

O Echo

dos Animaes irracionais.

Novo objecto de estudos da Natureza,
offeruido a seus apreciadores.

Outro titulo melhor.

Indagações

sobre a voz dos animaes;
ou

Esses de ~~um~~ novo objecto de estudos,
offeruido

aos amigos da natureza

Zoophonie : les origines de la bioacoustique

—
Luís Felipe Toledo
Carlos Barros de Araújo

Durant des siècles, les hommes ont déployé une énergie peu commune à l'étude du monde naturel. Platon et son élève le plus célèbre Aristote ont tenté de classer tous les organismes vivants à partir de groupes reconnaissables. Aristote a même publié une série de notices et d'ouvrages rassemblés sous le titre *Histoire des animaux*, qui décrit et classe les animaux connus à son époque (une grande partie de son livre, *De l'âme*, est consacrée, peut-être sans surprise, à la discussion sur ce qui caractérise la vie). Ce n'est qu'aux XVIII^e et XIX^e siècles que de nouvelles tentatives véritablement scientifiques pour classer les organismes surgiront. Ce sont les années où Carl Linnaeus (1707-1778) publiera *Systema Naturae* qui décrivait son système de nomenclature binominale et où Antoni van Leeuwenhoek (1632-1723) découvrira les organismes unicellulaires (les bactéries et les champignons microscopiques, notamment). Peu après, Charles Darwin (1809-1882) et Alfred Russel Wallace (1823-1913) décrivaient les principes de l'évolution et, plus tard, Carl Woese (1928-2012) classifiait la vie en trois domaines. Cette période, marquée par le désir européen de tout classer, fut particulièrement riche pour la biologie.

Jusqu'au début du XIX^e siècle, le Brésil était un territoire très isolé. Fuyant les guerres napoléoniennes, la monarchie portugaise y trouva refuge, débarquant sur le sol brésilien en 1808. L'arrivée de la famille royale fut l'occasion, avec l'établissement d'un véritable gouvernement dans le pays, de la création d'institutions brésiliennes de recherches, telles que le Jardin Botanique de Rio de Janeiro. Durant cette période, des naturalistes du monde entier eurent accès au pays et, après le mariage de Maria Leopoldina (fille de l'Empereur du Saint-Empire François II d'Autriche) avec le futur Empereur brésilien Pedro I^{er}, les autorisations dont ils bénéficièrent gagnèrent encore en facilités. Les expéditions autrichiennes furent particulièrement privilégiées, ainsi que celles d'hommes tels que Carl Friedrich Philipp von Martius (1794-1868) et Johann Baptist Ritter von Spix (1781-1826), ou Georg Heinrich von Langsdorff (1774-1852).

C'est ce dernier, un explorateur prussien, qui nous intéresse ici, parce qu'il engagea le jeune artiste français Hercule Florence, comme peintre pour son

expédition. Cette expédition allait s'avérer fondatrice pour la zoologie moderne, car c'est alors que Florence développa, pour la première fois dans l'histoire, un système capable de décrire correctement les sons des animaux. C'est cette science de la Zoophonie, comme il allait la nommer, qui a amené les chercheurs contemporains à lui attribuer le titre de « père de la bioacoustique »¹.

Le système de Florence était relativement simple et, surtout, universel. Grâce à des conventions empruntées à la musique classique, il transcrivait les vocalisations animales sur une portée de cinq lignes, qu'il annotait et interprétait pour assurer la clarté de la transmission. Cette méthode était plus précise et universelle que le système onomatopéique établi, qui permet la comparaison des sons à travers le langage écrit. En effet, bien qu'un son tel que « Pi Pi Pi » se prononce en français, en portugais ou en allemand de la même manière, il différerait considérablement en anglais et serait pratiquement impossible en japonais. Le système de Florence, par contre, remplit les critères scientifiques stricts de la précision et de la répétabilité. Le néologisme simple et approprié qu'il employa pour nommer sa méthode, Zoophonie, n'a jamais été adopté ; c'est le nom de bioacoustique que l'on a attribué à la discipline qui étudie la communication acoustique sauvage, incluant également certaines études sur les plantes et les vibrations².

La grande avancée de Florence dans ce domaine fut la réalisation que les vocalisations animales sont spécifiques tant par espèce que par genre. Comme chaque espèce possède son propre signal acoustique, cette singularité vocale peut être utilisée pour distinguer les espèces même en l'absence de toute autre distinction morphologique. Cette caractéristique, profondément étudiée de nos jours comme une sous-catégorie de la sélection sexuelle et naturelle, est extrêmement utile pour identifier et décrire la biodiversité dans le monde³. La spécificité du son par genre, comprise par Florence, est également extrêmement importante (figure 1, p. 269). Dans ses études, il a révélé que cette communication intraspécifique était bien plus complexe que ce que les scientifiques pensaient jusqu'alors. Par exemple, l'évolution pouvait exercer différentes pressions sur l'appel des mâles et des femelles – un fait qui est à la base de la théorie de Darwin sur la sélection sexuelle, qu'il écrirait des années plus tard. Malgré les difficultés liées à l'application de sa méthode sur lesquelles nous reviendrons plus loin, la contribution de Florence fut fondamentale et inspira les bioacousticiens qui ouvrirent le champ d'étude un siècle plus tard.

Alfred Diez Suite de la Tablature Chromatique

Alfred Diez Suite de la Tablature Chromatique

Exemple

Fortissimo

Le même doigt pour le Fa naturel

1. Mi ou Fa naturel. On doit s'en servir presque toujours au premier doigt. La division n'est pas

Alfred Diez Suite de la Tablature Chromatique

qui dans la Tablature. N. M. cependant de rigueur lorsqu'on remonte des traits en octaves ou en quintes

2. Fa ou Sol b. Cette note est naturellement un peu basse, on se servira de la

clef d'alto ou de la clef de soprano pour la rendre, mais dans les faibles le premier doigt est

utilisé dans tous les cas, comme on le voit dans la tablature, et dans les gammes Chrom

peut aussi transporter cette note sur la clef de Fa, mais il est dit pour u

qui comme la clef d'alto, surtout dans les faibles, car il faut

qui est de difficile à retenir.

