvent que l'inverse. Mesuré par l'indice d'incohérence directionnelle (IID) de l'agression ; la proportion d'épisodes au sein d'une dyade dans lesquels les rôles d'agresseur et de victime se sont déroulés dans la direction la moins fréquente.
contre-agression	*le pourcentage de combats agressifs au cours desquels la victime riposte à l'agresseur initial l'intensité de*
l'agression	pourcentage de combats agressifs au cours desquels l'agresseur a recours au contact physique
proximité de l'alimentation	pourcentage de balayages au cours desquels un individu se trouvait à moins de 1 m d'un autre individu indépendant pendant qu'il se nourrissait[a]

[a]La proximité de l'alimentation a été exclue de tous les modèles ou calculs de tolérance donnée et reçue et a été traitée séparément comme une mesure de style de dominance au niveau individuel englobant potentiellement à la fois la tolérance donnée et reçue. En effet, pour de nombreux ensembles de données, nous n'avons pas pu déterminer si des individus autres que le voisin le plus proche se trouvaient à moins d'un mètre, et nous n'avons donc pas pu déterminer de manière fiable le pourcentage de balayages à moins d'un mètre d'un individu de rang supérieur ou inférieur. La proximité de l'alimentation n'a pas été calculée au niveau de l'espèce, car il y avait trop peu d'espèces avec des données pour cette mesure pour que cela mérite d'être fait.

la quantité minimale de données requises pour chaque analyse. Le matériel complémentaire électronique S3 indique les données disponibles pour chaque groupe/espèce et les raisons des données manquantes.

Les comportements d'agression ont été enregistrés à l'aide de méthodes d'échantillonnage focal, de toutes les occurrences ou ad libitum (voir le matériel électronique supplémentaire, tableau S4 pour les éthogrammes d'agression, et S5 pour les méthodes d'observation et les définitions de l'agression utilisées pour chaque groupe). La proximité de l'alimentation a été enregistrée à l'aide d'échantillons ponctuels instantanés de la distance entre un individu focal et son voisin le plus proche lorsque l'individu focal se trouvait dans un contexte d'alimentation (voir le matériel supplémentaire électronique, tableau S5 pour les intervalles de balayage dans les groupes).

2.2.2. Mesures du style de dominance

À partir des données, nous avons extrait quatre variables de style de dominance qui sont décrites dans le tableau 1. La symétrie de l'agression (c'est-à-dire l'indice d'incohérence directionnelle de l'agression ; DII), la contre-agression et l'intensité de l'agression sont des variables de style de dominance couramment utilisées chez les macaques [7,27,28,35], tandis que la proximité de l'alimentation est fréquemment utilisée avec d'autres espèces [29-33].

Au niveau individuel, (i) la "tolérance donnée" (la tendance d'un individu à affirmer sa dominance sur des partenaires subordonnés) et (ii) la "tolérance reçue" (la mesure dans laquelle les partenaires dominants de l'individu ont tendance à affirmer leur dominance sur lui) ont été extraites de la symétrie de l'agression, de la contre-agression et de l'intensité de l'agression. Une seule version individuelle de (iii) la proximité alimentaire a été extraite car elle peut être conceptuellement différente des autres mesures, et parce que l'identité de tous les individus proches n'est pas toujours connue, ce qui serait nécessaire pour calculer la tolérance donnée et reçue pour cette mesure. En outre, les versions (iv) au niveau de l'espèce de la symétrie de l'agression, de la contre-agression et de l'intensité de l'agression ont été calculées.

Les mesures de tolérance donnée ont été calculées en incluant uniquement les interactions comportementales avec les partenaires de rang inférieur, tandis que les mesures de tolérance reçue ont été calculées en incluant uniquement les interactions comportementales avec les partenaires de rang supérieur. Pour les analyses au niveau de l'espèce, nous avons créé une mesure composite du style de dominance qui saisit la variation des trois mesures de l'agression DII, de la contre-agression et de l'intensité de l'agression en une seule valeur (une approche similaire aux indices composites d'association ou d'amitié calculés précédemment chez les primates [36,37]). Pour créer cette mesure composite, les étapes suivantes ont été suivies : (i) nous avons calculé la valeur moyenne de chaque mesure pour tous les individus d'un groupe, puis (ii) la valeur moyenne de tous les groupes de l'espèce. (iii) les scores Z des trois mesures ont ensuite été calculés et (iv) enfin, la moyenne des trois scores Z pour chaque espèce a été calculée. De plus amples détails sur la manière dont les mesures ont été calculées sont fournis dans le matériel électronique supplémentaire S2.

Pour déterminer les rangs de dominance des individus dans chaque groupe, nous avons calculé les scores de David modifiés [38] à l'aide de SOCPROG sur Matlab [39] en nous basant sur les combats agressifs décidés (le vainqueur déterminé

Téléchargé de https://royalsocietypublishing.org/ le 08 novembre 2024

par la fuite ou la soumission de la victime). Nous avons nécessairement dû exclure les individus qui n'avaient pas les compétences requises en matière de f u i t e et de soumission. 7
(ce qui a entraîné l'exclusion d'une espèce).

Nous fournissons des détails sur une mesure exploratoire supplémentaire du style de dominance (symétrie de toilettage) et sa relation avec les mesures vocales dans le matériel électronique supplémentaire, S2 et S10. La symétrie de toilettage (i.e. groom DII) est une mesure du style de dominance qui n'a pas encore été utilisée mais qui pourrait s'avérer utile. Les primates de haut rang ont tendance à recevoir plus de toilettage [40,41], de sorte qu'une plus grande symétrie dans la direction du toilettage au sein d'une dyade pourrait indiquer une relation plus tolérante.

2.3. Données sur la communication vocale

2.3.1. Taux vocal

Pour chaque groupe, les données sur le taux de vocalisation ont été recueillies au cours d'une période d'observation qui chevauchait celle de la collecte des données sur le style de dominance. À partir des observations focales, nous avons mesuré le nombre de vocalisations produites par chaque individu par heure. Conformément à de nombreuses études antérieures sur les vocalisations des primates, nous avons défini un épisode vocal comme l'ensemble des vocalisations produites par l'individu à moins de 30 secondes d'intervalle [42-45]. Un minimum de 2 heures d'observation focale était requis pour l'inclusion d'un individu. Il convient de noter que le débit vocal n'est pas considéré comme une mesure de la complexité de la communication.

2.3.2. Répertoires vocaux

En l'absence d'un ensemble complet de données acoustiques disponibles pour chacun de nos groupes d'étude, conformément aux études précédentes [26,46], nous avons extrait des données sur le répertoire vocal de chaque espèce à partir de la littérature antérieure. Nous avons suivi les critères de McComb & Semple [26] pour la sélection des répertoires et des types d'appels aussi étroitement que possible (voir le matériel électronique supplémentaire, tableau S6A pour les publications utilisées par espèce et les écarts nécessaires par rapport à leurs critères pour notre échantillon d'espèces). Cela a permis d'assurer le plus haut degré de comparabilité entre les espèces possible à partir de la littérature actuelle sur les répertoires. Une espèce (*Propithecus verreauxi*) a été exclue de toutes les analyses de répertoire car elle n'avait pas de répertoire publié. Nous avons extrait deux mesures du répertoire vocal pour chaque espèce : la taille globale du répertoire, que nous considérons comme une mesure de la complexité de la communication, et le nombre d'appels liés à la hiérarchie dans l e répertoire (un sous-ensemble de la taille globale du répertoire). Les appels décrits comme se produisant dans un contexte d'apaisement ou de dominance ont été classés comme signaux liés à la hiérarchie (voir le matériel électronique supplémentaire, tableau S7 pour les définitions de ces contextes).

