



Caractéristiques rythmiques du chant de l'indri et nouvelles perspectives pour une évaluation comparative du rythme chez les primates non humains

Rhythmic characteristics of indri song and new perspectives for a comparative assessment of rhythm in non-human primates

Marco Gamba, Valeria Torti, Chiara De Gregorio, Teresa Raimondi, Longondraza Miaretsoa, Filippo Carugati, Walter Cristiano, Rose M. Randrianarison, Giovanna Bonadonna, Anna Zanolli, Olivier Friard, Daria Valente, Andrea Ravignani et Cristina Giacoma



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/primatologie/14989>

DOI : 10.4000/primatologie.14989

ISSN : 2077-3757

Éditeur

Société francophone de primatologie

Ce document vous est offert par Università degli Studi di Torino



Référence électronique

Marco Gamba, Valeria Torti, Chiara De Gregorio, Teresa Raimondi, Longondraza Miaretsoa, Filippo Carugati, Walter Cristiano, Rose M. Randrianarison, Giovanna Bonadonna, Anna Zanolli, Olivier Friard, Daria Valente, Andrea Ravignani et Cristina Giacoma, « Caractéristiques rythmiques du chant de l'indri et nouvelles perspectives pour une évaluation comparative du rythme chez les primates non humains », *Revue de primatologie* [En ligne], 13 | 2022, mis en ligne le 15 mars 2023, consulté le 20 mars 2023. URL : <http://journals.openedition.org/primatologie/14989> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/primatologie.14989>

Ce document a été généré automatiquement le 17 mars 2023.



Creative Commons - Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International
- CC BY-NC-ND 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Caractéristiques rythmiques du chant de l'indri et nouvelles perspectives pour une évaluation comparative du rythme chez les primates non humains

Rhythmic characteristics of indri song and new perspectives for a comparative assessment of rhythm in non-human primates

Marco Gamba, Valeria Torti, Chiara De Gregorio, Teresa Raimondi, Longondraza Miaretsoa, Filippo Carugati, Walter Cristiano, Rose M. Randrianarison, Giovanna Bonadonna, Anna Zanolli, Olivier Friard, Daria Valente, Andrea Ravignani et Cristina Giacoma

NOTE DE L'ÉDITEUR

Soumis le 16/04/2022, accepté après révisions le 27/09/2022, publié en ligne le 15/03/2023 dans le cadre du numéro spécial « Communication vocale chez les primates non humains : diversité et complexité » (Varia 2022).

Une version traduite en anglais est disponible en ligne.

A translated version, in English, is available online.

1 Introduction

- 1 La production et la perception vocale sont des aspects fondamentaux de la communication acoustique des primates (Seyfarth & Cheney, 2003; Egnor et al., 2004; Carlson et al., 2020). Les caractéristiques fréquentielles des signaux vocaux peuvent encoder des informations sur l'identité, le sexe, la maturité et l'état physiologique

(Bradbury & Vehrencamp, 1998; Knörnschild et al., 2013; Gamba et al., 2012). Outre les caractéristiques spectrales, la structuration temporelle des signaux joue elle aussi un rôle essentiel dans la communication animale (Filippi et al., 2019). Par exemple, les premiers résultats sur les lémuriens huppés ont montré que les séquences de vocalisations peuvent fournir des informations sur les différences phylétiques. En effet, les lémuriens à colerette rouge (*Varecia rubra*) présentaient des chants avec un rythme plus rapide que les lémuriens à colerette noire et blanche (*Varecia variegata*), montrant ainsi que les différences temporelles peuvent être critiques pour la reconnaissance des espèces (Macedonia & Taylor, 1985; Brockelman & Schilling, 1984).