Systema da arte de escrever a voz dos animais.

Fig. 1.^a Fig. 2.^a Fig. 3.^a Fig. 4.

Exemplo Geral. Fig. 5.^a

Parte musical da voz de alguns animais do interior do Brasil

Canto do Jacaré. Fig. 6. *Canto do Jacaré Corta-pão. Fig. 8.*

Canto do Trepador. Fig. 7.

Gritar de hum sapo do sertão de Matto-Grosso e Tapa. Fig. 9. *Grito do Pregio. Fig. 10.*

Canto da Arapungá. Fig. 11. *Canto da Arapungá. Fig. 12.* *Canto da Aracuna. Fig. 13.*

Canto do Aracuna e de sua fêmea. Fig. 14. *Canto do Bonteco. Fig. 15.* *Armadilha da onça. Fig. 16.* *Imitação Javali. Fig. 17.*

Grito da Araranha. Fig. 18.

N. B. Os ligados feitos com traços tão mais commodos, do que feitos com pontilhinhos.

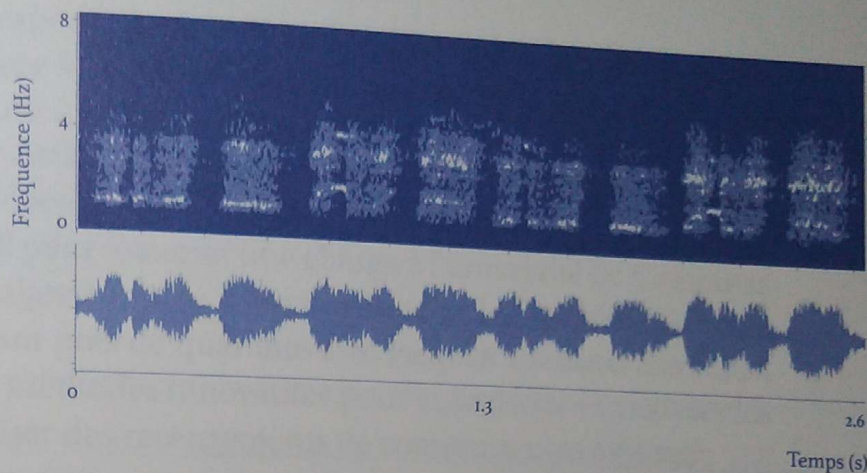
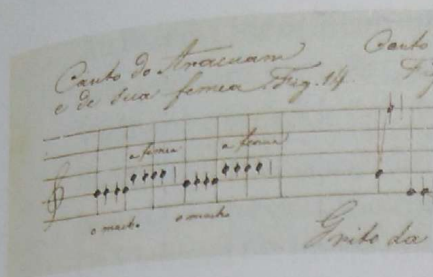
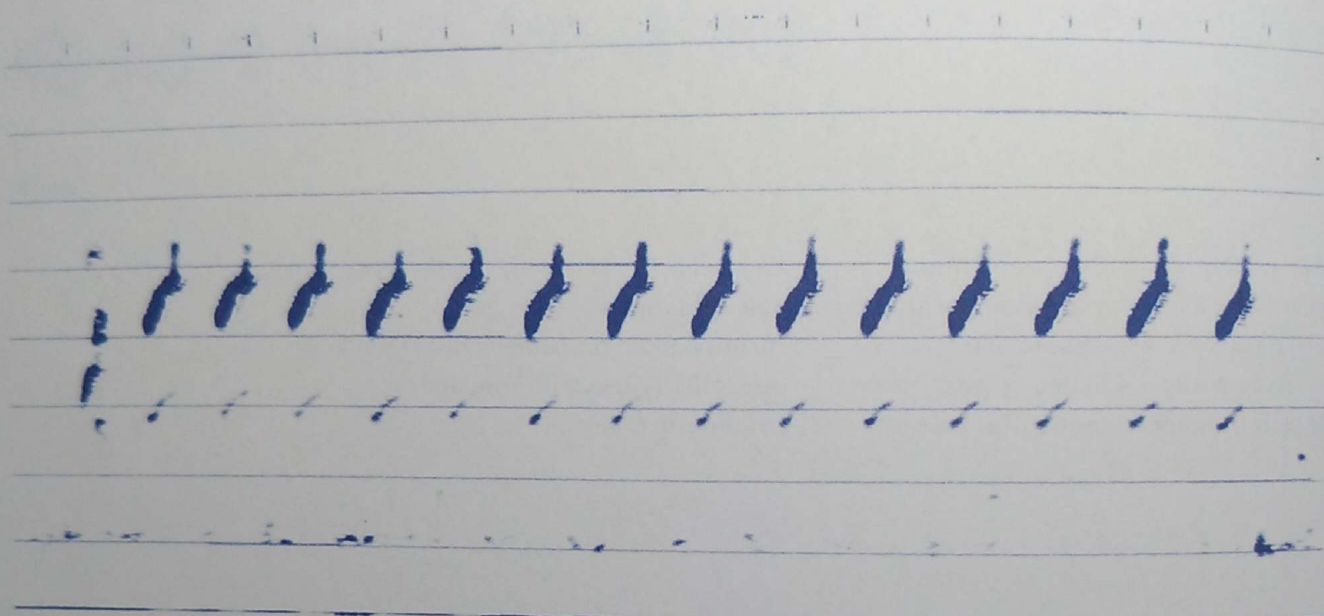


Figure 1. Représentation zoophonique (gauche) et audio-spectrogramme (droite ; FNJV 434) de la vocalisation d'un « Aracuam e de sua femea » (Ipsis litteris) : le mâle (fréquences/notes plus basses

« o macho ») et la femelle (fréquences / notes plus hautes « a femea »), correspondant probablement à l'Ortalis canicollis, l'Aracuã-do-Pantanal ou Ortalide du Chaco.