2.4. Analyse des données

2.4.1. Analyses au niveau individuel

Pour tester nos prédictions au niveau individuel selon lesquelles (i) la tolérance donnée et (ii) la tolérance reçue prédisent la fréquence vocale, nous avons construit deux modèles avec la fréquence vocale comme variable dépendante, soit les trois mesures de tolérance donnée ou les trois mesures de tolérance reçue (symétrie de l'agression, contre-agression et intensité de l'agression) et la taille du groupe comme variables prédictives, avec le groupe et l'espèce comme effets aléatoires (imbriqués). Nous avons ajusté ces modèles en R dans un cadre bayésien, avec le package MCMCglmm [47] en utilisant une distribution gaussienne avec une transformation log10 sur la variable dépendante. Nous avons également vérifié si (iii) la proximité de l'alimentation permettait de prédire le taux de vocalisation. Comme cette variable pouvait potentiellement englober à la fois la tolérance donnée et la tolérance reçue, elle a été introduite dans un GLMM séparé en tant qu'effet fixe. Pour tous les modèles, nous avons utilisé des distributions de probabilité normales diffuses par défaut pour les variables prédictives et des priorités de Wishart inverses couramment utilisées pour les effets aléatoires et la variance résiduelle (en fixant $V = 1$ et $\nu = 0{,}002$; [47]). Voir le tableau 2 pour un résumé de ces modèles, et voir le matériel électronique supplémentaire, S8 pour les espèces et les groupes inclus dans tous les modèles. En général, pour des échantillons d'espèces relativement petits (environ 30 ou moins), le signal phylogénétique ne peut pas être estimé de manière fiable [48], mais notre inclusion de l'espèce en tant qu'effet aléatoire permet toutefois de contrôler la non-indépendance des observations au sein des espèces (comme dans Sol *et al.* [49] par exemple). Tous les diagnostics des modèles ont montré une adéquation raisonnable ; voir le matériel électronique supplémentaire, S9 pour plus de détails sur tous les modèles, y compris les diagrammes de diagnostic.

2.4.2. Analyses au niveau des espèces

Pour vérifier si le style de dominance prédit (iv) la taille globale du répertoire vocal ou (v) le nombre de vocalisations liées à la hiérarchie dans le répertoire d'une espèce, nous avons ajusté deux modèles au niveau de l'espèce avec l'un des modèles suivants

Téléchargé de https://royalsocietypublishing.org/ le 08 novembre 2024

Tableau 2. Résumé des principaux modèles au niveau des individus et des espèces. MCMC, Monte Carlo Markov chain ; GLMM, generalized modèle linéaire mixte ; PGLS, moindres carrés généralisés phylogénétiques.

principaux modèles au niveau individuel (GLMMs bayésiens MCMC)			
modèl	variable dépendante	effets aléatoires	effets fixes
(i) tolérance donnée modèle complet[a] (*N* = 181 individus de 16 espèces)	taux vocal	-groupe -Espèces	-agression DII Contre-agression -intensité de l'agression -la taille du groupe
(ii) tolérance reçue modèle complet[a] (*N* = 178 individus de 16 espèces)	taux vocal	-groupe -Espèces	-agression DII Contre-agression -intensité de l'agression -la taille du groupe
(iii) modèle de proximité alimentaire (*N* = 240 individus de 8 espèces)	taux vocal	-groupe -Espèces	-proximité de l'alimentation -la taille du groupe
principaux modèles au niveau des espèces (modèles fréquentistes PGLS avec λ de Pagel = 1)			
	variable *dépendante*	effets fixes	
(iv) taille du répertoire global (*N* = 21 espèces)	*N appels dans le répertoire*	-Indice composite du style de dominance -la taille du groupe	
(v) taille du répertoire d'appels liée à la hiérarchie (N = 21 espèces)	*N appels liés à la hiérarchie*	-Indice composite de style de dominance -la taille du groupe	

[a]La forme de tolérance donnée des variables de style de dominance utilisées comme effets fixes dans le modèle de tolérance donnée, et la forme de tolérance reçue dans le modèle de tolérance reçue.

les deux mesures de la taille du répertoire comme variables de réponse, et la taille du groupe (moyenne de tous les groupes de l'espèce) et l'indice composite du style de dominance comme prédicteurs. Ici, nous avons utilisé des modèles fréquentistes PGLS dans le paquetage R caper [50,51], car nous n'avions pas besoin d'effets au niveau des individus et des groupes, et cela nous a permis de fixer le λ de Pagel à 1, évitant ainsi les problèmes de puissance statistique associés à l'estimation du signal phylogénétique dans de petits échantillons d'espèces [48]. Cette approche très conservatrice suppose que la phylogénie a la plus grande influence possible sur la variance résiduelle des espèces dans le modèle. Il n'a pas été possible de suivre la même approche pour les modèles au niveau individuel, car le progiciel MCMCglmm R ne permet pas de fixer le signal phylogénétique (estimé à l'aide du paramètre d'héritabilité, h^2) à la valeur maximale possible. Une espèce (*Papio kindae*) présente dans notre ensemble de données au niveau de l'espèce n'a pas été incluse dans la phylogénie de 10 k arbres [52]. Pour éviter d'avoir à exclure cette espèce de nos analyses PGLS, nous l'avons greffée sur la phylogénie de 10 k arbres en tant que lignée sœur de *Papio cynocephalus* avec un temps de divergence de 1,99 Myr, sur la base des estimations fournies par la ressource Time Tree of Life [53]. Voir le tableau 2 pour un résumé des principaux modèles.

3. Résultats

3.1. Analyses au niveau individuel

La description de la variation au sein des espèces en termes de taux vocal et de mesures du style de dominance se trouve dans le matériel supplémentaire électronique, tableau S6B.

3.1.1. Tolérance donnée

A l'appui de notre prédiction selon laquelle les individus dominants qui sont plus tolérants à l'égard des partenaires subordonnés vocalisent plus fréquemment que leurs homologues despotiques, nous avons constaté que les individus ayant un niveau de tolérance plus élevé à l'égard des partenaires subordonnés vocalisent plus fréquemment que leurs homologues despotiques.