- 2 Depuis la découverte de l'universalité des capacités rythmiques chez les humains (Stivers et al., 2009), les caractéristiques temporelles de la communication vocale ont suscité un grand intérêt de la part des chercheurs qui étudient le comportement et la communication des animaux (Ravignani et al., 2019).
- 3 Les motifs rythmiques sont un outil précieux pour la discrimination des espèces (David et al., 2003). Au niveau intraspécifique, ils peuvent influencer le choix du partenaire (Norton & Scharff, 2016) et la reconnaissance individuelle (André & Kamminga, 2000; Mathevon et al., 2017). Une autre caractéristique essentielle d'une séquence rythmique est que des éléments individuels et temporellement organisés peuvent être regroupés à un niveau supérieur, constituant une structure hiérarchisée (Kotz et al., 2018).
- 4 Parmi les nombreuses espèces de primates qui émettent des vocalisations remarquables, les primates chanteurs font partie d'un petit groupe d'espèces qui produisent de longues séries d'acrobaties vocales (Haimoff et al., 1986; De Gregorio et al., 2022).
- 5 Indri indri est l'un des animaux les plus emblématiques de Madagascar et le seul lémurien à faire partie du petit groupe des primates chanteurs (Maretti et al., 2010; Valente et al., 2019, 2022). Nous avons récemment découvert que les intervalles temporels entre les temps de début des unités de chant sont distribués de manière catégorique plutôt qu'uniforme (c'est-à-dire répartis autour de fractions approximatives de petits nombres, par exemple $3/2$, plutôt qu'autour de valeurs aléatoires; Savage et al., 2015; Ravignani et al., 2018; Roeske et al., 2020). Cette découverte a des implications importantes pour l'étude comparative de la communication chez l'indri et chez les différentes espèces des primates chanteurs et ouvre de nouvelles perspectives de recherche qui pourraient impliquer d'autres lémuriens. Elle fait également apparaître de nouvelles voies d'investigation possibles de la communication des primates et l'étude d'une phylogénie du rythme qui pourrait inclure l'ensemble des espèces de l'ordre des primates.

2 Le chant de l'indri

- 6 Les chants des indris ont la forme d'un refrain dans lequel tous les adultes et les subadultes d'un groupe émettent leurs contributions de manière précise et coordonnée (Gamba et al., 2016). Les chants ont diverses fonctions selon le contexte dans lequel ils sont émis, et ils sont utilisés à la fois pour la communication inter et intra-groupe (Baker-Médard et al., 2013; Torti et al., 2013; Spezie et al., 2022). En effet, les chants sont susceptibles de fournir des informations sur la composition du groupe, et de servir de médiateur pour la formation de nouveaux groupes (Pollock, 1986; Giacoma et al., 2010; Gamba et al., 2016; Torti et al., 2017; Zanoli et al., 2020). Le chant chez cette espèce

présente des différences selon les sexes, les mâles tenant leurs notes plus longtemps, bien que l'investissement global dans le chant ne diffère pas entre mâles et femelles (Giacoma et al., 2010; Torti et al., 2018). Ce dimorphisme sexuel au niveau de l'unité et de l'organisation du chant se manifeste à la phase adulte (De Gregorio et al., 2019; Valente et al., 2021) sous une forme différente de celle dont il se produit au cours de l'ontogenèse des individus (De Gregorio et al., 2021a). En effet, alors que les paramètres de fréquence montrent des changements constants entre les sexes, les caractéristiques temporelles montrent des trajectoires de développement différentes entre mâles et femelles; en fait, les mâles montrent une diminution de la durée de la phonation avec l'âge, contrairement aux femelles, qui montrent plutôt une augmentation (De Gregorio et al., 2021a).

- 7 Le chant de l'indri est une longue séquence d'unités vocales (appelées notes) organisées en phrases (Thalman et al., 1993; Gamba et al., 2011). Le chant commence par une série de rugissements émis simultanément par plusieurs membres du groupe. Des notes longues, principalement émises par les mâles, suivent les rugissements. Vient ensuite une longue séquence d'unités modulées en fréquence organisées en phrases descendantes (Pollock, 1986; Sorrentino et al., 2013; Zanolli et al., 2020). Les phrases descendantes commencent par une unité présentant une fréquence fondamentale élevée, suivie d'une ou plusieurs autres (jusqu'à cinq) de fréquence de départ progressivement plus basse. Régulièrement, deux individus ou plus coordonnent le timing de leurs phrases descendantes pour aboutir à un modèle de duo stable. Le couple d'adultes domine le chant, tandis que les individus plus jeunes peuvent n'y contribuer que partiellement. Les mâles et les femelles dominants influencent le timing de début de la séquence de chœur : le mâle dominant et la femelle dominante se chevauchent plus fréquemment qu'ils ne le font avec les individus non-dominants de leur groupe (Gamba et al., 2016).
- 8 Bien que les groupes puissent chanter simultanément, les chants de groupe sont généralement contagieux et émis de manière séquentielle. Il a été suggéré que l'émission de chants peut également être perturbée par des événements extérieurs tels que le tonnerre, le chant des oiseaux ou les passages d'avions ainsi que les appels d'autres lémuriens (Pollock, 1975). Les chants sont principalement émis entre 06h et 13h, avec des pics entre 07h et 11h (Powzyk, 1997; Geissmann & Mutschler, 2006). Chaque année, le nombre de chants quotidiens augmente vers le mois de septembre pour atteindre son maximum en novembre et décembre, où l'on peut également entendre des appels pendant la nuit. Le nombre de chants quotidiens diminue de nouveau en février et mars (Pollock, 1975; Powzyk, 1997). Le chant de l'indri joue un rôle dans la défense territoriale lors de rencontres intergroupes, annonçant la présence du groupe dans une zone particulière de son territoire, dans la définition des limites territoriales entre groupes voisins, dans la cohésion du groupe, dans la communication des conditions environnementales et du potentiel reproductif de certains individus (Pollock, 1975; Torti et al., 2013).