Un tel saut dans l'histoire, des années 1830 aux années 1960, est largement tributaire des avancées technologiques. La bioacoustique, en tant que discipline formelle, ne fut réellement reconnue qu'après l'invention des enregistreurs de son portables, qui étaient encore trop grands et fort lourds au début. Ces appareils rendirent la Zoophonie de Florence obsolète, mais ses découvertes sur les spécificités sonores d'espèce et de genre sont toujours à la base de nombreux travaux de bioacousticiens contemporains. Même lorsque les bioacousticiens étaient armés de microphones, il leur fallait construire des machines qui pouvaient imprimer des enregistrements visuels de sons afin qu'ils puissent être mesurés et analysés. Les premiers équipements de ce type ont été fabriqués par Kay Electric Co. en 1951 sous la forme d'une machine appelée Sona-Graph, dont les images sont connues sous les termes Sonagrammes, Sonogrammes, Sonagraphes ou Sonographes (figure 2. p. 270). Dès lors, malgré les tentatives antérieures qui utilisaient des enregistreurs immobiles énormes⁴, ce n'est qu'au début des années 1960, avec l'introduction des enregistreurs de terrain et des Sonagrammes, que la bioacoustique fut finalement reconnue comme un champ de recherche important et intéressant à travers le monde⁵.



Hylodes "otavioi" 2,45 0-8 kHz narrow final da gravação 08.02.1974
I. Sazima, Curitiba

Figure 2. Spectrogramme d'un amphibien appelé Hylodes otavioi (enregistré par Ivan Sazima en 1974) réalisé par Sona-Graph. Dans les années 1970, toutes les

informations bioacousticiennes étaient mesurées à l'aide de ces images imprimées. Aujourd'hui, les analyses utilisent des logiciels complexes.

Au Brésil, l'identification d'espèces par le son a été réalisée à des fins de conservation pendant près de quarante ans grâce surtout au scientifique français Jacques Vielliard qui avait été recruté à la demande du président de l'Académie Brésilienne des Sciences⁶, le Dr Aristides Pacheco Leão, pour établir des méthodes propres à une analyse diversifiée rapide. Après quatre expéditions fructueuses, le Dr Vielliard fut invité en 1978 pour assumer une charge à l'université de Campinas (Unicamp) où il fonda le Laboratoire de Bioacoustique et les Archives Sonores Néotropicales⁷ (ASN). Pendant près de quarante ans, Jacques Vielliard travailla à l'Unicamp et développa des méthodes innovantes pour enregistrer et analyser les cris des oiseaux et pour réaliser des recensements de communautés aviaires⁸.

Le Dr Vielliard a rapidement remarqué que, pour que ses méthodes soient mises en pratique, il devait prendre garde à deux choses. La première était l'idée même de Florence selon laquelle chaque espèce d'oiseau avait un cri spécifique et que ce cri pouvait être utilisé pour reconnaître l'espèce. La seconde, c'est qu'il aurait besoin de collecter des échantillons et des descriptions adéquates pour chacun de ces cris. C'est sur ce deuxième point que son héritage est le plus important⁹, car durant sa vie Vielliard fit des efforts considérables pour enregistrer et décrire la diversité sonore zoologique du Brésil. Nombre de ses étudiants et de ses collègues l'aidèrent dans sa mission, pour donner naissance à la plus importante collection sonore de l'hémisphère sud qui contient aujourd'hui plus de trente mille enregistrements numérisés d'oiseaux, de grenouilles, de mammifères, de poissons et d'invertébrés (insectes et araignées) néotropicaux. Vielliard fut également le premier à commenter la technique de Florence dans un livre appelé *A Zoophonia de Hercule Florence*. Cette publication contient plusieurs réimpressions des transcriptions de l'inventeur du XIX^e siècle et des traductions de documents originaux.

Suite au décès inattendu de Vielliard en 2010, les archives ont été rebaptisées Fonoteca Neotropical Jacques Vielliard (FNJV) en l'honneur de son fondateur et de ses contributions à la bioacoustique. Basée sur les théories de Florence et le travail pionnier de Vielliard, la collection sonore conservée par la FNJV est et reste d'un apport incalculable tant pour la communauté scientifique que pour le public non-scientifique. L'institut a en effet collaboré avec des artistes, des entrepreneurs et des bioacousticiens modernes et il travaille actuellement au service de la conservation de la vie sauvage. Aujourd'hui, la FNJV fonctionne sous la supervision du Dr Luís Felipe Toledo, qui avait auparavant été invité à diriger les archives sonores amphibiennes à l'époque où Vielliard était encore vivant. Il est aidé dans ses tâches par d'anciens étudiants aujourd'hui diplômés tels que le Dr Carlos Barros de Araújo, qui a consacré sa maîtrise et son doctorat à l'étude de la bioacoustique.

La méthode

Lire et écrire de la musique n'est guère différent de lire et écrire un langage parlé. Il existe des règles qui, si elles sont suivies, permettent une interprétation de l'information identique pour chaque personne qui a la capacité de la lire. La musique est inscrite sur une portée qui consiste en cinq lignes horizontales courant de gauche à droite à travers la page. Les lignes horizontales indiquent la hauteur du son musical (ou note), et la place de la note sur une ligne ou entre deux lignes indique quelle hauteur doit être jouée. Plus une note est placée haut sur la portée, plus la hauteur est élevée. Les portées musicales sont également divisées par des lignes verticales en sections ; ces sections sont appelées mesures ; ces mesures permettent de marquer le temps et à chaque note ou silence est attribuée une valeur temporelle spécifique. Par exemple, un son peut occuper toute une mesure, apprenant au musicien qu'il doit jouer une certaine note pour toute la durée de la mesure. Des notes peuvent, à l'inverse, posséder des valeurs inférieures d'une demi ou d'un quart de mesure, etc. Florence avait déterminé que chaque mesure avait la valeur d'une seconde, chaque demi-mesure la valeur d'une demi-seconde, etc.¹⁰ Par l'utilisation de lignes différentes à l'intérieur d'une portée et de valeurs temporelles différentes, on peut représenter un certain son dans sa durée et ses domaines de fréquence.