Téléchargé de https://royalsocietypublishing.org/ le 08 novembre 2024

Téléchargé de https://royalsocietypublishing.org/ le 08 novembre 2024

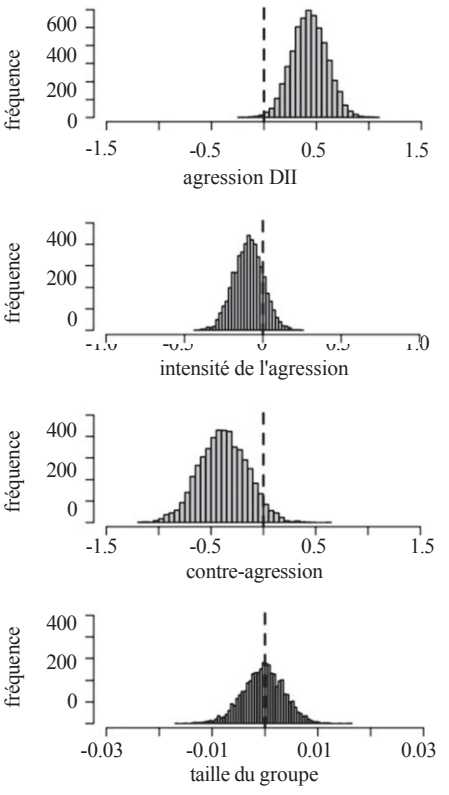

Figure 1. Estimations du modèle à partir d'analyses bayésiennes montrant un effet positif de la symétrie de l'agression sur la fréquence vocale. Les histogrammes montrent les distributions postérieures des coefficients β pour les effets de la symétrie de l'agression, de la contre-agression, de l'intensité de l'agression (compte tenu des mesures de tolérance) et de la taille du groupe sur la fréquence vocale. La distribution pour la symétrie de l'agression s'éloigne considérablement de zéro, ce qui indique la preuve d'un effet dans la direction correspondante. Les distributions des autres variables sont centrées plus près de zéro, ce qui indique peu ou pas de preuves d'effets.

Tableau 3. Résultats du modèle MCMC avec les mesures de tolérance données comme effets fixes (*N* individus = 181, *N* groupes = 43, *N* espèces = 16). Les effets aléatoires du groupe et de l'espèce expliquent respectivement 35 % et 42 % de la variance, tandis que les effets fixes expliquent 6 % de la variance. Il convient de noter que comme l'espèce et le groupe expliquent une part relativement importante de la variance (probablement en raison de l'ascendance phylogénétique et des conditions écologiques), les mesures comportementales doivent nécessairement expliquer une part relativement faible de la variance, mais cela ne signifie pas qu'elles sont biologiquement insignifiantes.

	variable	moyenne postérieure β	l–95% CI	u-95% CI	pMCMC
effets fixes	symétrie de l'agression	0.42	0.09	0.79	0.02
	contre-agression	-0.22	-0.75	0.34	0.44
	intensité de l'agression	-0.09	-0.28	0.12	0.43
	taille du groupe	<0.001	-0.01	0.01	0.84

La tolérance donnée, en termes d'agression plus symétrique, a vocalisé plus fréquemment (voir le tableau 3 pour les résultats complets de la GLMM). Cependant, aucune relation claire n'a été trouvée entre le taux de vocalisation et les deux autres mesures de tolérance donnée ou la taille du groupe. La figure 1 présente les distributions a posteriori des coefficients β pour tous les effets fixes de ce modèle.

Nous avons exécuté un modèle supplémentaire avec la symétrie de l'agression comme seul effet fixe et la fréquence vocale comme variable dépendante (avec les groupes et les espèces comme effets aléatoires) sur un échantillon plus large de 253 individus de 19 espèces. Ce modèle indique également que la symétrie de l'agression est un prédicteur important de la fréquence vocale (voir le matériel électronique supplémentaire, tableau S10C), ce qui indique que ce résultat est généralisable à l'ensemble de notre échantillon d'individus disposant de données sur la symétrie de l'agression. Dans l'ensemble, nos résultats indiquent que les individus dominants dont l'agression est plus symétrique à celle des partenaires de rang inférieur vocalisent à un taux plus élevé.

Téléchargé de https://royalsocietypublishing.org/ le 08 novembre 2024

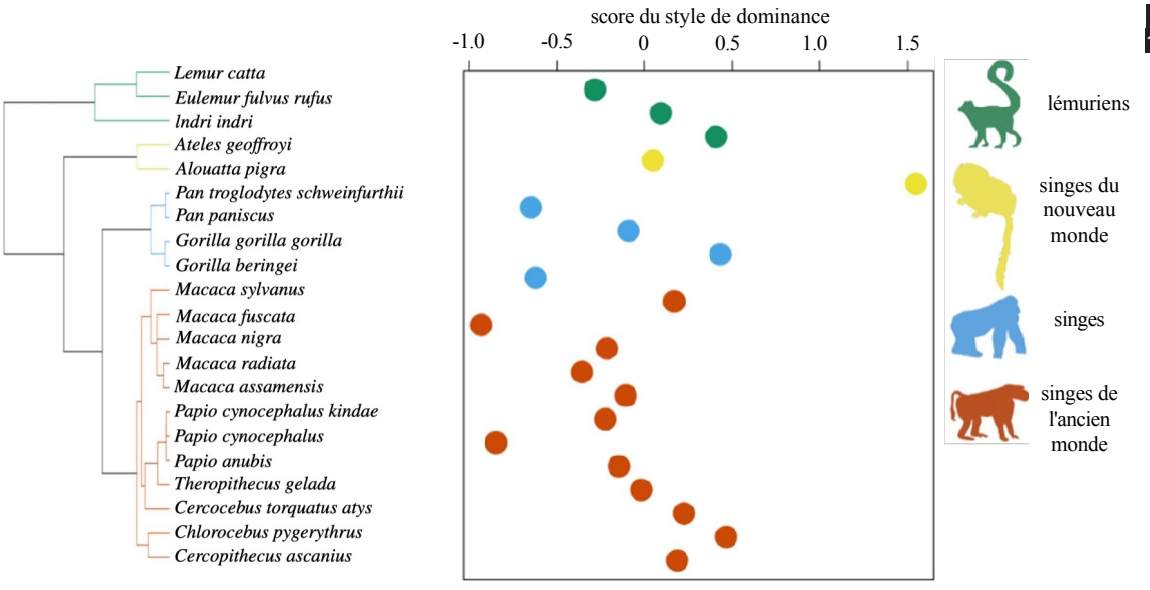

Figure 2. Valeurs de l'indice composite du style de dominance parmi les espèces de l'échantillon pour lesquelles des informations phylogénétiques étaient disponibles. Les indices positifs indiquent la tolérance, tandis que les indices négatifs indiquent le despotisme. Le cladogramme de gauche montre la phylogénie à partir de 10 k arbres.

Tableau 4. Résultats du modèle MCMC avec les mesures de tolérance reçues comme effets fixes (*N* individus = 178, *N* groupes = 32, *N* espèces = 16). Les effets aléatoires du groupe et de l'espèce expliquent respectivement 25 % et 51 % de la variance, tandis que les effets fixes expliquent 4 % de la variance.

	variable	moyenne postérieure β	IC DE 1 À 95	u-95% CI	pMCMC
effets fixes	symétrie de l'agression	0.14	-0.20	0.48	0.42
	contre-agression	-0.05	-0.67	0.53	0.88
	intensité de l'agression	-0.02	-0.22	0.17	0.81
	taille du groupe	0.004	-0.004	0.01	0.33

3.1.2. Tolérance reçue

Contrairement à notre prédiction selon laquelle les individus subordonnés seraient libres de vocaliser plus fréquemment si les partenaires dominants sont plus tolérants à leur égard, nos GLMM n'ont indiqué aucune relation claire entre le taux de vocalisation et l'une ou l'autre des mesures de tolérance reçues (tableau 4). Par conséquent, nous n'avons pas trouvé de preuve solide que les individus subordonnés vocalisaient plus fréquemment si les partenaires dominants étaient plus tolérants à leur égard.