3 Rythme catégorique chez l'indri

- 9 Pour chaque participant à un chorus, on peut définir des « onsets » correspondant au début de chacune de ses unités. Deux onsets délimitent un intervalle inter-onset (tk), soit le temps entre le début d'une unité et l'unité suivante (De Gregorio et al., 2021b).

Les rapports entre ces intervalles (rk) sont calculés en divisant un intervalle par lui-même plus son adjacent (Roeske et al., 2020). Par exemple, deux intervalles identiques génèrent un rapport 1:1 (correspondant à un rapport $rk = 0,5$), et un intervalle suivi d'un autre deux fois plus long génère un rapport 1:2 ($rk = 0,33$). L'analyse de ces rapports conduit à l'identification de modèles qui peuvent être décrits selon la fréquence d'occurrence propre à chaque espèce. Cette approche a permis de mettre en évidence des similitudes rythmiques entre le chant des oiseaux et la musique humaine. Ainsi, pour la première fois chez une espèce non humaine, Roeske et ses collègues ont découvert qu'une espèce d'oiseau (*Luscinia luscinia*, rossignol progré) présente une catégorie rythmique isochrone significative (rapport 1:1) et un biais potentiel vers les catégories 1:2.

- 10 Nous avons trouvé une distribution en trois groupes, en étudiant les rapports rythmiques chez les indris. Tout d'abord, nous avons constaté que deux des groupes correspondaient aux catégories rythmiques 1:1 et 1:2. Ce résultat est remarquable car nous avons eu la chance de mettre en évidence deux catégories rythmiques significatives correspondant à de petits rapports entiers chez un animal non-humain. En outre, il est intéressant de souligner que nous avons un troisième cluster s'approchant d'un rapport 2:1 (nous avons trouvé un pic à 0,70 au lieu de 0,67 correspondant à une catégorie rythmique 2:1). Nous en avons conclu que, comme pour les oiseaux chanteurs, les chants des indris ont une forte composante isochrone avec une certaine flexibilité de tempo : les indris chantent à un tempo isochrone légèrement décroissant, similaire à un 'ritardando' musical. Tandis que les oiseaux chanteurs ne produisent pas plus de catégories 1:2 qu'attendu par hasard, les ratios empiriques des indris correspondent statistiquement à la catégorie théorique 1:2. Même si les rapports entiers 1:1 et 1:2 ne sont pas une preuve directe de rythme ou de mesure, ils évoquent toutefois des processus périodiques imbriqués similaires.
- 11 Nous avons également constaté que les longueurs absolues des intervalles diffèrent entre les mâles et les femelles, mais que les rapports 1:1 sont similaires. Ce résultat peut être pertinent au regard des hypothèses sélectives de la musique, supposant un rôle de la sélection sexuelle et du lien social sur les origines du rythme. Nous pouvons ainsi conclure que les indris mâles et femelles sont capables de produire des tempos de chant et des durées d'intervalles différents, même si les rapports 1:1 restent cohérents entre les sexes. Cela suggère que la sélection sexuelle n'aurait pas affecté l'évolution de l'isochronie chez les indris ; elle pourrait, cependant, jouer un rôle dans le tempo des intervalles uniques et les catégories rythmiques non isochrones.
- 12 Notre étude (De Gregorio et al., 2021b) a montré qu'un autre primate, en dehors des humains, produit des rythmes catégoriels. Il est intéressant de noter que le dernier ancêtre commun entre les humains et les indris vivait il y a 77,5 millions d'années (Herrera & Dávalos, 2016). Par conséquent, nous pouvons spéculer qu'il ne s'agit probablement pas d'un ancêtre commun des rythmes catégoriels. Au contraire, cette capacité peut avoir évolué de manière convergente parmi les espèces qui chantent, comme les oiseaux chanteurs, les indris et les humains. Nous pouvons également nous demander quelle est la fonction adaptative de l'isochronie. L'isochronie et les catégories rythmiques peuvent faciliter la coordination, le traitement et potentiellement l'apprentissage du chants (De Gregorio et al., 2021a).