Florence, grâce à ces conventions, enregistra des sons d'animaux, utilisant la hauteur de la portée pour représenter les fréquences du cri et les mesures pour représenter la durée du cri. Cette méthode n'est cependant pas facile à utiliser sur le terrain. L'observateur doit être capable de déterminer la fréquence et la durée du cri avec une grande précision, en se basant uniquement sur son oreille. Des chercheurs de la FNJV ont pu simuler le processus de Florence avec l'aide d'un ordinateur. Grâce à l'enregistrement sonore d'un Araponga, ils ont généré un fichier MIDI (Musical Instrument Digital Interface), basé sur une portée musicale, avec l'aide d'un serveur en ligne (www.ofoct.com). Les fichiers MIDI sont largement utilisés par des musiciens modernes pour écrire de la musique sur ordinateur, parce que cela permet d'écrire sur une portée musicale et de reproduire rapidement les résultats par une simulation digitale d'instruments de musique comme des pianos, des violons, des flûtes, des clarinettes, etc. Grâce à la version 10.1.0 de GarageBand, les chercheurs ont créé un cri d'oiseau synthétique basé sur le fichier MIDI créé en ligne à partir d'un enregistrement. Les résultats furent impressionnants, les sons synthétiques et naturels étant très similaires (figure 3).

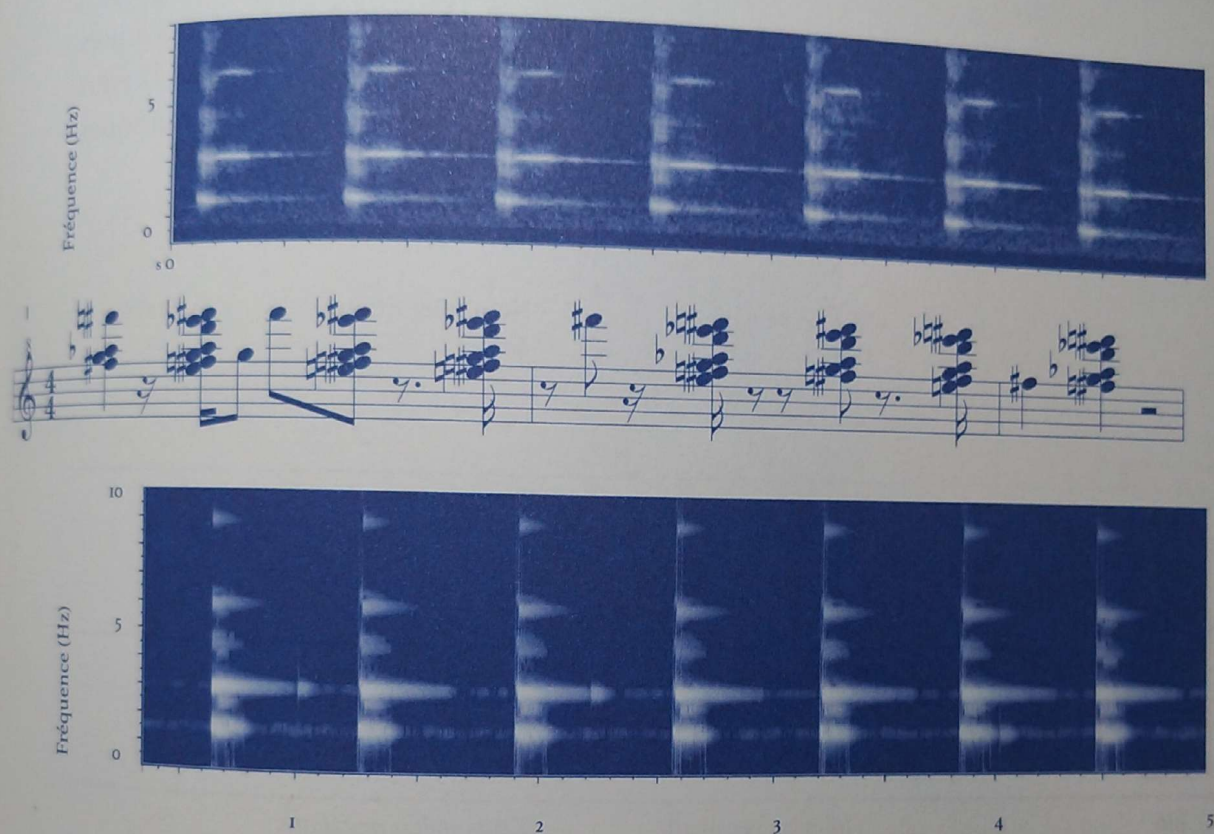


Figure 3. La simulation par ordinateur de la méthode de Florence. Au-dessus, le son naturel de l'Araponga (*Procnias nudicollis*).

Au milieu, la portée musicale obtenue par un algorithme d'ordinateur. En dessous, l'audio-spectrogramme obtenu.

Exemples et comparaison avec les méthodes actuelles

Dans les manuscrits de Florence, on trouve plusieurs descriptions zoophoniques de vocalisations vertébrées (table 1). La table suivante compare ces sons obtenus par Florence avec des audio-spectrogrammes et des transcriptions automatiques d'aujourd'hui sur des partitions.

Nom vernaculaire repris par Florence (<i>ipsis litteris</i>)	Nom vernaculaire français	Nom scientifique actuel	Figure
Amphibiens			
Sapo	Crapaud buffle	<i>Rhinella marina</i>	09
Reptiles			
Jacaré	Caïman Yacare	<i>Caiman yacare</i>	17
Oiseaux			
Jaó	Tinamou vermiculé	<i>Crypturellus undulatus</i>	06
Tropeiro	Piauhaus hurleur	<i>Lipaugus vociferans</i>	07
João-Corta-Páu	Engoulevent roux	<i>Antrostomus rufus</i>	08
Arapúnga	Araponga	<i>Procnias nudicollis</i>	11
Anhupóca	Kamichi à collier	<i>Chauna torquata</i>	12
Saracúra	Râle	<i>Laterallus</i> sp.	13
Aracuam e de sua femea	Ortalide du Chaco	<i>Ortalis canicollis</i>	14
Bemteví	Tyran quiquivi	<i>Pitangus sulphuratus</i>	15
Mammifères			
Bugio	Singe hurleur noir	<i>Alouatta caraya</i>	10
Onça	Jaguar	<i>Panthera onca</i>	16
Araranha	Loutre géante	<i>Pteronura brasiliensis</i>	18

Table 1. Animaux (vertébrés) représentés en pentagrammes utilisant la méthode zoophonique trouvée dans les manuscrits de Hercule Florence. Sont repris également les noms en langue vernaculaire portugaise donnés par Florence, les noms vernaculaires en français, les noms scien-

tifiques* et les numéros des figures sur les partitions originales de Florence.