3.1.3. Proximité de l'alimentation

Contrairement à notre prédiction selon laquelle les individus qui ont tendance à rester proches des autres membres du groupe pendant l'alimentation vocaliseraient plus fréquemment, notre GLMM a indiqué que la proximité de l'alimentation n'était pas associée au taux de vocalisation (*N* individus = 232, *N* groupes = 37, *N* espèces = 8, Moyenne postérieure β = - 0,004, pMCMC = 0,97). Les effets aléatoires du groupe et de l'espèce expliquent respectivement 5 et 75 % de la variance. Cela signifie que nous n'avons pas trouvé de soutien à notre prédiction selon laquelle les individus qui se nourrissent fréquemment à proximité d'autres individus vocalisent plus fréquemment.

3.2. Analyses au niveau des espèces

Notre ensemble de données comportementales nous a permis de calculer un indice de style de dominance pour 21 des espèces de notre échantillon, car elles remplissaient les conditions minimales d'inclusion ; la figure 2 illustre la répartition des valeurs de l'indice composite de dominance entre les espèces de l'arbre phylogénétique des primates.

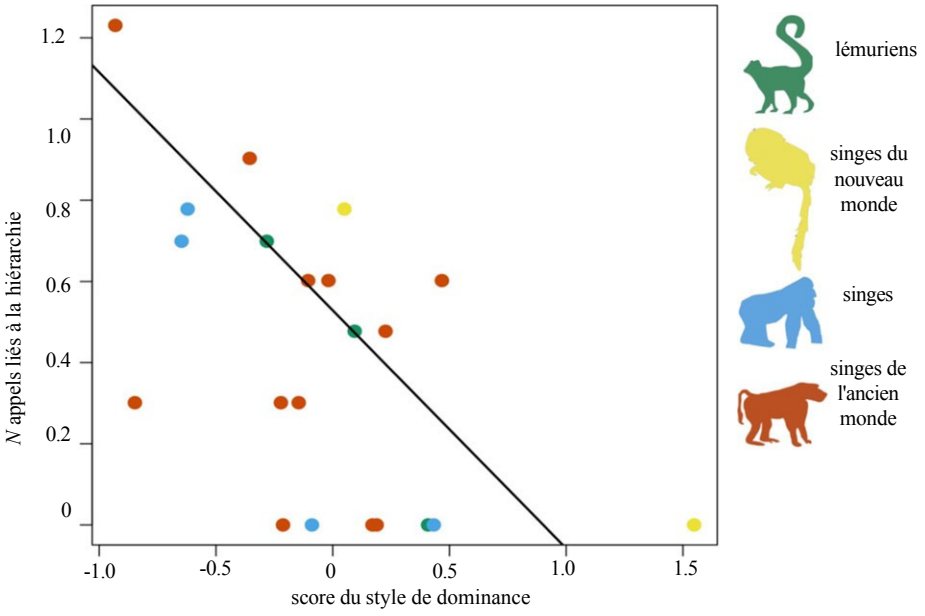

Figure 3. Relation entre le nombre de cris liés à la hiérarchie dans le répertoire de l'espèce et le score de l'indice composite du style de dominance. Les indices positifs indiquent la tolérance, tandis que les indices négatifs indiquent le despotisme. Chaque point représente une espèce. Le nombre de cris liés à la hiérarchie est transformé en log10 conformément aux modèles PGLS. La ligne d'ajustement noire provient du modèle PGLS (v) qui suppose un signal phylogénétique maximal.

Notre prédiction (iv) selon laquelle les espèces plus tolérantes auraient des répertoires vocaux plus étendus n'a pas été confirmée (N = 21, β = -0,01, p = 0,891), mais notre prédiction (v) selon laquelle les espèces plus despotiques auraient davantage de cris liés à la hiérarchie a été confirmée (N = 21, β = -0,59, p = 0,001). La figure 3 montre la relation entre le nombre de cris liés à la hiérarchie et l'indice composite du style de dominance.

Pour voir quelle mesure individuelle du style de dominance prédit le plus fortement le nombre de signaux liés à la hiérarchie, nous avons construit des modèles séparés incluant chacune des trois mesures du style de dominance et la taille du groupe séparément comme variables prédictives, au lieu de l'indice composite du style de dominance. Nous avons trouvé qu'un plus grand répertoire de cris liés à la hiérarchie était prédit par une contre-agression plus faible (N = 16 espèces, β = -2,36, p = 0,01), et une intensité d'agression plus élevée (N = 17 espèces, β = 1,22, p < 0.001), qui indiquent tous deux un plus grand despotisme, alors que l'agression DII (N = 21 espèces, β = 0,14, p = 0,940) et la taille du groupe (N = 25 espèces, β < 0,001, p = 0,952) n'ont pas prédit de manière significative la taille du répertoire des signaux liés à la hiérarchie. Dans l'ensemble, nos résultats indiquent que les espèces les plus despotiques ont des répertoires plus riches d'appels liés à la hiérarchie, mais contrairement à nos attentes, nos résultats ne fournissent aucune preuve que les espèces les plus tolérantes ont des systèmes de communication plus complexes sous la forme de répertoires vocaux plus importants dans l'ensemble.

4. Discussion

En utilisant un riche ensemble de données comportementales provenant de 26 espèces de primates, nous avons quantifié le style de dominance pour la première fois chez un grand nombre de ces espèces et nous avons trouvé des preuves que le style de dominance était lié à la communication vocale à la fois au niveau individuel et au niveau de l'espèce. Nous avons notamment constaté que les espèces les plus despotiques avaient des répertoires plus riches d'appels liés à la hiérarchie dans leurs systèmes vocaux évolués, mais que les individus qui étaient plus tolérants à l'égard des partenaires de rang inférieur vocalisaient à un taux plus élevé. Dans l'ensemble, nos résultats suggèrent que la rigueur des relations de dominance entre les individus et les espèces fournit un contexte important pour comprendre l'utilisation et l'évolution de la voix chez les primates.

Nous avons trouvé des effets différents du style de dominance sur l'utilisation de la voix pour les partenaires dominants et subordonnés, soulignant l'importance d'examiner séparément les deux côtés des relations dyadiques. Nos résultats indiquent que les individus vocalisent plus souvent s'ils ont une agression plus symétrique avec leurs partenaires subordonnés (ce qui indique une plus grande tolérance). Ceci est cohérent avec notre suggestion que les individus tolérants ont probablement un plus grand besoin de communiquer afin de gérer des interactions aux résultats plus incertains, de s'affilier à un plus grand nombre d'individus, ou de demander des ressources et des services, plutôt que de compter sur un statut de dominance plus élevé et/ou sur la force brute pour les obtenir. Cependant, nous n'avons pas constaté que les individus subordonnés s'exprimaient davantage si leurs relations avec les dominants étaient plus étroites.