4 Penser dans une perspective large

- 13 Comme nous le savons, le débat sur l'évolution du langage se termine souvent par un affrontement entre camps, ou pire, entre positions issues de disciplines différentes. Il est désormais bien établi que nous ne pouvons pas nous passer d'étudier les primates non humains pour comprendre le rôle que des pressions de sélection particulières ont pu jouer dans l'évolution de nos capacités de communication et de celles d'autres espèces (Fitch, 2010). Dans cette optique, il est particulièrement fascinant de comprendre quelles caractéristiques de notre langage sont partagées avec d'autres espèces (Hauser et al., 2002). Nous pourrions ainsi constituer progressivement une mosaïque qui nous permettra de comprendre comment les différentes facultés linguistiques que nous possédons ont évolué, peut-être individuellement, chez d'autres espèces animales (Fitch, 2010). Cette perspective pré-adaptationniste (Okanoya, 2007) a l'avantage de nous donner les moyens de mieux formuler et tester des hypothèses sur l'évolution des traits individuels (par exemple, l'apprentissage vocal, les capacités rythmiques, la reconnaissance des formes de hauteur).
- 14 Les catégories rythmiques sont en ce sens l'un des aspects les plus facilement accessibles à un grand nombre de chercheurs, en raison de la simplicité du traitement nécessaire à l'obtention des données et à leur interprétation.
- 15 Il convient également de souligner que, bien que nous nous soyons concentrés ici sur les signaux acoustiques, une approche similaire peut être utilisée pour étudier la combinaison de plusieurs modes de signalisation, qui constitue une communication multimodale (Pouw et al., 2021).
- 16 Nous aimons à penser que, d'ici quelques années, nous serons en mesure de construire une phylogénie des capacités rythmiques des primates, ce que nous pourrions réaliser en alliant des études *in situ* et *ex situ* et en combinant les efforts de nombreux chercheurs dans différentes parties du monde.

Conflit d'intérêt

- 17 Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflit d'intérêt.

BIBLIOGRAPHIE

André M, Kamminga C. 2000. Rhythmic dimension in the echolocation click trains of sperm whales: A possible function of identification and communication. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 80: 163-169.

Baker-Médard MSA, Baker MC, Logue DM. 2013. Chorus song of the Indri (Indri: Primates, Lemuridae): group differences and analysis of within-group vocal interactions. *International Journal of Comparative Psychology* 26: 241-255.