* Ces noms ont été attribués après la relecture de Vielliard (1993) et ont été ensuite mis à jour grâce aux données de la taxonomie actuelle et aux autres données retrouvées par les auteurs de cet article.

La comparaison de la technique de partition de Florence avec les audio-spectrogrammes actuels révèlent plusieurs similarités. Des sons simples tels que les coassements du Crapaud buffle sont bien représentés par la méthode zoophonique (figure 4), de même que les cris du Singe hurleur noir (figure 5).

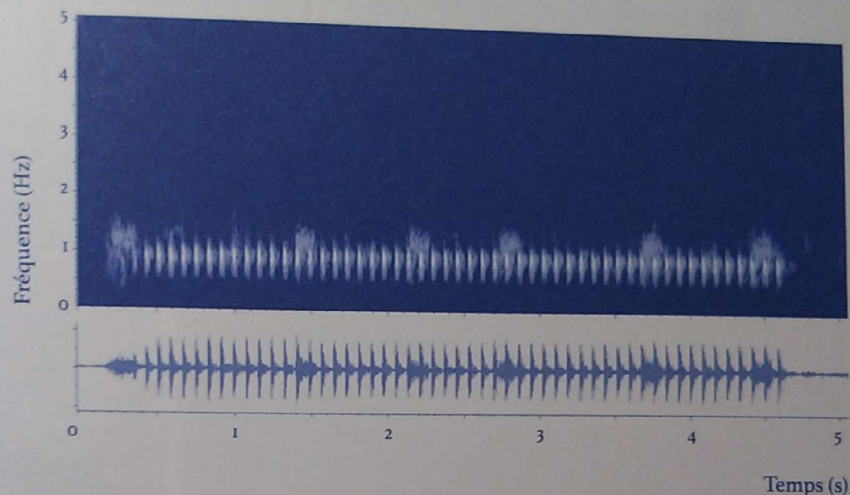
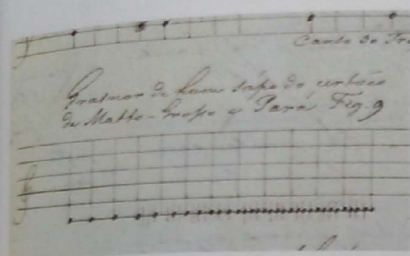


Figure 4. Un amphibien, le Crapaud buffle, représenté par la méthode zoophonique (gauche) et l'audio-spectrogramme (droite ; FNJV 30701).

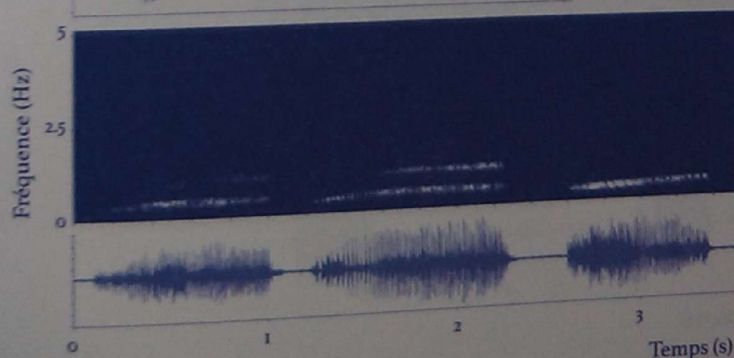
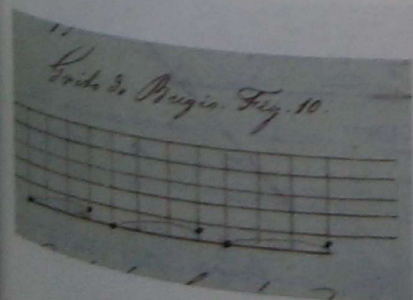
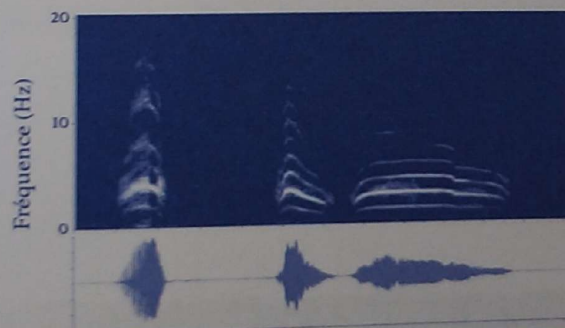
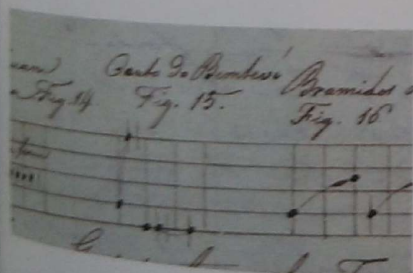


Figure 5. Au-dessus : L'appel du Tyran quiquivi, représenté par la méthode zoophonique (gauche) et son audio-spectrogramme (droite ; FNJV 3613). En dessous : le Singe hurleur noir représenté par la méthode zoophonique (gauche) et l'audio-spectrogramme (droite ; FNJV 26773). Noms vernaculaires selon la Table 1.

Mais des vocalisations plus complexes telles que celles du Tyran quiquivi (figure 5, p. 275), de la Loutre géante (figure 6) ou du Kamichi à collier (figure 7), ne sont pas aussi bien traduites par la portée musicale de la Zoophonie. Malgré cela, les modèles de vocalisation sont encore observables dans des représentations zoophoniques, comme par exemple, dans le cas du Jaguar (figure 8, p. 279) ou des sons très complexes émis par le Piauhau hurleur au milieu de l'Amazonie (figure 9, p. 280).