Téléchargé de https://royalsocietypublishing.org/ le 08 novembre 2024

Téléchargé de https://royalsocietypublishing.org/ le 08 novembre 2024

sont plus tolérants. Pour les individus subordonnés, il pourrait y avoir un besoin similaire de négocier et de s'affilier, quelle que soit la tolérance des partenaires dominants. Par rapport aux individus dominants, les subordonnés sont susceptibles d'être soumis à une pression accrue dans tout environnement social pour adopter le point de vue des autres, une compétence qui nécessite un traitement complexe de l'information sociale [54]. En tant que telle, la tolérance à l'égard de la réception peut ne pas accroître la complexité sociale pour les individus aussi fortement que la tolérance à l'égard de l'offre, d'où l'absence d'effet clair de la tolérance à l'égard de la réception sur le taux de communication. En examinant les deux composantes des relations entre les styles de dominance, nous avons constaté que la tolérance est susceptible d'être liée à la communication vocale plus fortement en raison de l'augmentation de la pression que de l'allègement des contraintes.

Notre étude est la première à prouver que les espèces les plus despotiques ont des répertoires plus riches de vocalisations de dominance et d'apaisement. Ce résultat est lié à la découverte de Preuschoft & van Schaik [16] selon laquelle le despotisme prédit l'existence de signaux faciaux formels de dominance chez une espèce, ainsi qu'aux résultats liés à l'affichage facial "silencieux des dents nues", qui a fait l'objet de nombreuses études. Ce signal est utilisé de manière symétrique et flexible chez les espèces tolérantes, mais de manière asymétrique et dans des contextes étroits chez les espèces despotiques [55]. De même, il est possible que les vocalisations liées à la hiérarchie chez nos espèces despotiques aient des homologues chez les espèces tolérantes, le despotisme étant lié à l'asymétrie de leur utilisation entre les individus dominants et subordonnés, plutôt que d'être à l'origine de l'évolution des signaux eux-mêmes. Nos résultats ouvrent des voies passionnantes pour de futures recherches testant cette possibilité.

Les résultats obtenus au niveau de l'espèce ne confirment pas l'hypothèse de la complexité sociale [4]. Contrairement à nos prévisions, nous n'avons pas constaté que les espèces tolérantes avaient un répertoire vocal global plus important, ni que la taille du groupe était un facteur prédictif de toute mesure vocale. Une étude récente de Rebout *et al* [25] a montré que dans des contextes agonistiques et affiliatifs, mais pas dans des contextes neutres, la diversité des types d'appels produits par deux espèces de macaques tolérantes était supérieure à celle de deux espèces despotiques. Cela pourrait indiquer que notre incapacité à trouver un effet de la tolérance sur la taille globale du répertoire est due au fait que nous n'avons pas été en mesure de prendre en compte le contexte d'émission. Il est également possible que, si l'on considère un large éventail d'espèces de primates, le style de dominance ne soit pas une variable sociale suffisamment stable au fil des générations et de l'évolution pour avoir un effet sur les systèmes de communication évolués. Actuellement, la stabilité du style de dominance d'une génération à l'autre est largement inconnue et pourrait varier d'une espèce à l'autre. Les modèles de la théorie des jeux indiquent qu'une stratégie despotique peut être plus stable qu'une stratégie tolérante [56], ce qui pourrait expliquer pourquoi nous avons trouvé des preuves plus solides du lien entre le despotisme et les systèmes de communication évolués que la tolérance dans notre large échantillon d'espèces. Les différences de mesure pourraient également expliquer pourquoi, contrairement à Rebout *et al.* [25], nous n'avons pas trouvé que les espèces tolérantes avaient des répertoires vocaux plus importants et, contrairement à Semple & McComb [26], nous n'avons pas trouvé de soutien à la taille du groupe pour prédire la taille du répertoire vocal. Alors que nous avons mesuré empiriquement le style de dominance, Rebout *et al*. [25] se sont appuyés sur des caractérisations antérieures des niveaux de tolérance des espèces de macaques, basées uniquement sur le comportement des femelles. Il s'agit d'une limitation qui persiste dans la majorité des recherches visant à déterminer comment le style de dominance est lié à d'autres variables, malgré les preuves de la variation intra-espèce du style de dominance [11]. En effet, alors que les macaques à crête ont été caractérisés comme très tolérants dans la littérature et dans Rebout *et al* [25], ils ne sont pas apparus comme particulièrement tolérants d'après notre évaluation comportementale (figure 2). Inversement, alors que Rebout *et al*. [25] ont pu utiliser des méthodes de regroupement acoustique pour quantifier la diversité vocale, cette approche optimale n'était tout simplement pas réalisable avec notre large échantillon d'espèces, et nous avons donc utilisé les répertoires vocaux publiés à la place. Un effort de recherche concerté est nécessaire pour s'assurer que des répertoires vocaux objectifs comparables basés sur la mesure acoustique et la classification statistique des types d'appels sont disponibles pour chaque espèce [57]. Bien que nous ayons utilisé une approche similaire à celle de McComb & Semple [34] pour mesurer le répertoire vocal, certaines estimations de la taille des groupes diffèrent considérablement chez les espèces qui figurent dans les deux échantillons (voir [58] pour un examen de la variabilité de la taille des groupes), ce qui pourrait expliquer pourquoi nous n'avons pas reproduit leurs résultats. Par exemple, alors qu'ils rapportent une taille de groupe de 125 pour les bonobos, il n'y en avait que 24 dans notre échantillon. Notre étude suggère qu'il pourrait être utile de réexaminer la question de savoir si les espèces de primates qui vivent dans des groupes plus importants ont effectivement des répertoires vocaux plus étendus. Ces écarts de mesure entre les études soulignent l'importance de l'étude de la taille des groupes de primates. d'utiliser des méthodes comparables qui tiennent compte des variations au sein des espèces et entre elles.

Nous interprétons nos résultats en précisant qu'une validation plus poussée des mesures du style de dominance à travers les espèces de primates est nécessaire pour confirmer la validité de nos conclusions. Notre étude est la première tentative de mesurer le style de dominance sur une échelle continue à travers l'ordre des primates, il n'est donc pas surprenant que nous n'ayons pas trouvé que toutes les mesures de style de dominance prédisaient la communication dans notre échantillon. Bien que nous ayons largement basé nos mesures sur celles utilisées avec succès dans le genre macaque, les mesures qui capturent le mieux le concept de style de dominance sont susceptibles de varier en raison des différences entre les espèces dans la gestion des relations de dominance, et les recherches futures doivent étudier l'ensemble optimal de mesures pour chaque espèce. Comme la majorité de nos mesures du style de dominance ne pouvaient s'appliquer qu'aux espèces qui se livraient régulièrement à des agressions au sein du groupe, notre échantillon a exclu les espèces qui présentaient des niveaux de dominance très

Téléchargé de https://royalsocietypublishing.org/ le 08 novembre 2024

d'agression. Une approche différente est donc nécessaire pour comprendre comment les relations de dominance sont gérées chez les espèces dont les taux d'agression sont très faibles. Si l'on considère les espèces de primates qui se livrent régulièrement à l'agression au sein d'un groupe, l'agression est un outil essentiel pour établir et gérer les relations de domination au sein d'une hiérarchie. L'asymétrie de l'agression étant une caractéristique déterminante de la dominance et d'un style de dominance despotique, les mesures relatives à la symétrie de l'agression peuvent constituer l'indication la plus solide du style de dominance chez les primates.