- Bradbury JW, Vehrencamp SL. 1998. Principles of Animal Communication. Sunderland, Sinauer Associates.
- Brockelman WY, Schilling D. 1984. Inheritance of stereotyped gibbon calls. *Nature* 312: 634-636.
- Carlson NV, Greene E, Templeton CN. 2020. Nuthatches vary their alarm calls based upon the source of the eavesdropped signals. *Nature Communications* 11: 526.
- de Oliveira David JA, Zefa E, Fontanetti CS. 2003. Cryptic species of *Gryllus* in the light of bioacoustic (Orthoptera: Gryllidae). *Neotropical Entomology* 32: 75-80.
- De Gregorio C, Zanolli A, Valente D, et al. 2019. Female indris determine the rhythmic structure of the song and sustain a higher cost when the chorus size increases. *Current Zoology* 65: 89-97.
- De Gregorio C, Carugati F, Estienne V, et al. 2021a. Born to sing! Song development in a singing primate. *Current Zoology* 67: 597-608.
- De Gregorio C, Valente D, Raimondi R, et al. 2021b. Categorical rhythms in a singing primate. *Current Biology* 31: 1379-1380.
- De Gregorio C, Carugati F, Valente D, et al. 2022. Notes on a tree: reframing the relevance of primate choruses, duets, and solo songs. *Ethology Ecology & Evolution* 34: 205-219.
- Egnor SER, Miller C, Hauser MD. 2004. Nonhuman primate communication. *Encyclopedia of Language and Linguistics*. Amsterdam, Elsevier.
- Filippi P, Hoeschele M, Spierings M, Bowling, DL. 2019. Temporal modulation in speech, music, and animal vocal communication: evidence of conserved function. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1453: 99-113.
- Fitch WT. 2010. *The Evolution of Language*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Gamba M, Favaro L, Torti V, Sorrentino V, Giacoma C. 2011. Vocal tract flexibility and variation in the vocal output in wild indris. *Bioacoustics: the International Journal of Animal Sound and Its Recording* 20: 251-265.
- Gamba M, Colombo C, Giacoma C. 2012. Acoustic cues to caller identity in lemurs: a case study. *Journal of Ethology* 30: 191-196.
- Gamba M, Torti V, Estienne V, et al. 2016. The Indris Have Got Rhythm! Timing and Pitch Variation of a Primate Song Examined between Sexes and Age Classes. *Frontiers in Neuroscience* 10:249.
- Geissmann T, Mutschler T. 2006. Diurnal distribution of loud calls in sympatric wild indris (*Indri indri*) and ruffed lemurs (*Varecia variegata*): implications for call functions. *Primates* 47: 393-396.
- Giacoma C, Sorrentino V, Rabarivola C, Gamba M. 2010. Sex differences in the song of *Indri indri*. *International Journal of Primatology* 31: 539-551.
- Haimoff EH. 1986. Convergence in the duetting of monogamous Old World primates. *Journal of Human Evolution* 15: 51-59.
- Hauser MD, Chomsky N, Fitch WT. 2002. The faculty of language: what is it, who has it, and how did it evolve? *Science* 298:1569-79.
- Herrera JP, Dávalos LM. 2016. Phylogeny and Divergence Times of Lemurs Inferred with Recent and Ancient Fossils in the Tree. *Systematic Biology* 65: 772-791.
- Kotz SA, Ravignani A, Fitch WT. 2018. The Evolution of Rhythm Processing. *Trends in Cognitive Sciences* 22 :, 896-910.

- Knörnschild M, Feifel M, Kalko EVK. 2013. Mother-offspring recognition in the bat *Carollia perspicillata*. *Animal Behaviour* 86: 941-948.
- Macedonia JM, Taylor LL. 1985. Subspecific divergence in a loud call of the ruffed lemur (*Varecia variegata*). *American Journal of Primatology* 9: 295-304.
- Maretti G, Sorrentino V, Finomana A, Gamba M, Giacoma C. 2010. Not just a pretty song: an overview of the vocal repertoire of *Indri indri*. *Journal of Anthropological Sciences* 88: 151-165
- Mathevon N, Casey C, Reichmuth C, Charrier I. 2017. Northern elephant seals memorize the rhythm and timbre of their rivals' voices. *Current Biology* 27: 2352-2356.
- Norton P, Scharff C. 2016. "Bird Song Metronomics": Isochronous Organization of Zebra Finch Song Rhythm. *Frontiers in Neuroscience*.
- Okanoya K. 2007. Language evolution and an emergent property. *Current opinion in neurobiology* 17: 271-276.
- Pollock JI. 1975. *The Social Behaviour and Ecology of Indri indri*. London University (Doctoral dissertation).
- Pollock JI. 1986. The song of the Indris (*Indri indri*; Primates: Lemuroidea): natural history, form and function. *International Journal of Primatology* 7: 225-267.
- Pouw W, Proksch S, Drijvers L, et al. 2021. Multilevel rhythms in multimodal communication. *Philosophical Transactions B* 376: 20200334.
- Powzyk JA. 1997. The socio-ecology of two sympatric indriids : *Propithecus diadema diadema* and *Indri indri*, a comparison of feeding strategies and their possible repercussions on species-specific behaviors. Duke University (Doctoral dissertation)
- Ravignani A, Thompson B, Lumaca M, Grube M. 2018. Why Do Durations in Musical Rhythms Conform to Small Integer Ratios? *Frontiers in Computational Neuroscience* 12:86.
- Ravignani A, Dalla Bella S, Falk S, Kello CT, Noriega, Kotz SA. 2019. Rhythm in speech and animal vocalizations: a cross-species perspective. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1453: 79-98.
- Roeske TC, Tchernichovski O, Poeppel D, Jacoby N. 2020. Categorical rhythms are shared between songbirds and humans. *Current Biology* 30: 3544-3555.
- Savage P, Brown S, Sakai E, Currie T. 2015. Statistical universals reveal the structures and functions of human music. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112: 8987-8892.
- Seyfarth RM, Cheney DL. 2003. Signalers and receivers in animal communication. *Annual Review of Psychology*, 54: 145-173
- Sorrentino V, Gamba M, Giacoma C. 2013. A Quantitative Description of the Vocal Types Emitted in the Indri's song. In J Masters, M Gamba, & F Génin F (Eds.), *Leaping Ahead: Advances in Prosimian Biology* (pp. 315-322). New York, Springer Science + Business Media
- Spezie G, Torti V, Bonadonna G, De Gregorio C, Valente D, Giacoma C, Gamba M. 2022. Evidence for acoustic discrimination in lemurs: a playback study on wild indris (*Indri indri*). *Current Zoology* 68: 1-9
- Stivers T, Enfield NJ, Brown P, et al. 2009. Universals and cultural variation in turn-taking in conversation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106:10587-10592.