3. Hercule Florence, *Lutrae espec. nov.*, juillet 1826

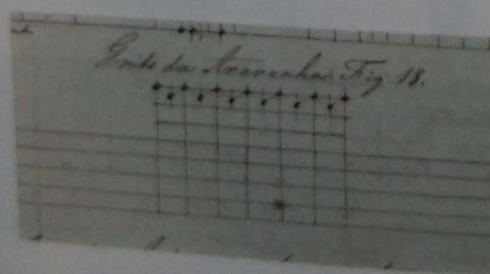
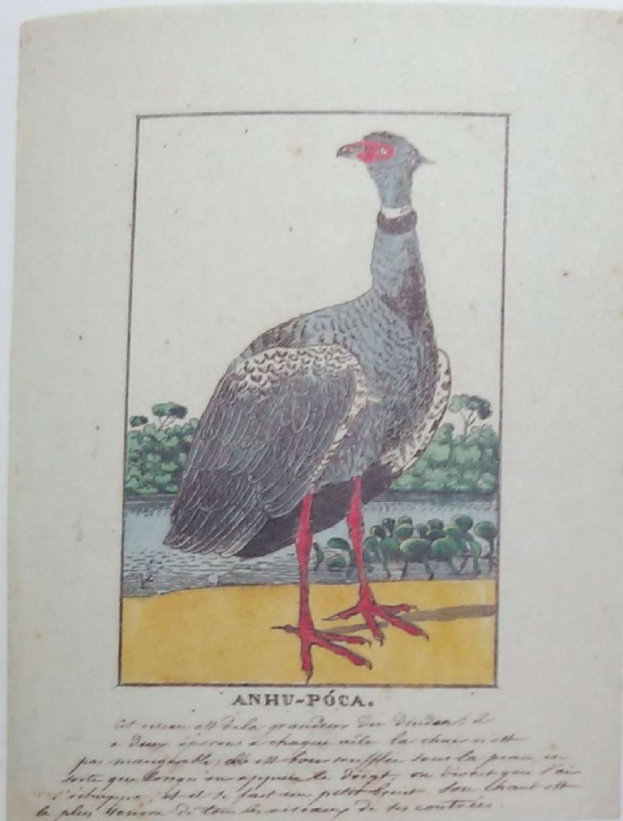


Figure 6. Représentation zoophonique (gauche) et audio-spectrogramme (droite ; FNJV 4453) de la Loutre géante.

4. Hercule Florence, Anhu-Póca, s.d.



5. Hercule Florence, Anhumapoca, s.d.

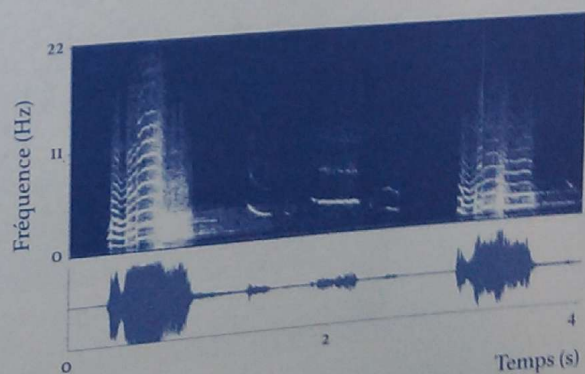


Figure 7. Représentation zoophonique (gauche) et audio-spectrogramme (droite ; FNJV 263) du Kamichi à collier.

6. Hercule Florence, Jeune Tigre, ou Once âgée de six mois, s.d.



7. Hercule Florence, Onça de idade de 6 mezes, s.d.



8. Hercule Florence, *Sans titre (onça pintada)*, s.d.

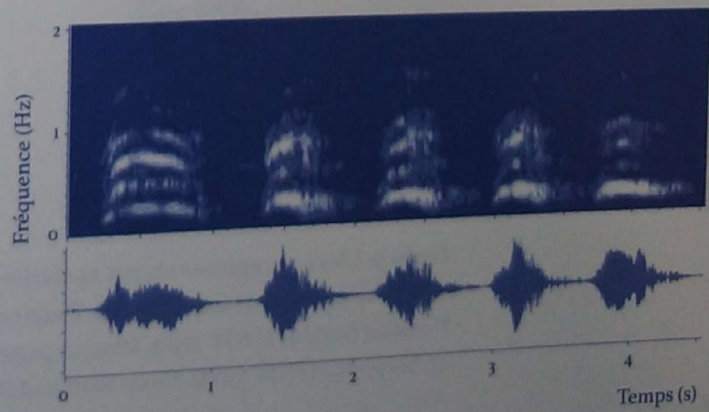
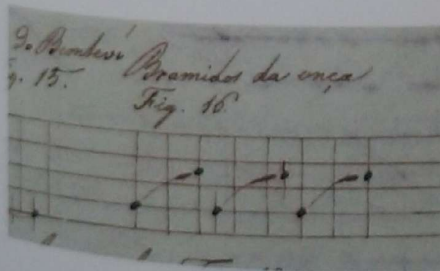


Figure 8. Représentation zoophonique (gauche)
et audio-spectrogramme (droite ; FNJV 32222) du Jaguar.