Bien qu'un grand effort de collaboration ait été nécessaire pour générer l'ensemble de données pour cette étude, il pourrait être encore amélioré avec des données et des variables supplémentaires. En raison de données manquantes, tous les individus ou espèces n'ont pas été inclus dans tous les modèles, bien que des données soient disponibles pour la majorité des espèces dans nos principaux résultats (par exemple, 19 des 26 espèces ont été incluses dans notre modèle avec la symétrie de l'agression et le taux de vocalisation). Comme pour toutes les approches unimodales, notre focalisation unique sur la communication vocale signifie que nous n'avons pas tenu compte de la communication produite par d'autres modalités de communication, bien que certaines espèces ou certains individus puissent compter davantage sur la communication faciale, gestuelle ou olfactive que sur les signaux vocaux. Une approche plus holistique et multimodale de la caractérisation de la communication serait donc bénéfique à l'avenir [59,60]. En outre, bien que nous ayons inclus la taille du groupe comme variable de contrôle dans nos modèles, le nombre de facteurs sociaux et écologiques pouvant être liés à la communication vocale est vaste, et il n'était pas possible de les prendre tous en compte. Ceci est dû en grande partie au fait que de nombreuses variables écologiques, telles que la visibilité de l'habitat et l'abondance de la nourriture, peuvent être difficiles à quantifier de manière directement comparable [61]. Nous considérons notre étude comme une première étape importante sur laquelle les recherches futures pourront s'appuyer. Nous espérons que nos résultats encourageront d'autres études sur la rigueur des relations de dominance et de la communication dans le règne animal. Les relations de dominance asymétriques sont observées non seulement chez les primates, mais aussi dans un large éventail de taxons animaux (par exemple, les oiseaux [62], les éléphants [63], les porcs [64]). Il conviendrait donc d'étudier le lien entre la communication et le style de dominance chez ces espèces. Bien que nos résultats soient compatibles avec notre hypothèse causale, notre conception corrélationnelle ne permet pas d'établir le sens de la causalité et nous suggérons que de futures simulations d'études expérimentales le fassent. Les recherches futures pourraient également examiner si les différences de sexe dans le style de dominance au sein d'une espèce expliquent les différences de sexe dans l'utilisation vocale et les répertoires. En outre, le modèle de résultats que nous identifions chez les primates soulève la question de savoir comment le style de dominance peut être lié au langage et à la communication chez l'homme. On pense que les humains ont vécu dans des sociétés très tolérantes au cours de notre évolution récente [65], et la façon dont le style de dominance a pu contribuer à l'évolution du langage humain est donc une perspective prometteuse pour un examen plus approfondi.

Dans cette étude, nous avons découvert que le style de dominance prédit à la fois la variation de la communication vocale au niveau de l'individu et de l'espèce. C'est la première fois que nous évaluons cette relation entre plusieurs genres de primates à l'aide d'une approche à plusieurs niveaux d'analyse, et nos résultats fournissent des indications précieuses sur les pressions qui façonnent la communication vocale. Notre ensemble de données comportementales permettra d'examiner à l'avenir d'autres corrélats potentiels du style de dominance, tels que des facteurs cognitifs ou écologiques, ou d'explorer plus avant sa relation avec la communication en utilisant une approche multimodale [66]. Si nous voulons comprendre les effets du comportement social sur l'évolution de la communication, nous devons l'étudier sous de multiples angles dans divers taxons et aller au-delà d'une focalisation étroite sur la taille du groupe en incorporant des mesures de la nature des interactions sociales, telles que le style de dominance.

Éthique. Cette étude était conforme aux directives ASAB/ABS pour l'utilisation d'animaux dans la recherche et a reçu l'approbation éthique du Biology Animal Welfare and Ethical Review Board de l'université de York. L'approbation éthique des sites d'étude individuels est fournie dans le matériel électronique supplémentaire, S1B.

Accessibilité des données. Le fichier Excel des données et les scripts R utilisés pour les analyses sont fournis dans le matériel électronique supplémentaire [67].

Contributions des auteurs. E.K. : Conception des questions de recherche, collecte et formatage des données, analyse des données, rédaction des projets de manuscrits et direction du processus d'édition. K.S. : CONCEPTION DES QUESTIONS DE RECHERCHE, CONSEILS INTELLECTUELS ET SUPERVISION, ÉDITION DU MANUSCRIT : Conception des questions de recherche, conseils intellectuels et supervision, édition du manuscrit. A.L. : Conception des questions de recherche et édition du manuscrit. S.E.S. : Analyse statistique et commentaires sur le manuscrit. K.E.G. : Codage des données et commentaires sur le manuscrit. S.M. : Recherche documentaire sur les répertoires vocaux et commentaires sur le manuscrit. Tous les autres auteurs : collecte de données et commentaires sur le manuscrit.

Intérêts concurrents. Les auteurs ne déclarent aucun intérêt concurrent.

Financement. Aucun financement n'a été fourni spécifiquement pour le présent article, mais le financement qui a soutenu la collecte de données sur les sites de terrain est mentionné dans le matériel électronique supplémentaire, S11.

Remerciements. Ce projet hautement collaboratif n'aurait pas été possible sans les nombreuses équipes de terrain et le financement fourni pour la collecte des données sur tous les sites de terrain. Nous citons ces personnes et d'autres dans le matériel électronique supplémentaire, S11, et nous aimerions également remercier le Amboseli Baboon Project, Elizabeth Archie, Susan Alberts et Jake Gordan pour leur contribution aux données sur les babouins jaunes.