- Thalmann U, Geissmann T, Simona A, Mutschler T. 1993. The indris of Anjanaharibe-Sud, northeastern Madagascar. *International Journal of Primatology* 14: 357-381.
- Torti V, Gamba M, Rabemananjara ZH, Giacoma C. 2013. The songs of the indris (Mammalia: Primates: Indridae): Contextual variation in the long-distance calls of a lemur. *Italian Journal of Zoology* 80: 596-607.
- Torti V, Bonadonna G, De Gregorio C, Valente D, Randrianarison RM, Friard O, Giacoma C. 2017. An intra-population analysis of the indris' song dissimilarity in the light of genetic distance. *Scientific Reports* 7: 10140.
- Torti V, Valente D, De Gregorio C, et al. 2018. Call and be counted! Can we reliably estimate the number of callers in the indri's (*Indri indri*) song? *PLoS ONE* 13: e0201664.
- Valente D, De Gregorio C, Torti V, et al. 2019. Finding Meanings in Low Dimensional Structures: Stochastic Neighbor Embedding Applied to the Analysis of *Indri indri* Vocal Repertoire. *Animals* 9.
- Valente D, De Gregorio C, Favaro L, et al. 2021. Linguistic laws of brevity: conformity in *Indri indri*. *Animal Cognition* 24: 897-906.
- Valente D, Miaretsoa L, Anania A, et al. 2022. Comparative analysis of vocalisations of diademed sifakas (*Propithecus diadema*) and indris (*Indri indri*). *International Journal of Primatology* 43: 733-751.
- Zanoli A, De Gregorio C, Valente D, et al. 2020. Sexually dimorphic phrase organization in the song of the indris (*Indri indri*). *American Journal of Primatology* 82:e23132.

RÉSUMÉS

Depuis la découverte de l'universalité des capacités rythmiques chez les humains, les caractéristiques temporelles de la communication ont suscité grand intérêt chez les chercheurs. Les modèles rythmiques sont un outil précieux pour discriminer les espèces, les individus, ou pour le choix du partenaire. Une étude récente montre que les chants d'oiseaux et la musique humaine partagent la présence de catégories rythmiques lorsque les intervalles temporels sont distribués de manière catégorielle plutôt qu'uniforme. A la suite de cette étude, nous avons vérifié si les chants des indris (*Indri indri*), le seul lémurien chanteur, montraient des caractéristiques similaires. Nous avons mesuré les intervalles inter-onset (tk), délimités par les débuts de deux unités consécutives, et les rapports rythmiques entre ces intervalles (rk), calculés en divisant un intervalle par lui-même plus son adjacent : nous avons trouvé une distribution en trois clusters. Deux des clusters correspondaient à des catégories rythmiques 1:1 et 1:2, le troisième s'approchait du ratio 2:1. Nos résultats ont démontré pour la première fois qu'un autre primate produit des rythmes catégoriels, une capacité qui a probablement évolué par convergence chez les espèces qui chantent telles que les oiseaux, les indris et les humains. Il est fondamental de comprendre quelles caractéristiques de la communication sont partagées avec d'autres espèces pour en comprendre l'évolution. Dans cette perspective, grâce à la simplicité du traitement et de l'interprétation des données, notre étude s'est appuyée sur une approche analytique accessible qui pourrait ouvrir de nouveaux domaines d'investigation sur la communication chez les primates, ouvrant la voie à la reconstruction d'une phylogénie des capacités rythmiques au sein de cet ordre.