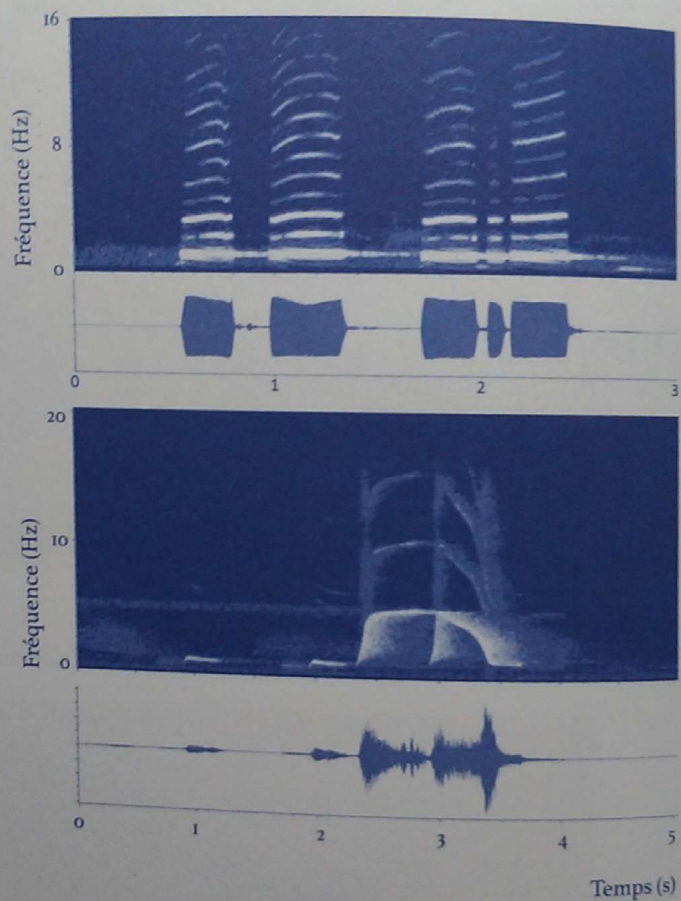
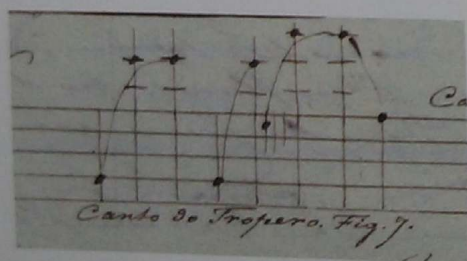
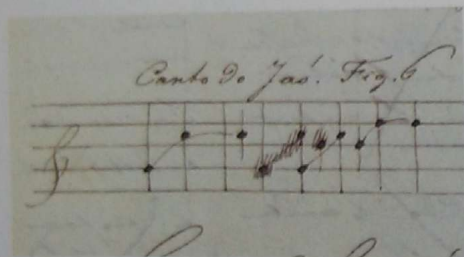
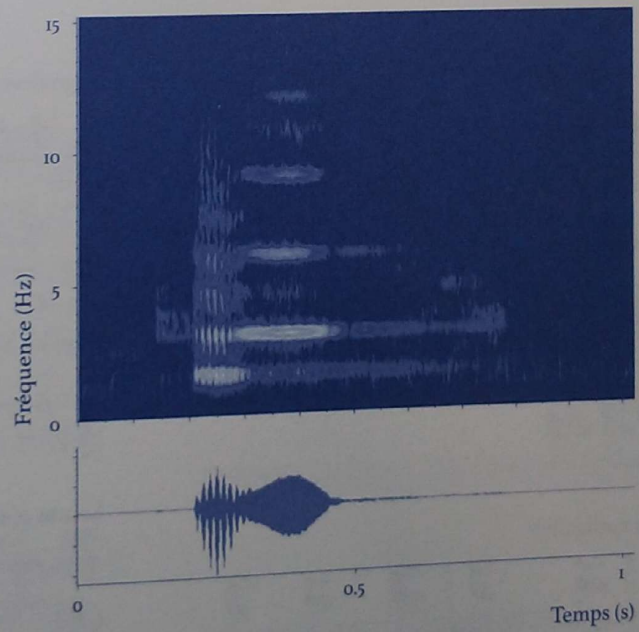
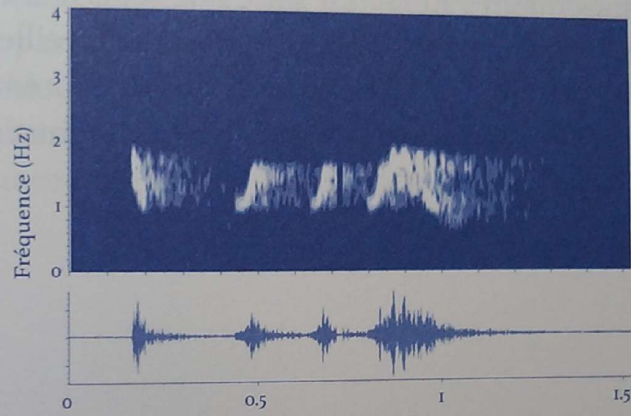
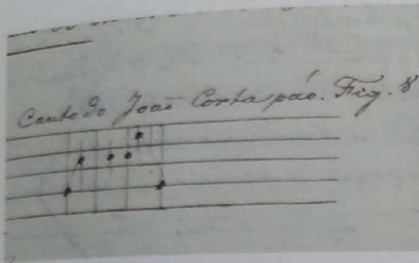


Figure 9. Oiseaux représentés par la méthode zoophonique (gauche) et l'audio-spectrogramme (droite). Dans cette page : Tinamou vermiculé (FNJV 10270), Piauhau hurleur (FNJV 3190). Dans la page de droite Engoulevent roux (FNJV 29695), et Araponga (FNJV 3300). Noms vernaculaires selon la Table I (p. 274).



Lorsque l'on compare les enregistrements de Florence avec les partitions générées par un logiciel d'ordinateur, il devient évident que la connaissance musicale joue un rôle essentiel dans la technique zoophonique. Les partitions produites automatiquement par les ordinateurs à partir d'enregistrements clairs n'étaient pas fiables (figures 10-12). En sorte que seuls des chercheurs qui peuvent directement retranscrire des sons d'animaux à l'oreille sur des partitions musicales peuvent mettre en pratique la méthode de Florence, qui limite sévèrement son application à qui est familier avec la notation musicale.

Kamichi à collier (*Chauna torquata*)



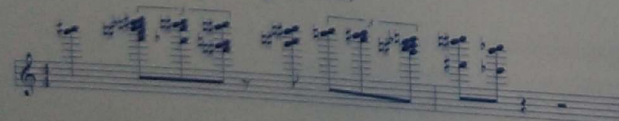
Ortaliide du Chaco (*Ortalis canicollis*)



Araponga (*Procnias nudicollis*)



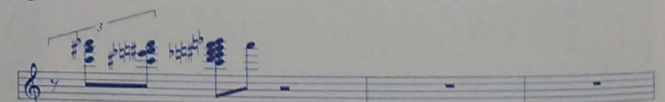
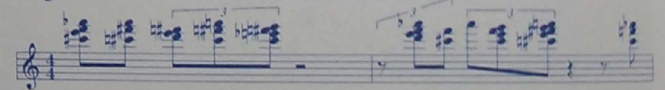
Tyran quiquivi (*Pitangus sulphuratus*)