Téléchargé de https://royalsocietypublishing.org/ le 08 novembre 2024

Références

1. Bateson P, Laland KN. 2013 Les quatre questions de Tinbergen : une appréciation et une mise à jour. *Trends Ecol. Evol*. 28, 712-718. (doi:10.1016/j.tree.2013.09.013)
2. Dunbar RI. 1992 Neocortex size as a constraint on group size in primates. *J. Hum. Evol*. 22, 469-493. (doi:10.1016/0047-2484(92)90081-J)
3. Dunbar RI. 1993 Coévolution de la taille du néocortex, de la taille du groupe et du langage chez l'homme. *Behav. Brain. Sci.* 16, 681-694. (doi:10.1017/S0140525X00032325)
4. Freeberg TM, Dunbar RI, Ord TJ. 2012 La complexité sociale comme facteur proximal et ultime de la complexité communicative. *Phil. Trans. R. Soc. B* 367, 1785-1801. (doi:10.1098/rstb.2011.0213)
5. Fischer J, Farnworth MS, Sennhenn-Reulen H, Hammerschmidt K. 2017 Quantifier la complexité sociale. *Anim. Behav*. 130, 57-66. (doi:10.1016/j.anbehav.2017.06.003)
6. Bergman TJ, Beehner JC. 2015 Mesurer la complexité sociale. *Anim. Behav.* 103, 203-209. (doi:10.1016/j.anbehav.2015.02.018)
7. de Waal FBM, Luttrell LM. 1989 Toward a comparative socioecology of the genus Macaca : different dominance styles in rhesus and stumptail monkeys. *Am. J. Primatol.* 19, 83-109. (doi:10.1002/ajp.1350190203)
8. Van Schaik CP. 1989 L'écologie des relations sociales chez les primates femelles. *Comp. Socioecol.* 8, 195-218.
9. Flack JCF, de Waal FBD. 2004 Dominance style- social power and conflict management : a conceptual framework. In *Macaque societies : a model for the study of social organization* (eds B Thierry, M Singh, W Kaumann), vol. 41, p. 157. Cambridge, UK : Cambridge University Press.
10. Thierry B. 2007 Unity in diversity : lessons from macaque societies. *Anthropologie évolutive.* 16, 224-238. (doi:10.1002/evan.20147)
11. Zhang P, Watanabe K. 2014 Intraspecies variation in dominance style of *Macaca fuscata*. *Primates* 55, 69-79. (doi:10.1007/s10329-013-0370-6)
12. de Waal FB. 1986 Class structure in a rhesus monkey group : the interplay between dominance and tolerance. *Anim. Behav.* 34, 1033-1040. (doi:10.1016/S0003-3472(86)80162-2)
13. Carne C, Wiper S, Semple S. 2011 Reciprocation and interchange of grooming, agonistic support, feeding tolerance, and aggression in semi-free- ranging Barbary macaques. *Am. J. Primatol.* 73, 1127-1133. (doi:10.1002/ajp.20979)
14. Foster MW, Gilby IC, Murray CM, Johnson A, Wroblewski EE, Pusey AE. 2009 Alpha male chimpanzee grooming patterns : implications for dominance 'style'. *Am. J. Primatol.* 71, 136-144. (doi:10.1002/ajp.20632)
15. Barrett L, Henzi SP, Lusseau D. 2012 Taking sociality seriously : the structure of multi- dimensional social networks as a source d'information pour les particuliers. *Phil. Trans. R. Soc. B* 367, 2108-2118. (doi:10.1098/rstb.2012.0113)
16. Preuschoft S, van Schaik CP. 2000 Dominance et communication. Gestion des conflits en divers contextes sociaux. Dans *Natural Conflict Resolution, vol. 106* (eds F Aureli, F de Waal), pp. 77-105. Oakland, CA : University of California Press.
17. Bouchet H, Blois-Heulin C, Lemasson A. 2013 Social complexity parallels vocal complexity : a comparison of three non-human primate species. *Front. Psychol.* 4, 390. (doi:10.3389/ fpsyg.2013.00390)
18. Dobson SD. 2012 Coévolution de l'expression faciale et de la tolérance sociale chez les macaques. *Am. J. Primatol.* 74, 229-235. (doi:10.1002/ajp.21991)
19. De Marco A, Rebout N, Massiot E, Sanna A, Sterck EH, Langermans JA, Cozzolini R, Thierry B, Lemasson A. 2019 Differential patterns of vocal similarity in tolerant and intolerant macaques. *Behaviour* 1, 1-25. (doi:10.1163/ 1568539x-00003562)
20. Faraut L, Siviter H, Dal Pesco F, Fischer J. 2019 How life in a tolerant society affects the usage of grunts : evidence from female and male Guinea baboons. *Anim. Behav*. 153, 83-93. (doi:10.1016/j.anbehav.2019.05.003)
21. Hammerschmidt K, Fischer J. 2019 Baboon vocal repertoires and the evolution of primate vocal diversity. *J. Hum. Evol.* 126, 1-13. (doi:10.1016/j.jhevol.2018.10.010)
22. Maestripieri D. 1999 Primate social organization, gestural repertoires size and communication dynamics : a comparative study of macaques. Dans *The origins of language : what nonhuman primates can tell us* (ed. BJ King), pp. 55-77. Santa Fe, NM : The School of American Research.
23. Maestripieri D. 2005 Gestural communication in three species of macaques (*Macaca mulatta*, *M. nemestrina*, *M. arctoides*) : use of signals in relation to dominance and social context. *Gesture* 5, 57-73. (doi:10.1075/gest.5.1-2. 06mae)
24. Maciej P, Ndao I, Hammerschmidt K, Fischer J. 2013 Vocal communication in a complex société à plusieurs niveaux : structure acoustique contrainte et utilisation flexible des appels chez les babouins de Guinée. *Front. Zool.* 10, 58. (doi:10.1186/1742-9994-10-58)
25. Rebout N, De Marco A, Lone JC, Sanna A, Cozzolino R, Micheletta J, Thierry B. 2020 Tolerant and intolerant macaques show different levels of structural complexity in their vocal communication. *Proc. R. Soc. B* 287, 20200439. (doi:10.1098/rspb.2020.0439)
26. McComb K, Semple S. 2005 Coévolution de la communication vocale et de la socialité chez les primates. *Biol. Lett.* 1, 381-385. (doi:10.1098/rsbl.2005.0366)
27. Thierry B. 2000 Management patterns across macaque species. In *Natural conflict resolution* (eds F Aureli, F de Waal), vol. 106. Oakland, CA : University of California Press.
28. Balasubramaniam KN *et al.* 2012 Hierarchical steepness, counter-aggression, and macaque social style scale. *Am. J. Primatol.* 74, 915-925. (doi:10.1002/ajp.22044)
29. Dale R, Range F, Stott L, Kotrschal K, Marshall- Pescini S. 2017 L'influence des relations sociales sur la tolérance alimentaire chez les loups et les animaux de compagnie. chiens. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 71, 1-14. (doi:10.1007/s00265-017-2339-8)
30. Fichtel C, Schnoell AV, Kappeler PM. 2018 Mesurer la tolérance sociale : une approche expérimentale chez deux primates lémuriens. *Ethology* 124, 65-73. (doi:10.1111/eth.12706)
31. Hare B, Melis AP, Woods V, Hastings S, Wrangham R. 2007 La tolérance permet aux bonobos de surpasser les chimpanzés dans une tâche coopérative. *Curr. Biol.* 17, 619-623. (doi:10.1016/j.cub.2007.02.040)
32. Melis AP, Hare B, Tomasello M. 2006 Engineering cooperation in chimpanzees : tolerance constraints on cooperation. *Anim. Behav.* 72, 275-286. (doi:10.1016/j.anbehav.2005.09.018)
33. Senar JC, Camerino M, Metcalfe NB. 1990 Familiarity breeds tolerance : the development of social stability in flocking siskins (*Carduelis spinus*). *Ethology* 85, 13-24. (doi:10.1111/j. 1439-0310.1990.tb00381.x)
34. Rebout N, Desportes C, Thierry B. 2017 Resource partitioning in tolerant and intolerant macaques. *Aggress. Behav*. 43, 513-520.31. (doi:10.1002/ab.21709)
35. Cronin KA, Van Leeuwen EJ, Vreeman V, Haun DB. 2014 Population-level variability in the social climates of four chimpanzee societies (Variabilité au niveau de la population dans les climats sociaux de quatre sociétés de chimpanzés). *Evol. Hum. Behav.* 35, 389-396. (doi:10.1016/j. evolhumbehav.2014.05.004)
36. Gilby IC, Wrangham RW. 2008 Association patterns among wild chimpanzees (*Pan troglodytes schweinfurthii*) reflect sex differences in cooperation. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 62, 1831-1842. (doi:10.1007/s00265-008-0612-6)
37. Schel AM, Machanda Z, Townsend SW, Zuberbühler K, Slocombe KE. 2013 Les cris de nourriture des chimpanzés sont dirigés vers des individus spécifiques. *Anim. Behav.* 86, 955-965. (doi:10.1016/j. anbehav.2013.08.013)
38. de Vries H, Stevens JM, Vervaecke H. 2006 Measuring and testing the steepness of dominance hierarchies. *Anim. Behav.* 71, 585-592. (doi:10.1016/j.anbehav.2005.05.015)
39. Whitehead H. 2009 Programmes SOCPROG : analyse des structures sociales animales. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 63, 765-778. (doi:10.1007/s00265- 008-0697-y)
40. Schino G. 2001 Grooming, competition and social rank among female primates : a meta- analysis. *Anim. Behav.* 62, 265-271. (doi:10.1006/anbe.2001.1750)
41. Seyfarth RM. 1977 A model of social grooming among adult female monkeys. *J. Theor. Biol.* 65, 671-698. (doi:10.1016/0022-5193(77)90015-7)
42. De Waal FB, Bauers KA. 1991 "Coo" vocalizations in stumptailed macaques : a controlled functional analysis. *Behaviour* 119, 143-160. (doi:10.1163/156853991X00418)
43. Elowson AM, Snowdon C, Lazaro-Perea C. 1998 Infant 'babbling' in a nonhuman primate : complex vocal sequences with repeated call types. *Behaviour* 135, 643-664. (doi:10.1163/156853998792897905)