Since the discovery that rhythmic abilities are universal in humans, temporal features of vocal communication have greatly interested researchers studying animal communication. Rhythmic patterns are a valuable tool for species discrimination, mate choice, and individual recognition. A

recent study showed that bird songs and human music share rhythmic categories when a signal's temporal intervals are distributed categorically rather than uniformly. Following that study, we aimed to investigate whether songs of indris (*Indri indri*), the only singing lemur, may show similar features. We measured the inter-onset intervals (t_k), delimited by the onsets of two consecutive units, and the rhythmic ratios between these intervals (r_k), calculated by dividing an interval by itself plus its adjacent, and found a three-cluster distribution. Two clusters corresponded to rhythmic categories at 1:1 and 1:2, and the third approached a 2:1 ratio. Our results demonstrated for the first time that another primate besides humans produces categorical rhythms, an ability likely evolved convergently among singing species such as songbirds, indris, and humans. Understanding which communicative features are shared with other species is fundamental to understanding how they have evolved. In this regard, thanks to the simplicity of data processing and interpretation, our study relied on an accessible analytical approach that could open up new branches of the investigation into primate communication, leading the way to reconstruct a phylogeny of rhythm abilities across the entire order.

INDEX

Mots-clés : Lémuriens, primates chanteurs, communication vocale, rythme, compétences musicales

Keywords : Lemurs, singing primates, vocal communication rhythm, musical abilities

AUTEURS

MARCO GAMBA

Dipartimento Di Scienze Della Vita E Biologia Dei Sistemi, Università Degli Studi Di Torino, Torino, Italia

Auteur pour la correspondance : marco.gamba@unito.it

VALERIA TORTI

Dipartimento Di Scienze Della Vita E Biologia Dei Sistemi, Università Degli Studi Di Torino, Torino, Italia

CHIARA DE GREGORIO

Dipartimento Di Scienze Della Vita E Biologia Dei Sistemi, Università Degli Studi Di Torino, Torino, Italia

TERESA RAIMONDI

Dipartimento Di Scienze Della Vita E Biologia Dei Sistemi, Università Degli Studi Di Torino, Torino, Italia

LONGONDRAZA MIARETSOA

Dipartimento Di Scienze Della Vita E Biologia Dei Sistemi, Università Degli Studi Di Torino, Torino, Italia

Groupe D'Étude Et de Recherche Sur Les Primates de Madagascar (GERP), Antananarivo, Madagascar

FILIPPO CARUGATI

Dipartimento Di Scienze Della Vita E Biologia Dei Sistemi, Università Degli Studi Di Torino,
Torino, Italia

WALTER CRISTIANO

Dipartimento Di Scienze Della Vita E Biologia Dei Sistemi, Università Degli Studi Di Torino,
Torino, Italia

ROSE M. RANDRIANARISON

Groupe D'Étude Et de Recherche Sur Les Primates de Madagascar (GERP), Antananarivo,
Madagascar

GIOVANNA BONADONNA

Department of Anthropology, Washington University in St. Louis, Missouri, U.S.A.

ANNA ZANOLI

Dipartimento Di Scienze Della Vita E Biologia Dei Sistemi, Università Degli Studi Di Torino,
Torino, Italia

OLIVIER FRIARD

Dipartimento Di Scienze Della Vita E Biologia Dei Sistemi, Università Degli Studi Di Torino,
Torino, Italia

DARIA VALENTE

Dipartimento Di Scienze Della Vita E Biologia Dei Sistemi, Università Degli Studi Di Torino,
Torino, Italia

ANDREA RAVIGNANI

Comparative Bioacoustics Group, Max Planck Institute for Psycholinguistics, Nijmegen, The
Netherlands

CRISTINA GIACOMA

Dipartimento Di Scienze Della Vita E Biologia Dei Sistemi, Università Degli Studi Di Torino,
Torino, Italia