44. Schel AM, Townsend SW, Machanda Z, Zuberbühler K, Slocombe KE. 2013 La production de cris d'alarme par les chimpanzés répond aux critères clés de l'intentionnalité. *PLoS ONE* **8**, e76674. (doi:10.1371/journal.pone.0076674)
45. Slocombe KE, Zuberbühler K. 2007 Chimpanzees modify recruitment screams as a function of audience composition. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **104**, 17 228-17 233. (doi:10.1073/pnas.0706741104)
46. Dunn JC, Smaers JB. 2018 Corrélats neuronaux du répertoire vocal chez les primates. *Front. Neurosci.* **12**, 534. (doi:10.3389/fnins.2018.00534)
47. Hadfield JD. 2010 MCMC methods for multi-response generalized linear mixed models : the MCMCglmm R package. *J. Stat. Softw.* **33**, 1-22. (doi:10.18637/jss.v033.i02)
48. Freckleton RP, Harvey PH, Pagel M. 2002 Phylogenetic analysis and comparative data : a test and review of evidence. *Am. Nat.* **160**, 712-726. (doi:10.1086/343873)
49. Sol D, Maspons J, Vall-Llosera M, Bartomeus I, García- Peña GE, Piñol J, Freckleton RP. 2012 Unraveling the life history of successful invaders. *Science* **337**, 580-583. (doi:10.1126/science.1221523)
50. Orme D, Freckleton R, Thomas G, Petzoldt T. 2013 The caper package : comparative analysis of phylogenetics and evolution in R. R package version 5, 1-36.
51. Équipe RStudio. 2015 *RStudio : integrated development for R*. Boston, MA : RStudio, Inc. Voir http://www.rstudio.com/
52. Arnold C, Matthews LJ, Nunn CL. 2010 Le site web 10kTrees : une nouvelle ressource en ligne pour les phylogénie des primates. *Evol. Anthropol.* **19**, 114-118. (doi:10.1002/evan.20251)
53. Kumar S, Stecher G, Suleski M, Hedges SB. 2017 TimeTree : une ressource pour les lignes de temps, les arbres temporels et les temps de divergence. *Mol. Biol. Evol.* **34**, 1812-1819. (doi:10.1093/molbev/msx116)
54. Galinsky AD, Magee JC, Inesi ME, Gruenfeld DH. 2006 Pouvoir et perspectives non prises. *Psychol. Sci.* **17**, 1068-1074. (doi:10.1111/j.1467-9280. 2006.01824.x)
55. Preuschoft S, van Hooff JA. 1995 Homologation des représentations faciales des primates : un examen critique des méthodes. *Folia Primatol.* **65**, 121-137. (doi:10. 1159/000156878)
56. Matsumura S, Kobayashi T. 1998 A game model for dominance relations among group-living animals. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **42**, 77-84. (doi:10.1007/ s002650050414)
57. Wadewitz P, Hammerschmidt K, Battaglia D, Witt A, Wolf F, Fischer J. 2015 Characterizing vocal repertoires-hard vs. soft classification approaches. *PLoS ONE* **10**, e0125785. (doi:10.1371/journal.pone.0125785)
58. Sandel AA, Miller JA, Mitani JC, Nunn CL, Patterson SK, Garamszegi LZ. 2016 Évaluation des sources d'erreur dans les analyses comparatives du comportement des primates : variation intraspécifique de la taille des groupes et du cerveau social. hypothèse. *J. Hum. Evol.* **94**, 126-133. (doi:10.1016/j.jhevol.2016.03.007)
59. Liebal K, Waller BM, Slocombe KE, Burrows AM. 2014 *Communication entre primates : une approche multimodale approche*. Cambridge, UK : Cambridge University Press.
60. Peckre LR, Kappeler PM, Fichtel C. 2019 Clarifier et étendre l'hypothèse de la complexité sociale pour la complexité communicative. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **73**, 11. (doi:10.1007/ s00265-018-2605-4)
61. Clutton-Brock T, Janson C. 2012 Primate socioecology at the crossroads : past, present, and future. *Evol. Anthropol.* **21**, 136-150. (doi:10.1002/evan.21316)
62. Piper WH. 1997 La dominance sociale chez les oiseaux. Dans *Current ornithology* (eds V Nolan, ED Ketterson), pp. 125-187. Boston, MA : Springer.
63. Archie EA, Morrison TA, Foley CA, Moss CJ, Alberts SC. 2006 Dominance rank relationships among wild female African elephants, *Loxodonta africana*. *Anim. Behav.* **71**, 117-127. (doi:10.1016/j.anbehav.2005.03.023)
64. Meese GB, Ewbank R. 1973 The establishment and nature of the dominance hierarchy in the domesticated pig. *Anim. Behav.* **21**, 326-334. (doi:10.1016/S0003-3472(73)80074-0)
65. Boehm C. 1999 *Hierarchy in the forest : the evolution of egalitarian behavior*. Cambridge, MA : Harvard University Press.
66. Slocombe KE, Waller BM, Liebal K. 2011 Le vide linguistique : la nécessité de la multimodalité dans la recherche sur la communication des primates. *Anim. Behav.* **81**, 919-924. (doi:10.1016/j.anbehav.2011. 02.002)
67. Kavanagh E *et al.* 2021 Dominance style is a key predictor of vocal use and evolution across nonhuman primates. Figshare.

Téléchargé de https://royalsocietypublishing.org/ le 08 novembre 2024