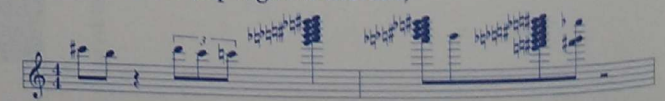
Tinamou vermiculé (*Crypturellus undulatus*)



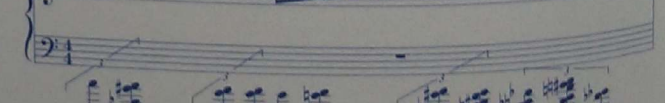
Engoulevent roux (*Antrostomus rufus*)



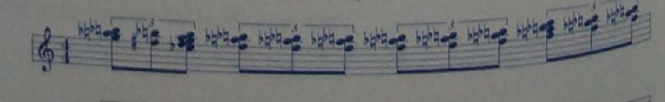
Piauhau hurleur (*Lipaugus vociferans*)



Loutre géante (*Pteronura brasiliensis*)



Crapaud buffle (*Rhinella marina*)



Figures 10, 11, 12. Transcriptions générées par ordinateur à partir d'enregistrements originaux (les mêmes utilisés pour produire les audio-spectrogrammes dans les figures précédentes) sur des partitions musicales.

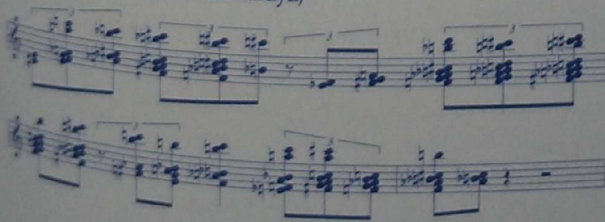
Conclusion

Bien que très intuitive, pratique et standardisée, la méthode zoophonique de Florence, avec quelques exceptions (voir la figure 5 dans le livre de M. Gogala, 2008), n'a jamais été appliquée en sciences biologiques. Cependant, ses observations sur la spécificité par genre et par espèce des sons d'animaux servent de base à presque toutes les études de bioacoustique. En conclusion, Florence, véritable pionnier ayant produit une contribution significative au champ d'étude, devrait sans aucun doute être reconnu comme le père de la bioacoustique moderne.

Jaguar (*Panthera onca*)



Singe Hurlleur noir (*Alouatta carayá*)



Notes

- ¹ Vielliard J., 1993, p. 47.
- ² Par exemple, Gagliano M. et al., 2012, pp. 323-325 ; Appel H. M. et Cocroft R. B., 2014, pp. 1257-1266.
- ³ Par exemple, Sueur J. et Puissant S., 2007, pp. 126-128; Toledo L. F. et al., 2007, pp. 57-68 ; Vieites D. R. et al., 2009, pp. 8267-8272 ; de Araújo C. B. et Silva M. L., 2011, pp. 455-459 ; Aide T. M. et al., 2014 ; Sueur J. et al., 2014, pp. 772-781 ; Towsey M. et al., 2014, pp. 110-119.
- ⁴ Par exemple, Regen I., 1926, pp. 329-368.
- ⁵ Vielliard J., 1993, p. 47.
- ⁶ Academia Brasileira de Ciências.
- ⁷ Laboratório de Ecologia Acústica et Arquivo Sonoro Neotropical.
- ⁸ Vielliard J. et Silva W. R., 1990, pp. 1-45.
- ⁹ de Araújo C. B. et Silva M. L., 2011, pp. 455-459.
- ¹⁰ Florence H., 1876, pp. 323-336.

Bibliographie

- Aide T. M., Corrada-Bravo C., Campos-Cerqueira M., Milan C., Vega G., Alvarez R., *Real-time bioacoustics monitoring and automated species identification*, 2014. Voir : peerj.com/articles/103/
- Appel H. M. et Cocroft R. B., « Plants respond to leaf vibrations caused by insect herbivore chewing », in *Oecologia*, août 2014, vol. 175, n° 4.
- de Araújo C. B. et Silva M. L., « Jacques M. E. Vielliard (1944-2010): life and legacy », in *Brazilian Journal of Ornithology*, vol. 19, 2011.
- Florence H., *Recherches sur la voix des animaux ou essai d'un nouveau sujet d'études offert aux amis de la nature* (Brochure de 16 pages accompagnée d'un système musicale avec 18 figures), Imprimerie R. Ogier, Rio de Janeiro, 1831, no 142.
- Florence H., « Zoophonia », in *Revista Trimestral do Instituto Histórico e Ethnographico do Brasil XXXIX* (Parte Segunda), 1876.
- Gagliano M., Mancuso S., Robert D., « Towards understanding plant bioacoustics », in *Trends in Plant Science*, 2012, vol. 17, n°6.
- Gasc A., Sueur J., Pavoine S., Pellens R., Grandcolas P., « Biodiversity sampling using a global acoustic approach: contrasting sites with microendemics », in *New Caledonia*, 2013, PLoS ONE, 8(5):e65311.
- Gogala M., « Pionir bioakustike Ivan Regen in njegova zapuščina », in M. Fabjancic M., D. Merhar, D. Samec, D. Koman (Eds), *Library seventy years of the Slovenian Academy of Sciences and Arts*, 2008, pp. 237-261.
- Regen I., « Über die Beeinflussung der Stridulation von *Thamnotrizon apterus* Fab. durch künstlich erzeugte Töne und verschiedenartige Geräusche », 1926, Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften Wien, Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, Abt. I 135(9).
- Sueur J. et Puissant S., *Biodiversity eavesdropping: bioacoustics confirms the presence of *Cicadetta montana* (Insecta: Hemiptera: Cicadidae) in France*, Ann. soc. entomol. Fr. (n.s.), 2007, 43(1).
- Sueur J., Farina A., Gasc A., Pieretti N., Pavoine S., « Acoustic Indices for Biodiversity Assessment and Landscape Investigation », in *Acta Acustica united with Acustica*, 2014, 100.
- Toledo L. F., Garcia P. C. A., Lingnau R., Haddad C. F. B., « A new species of *Sphaenorhynchus* (Anura: Hylidae) from Brazil », in *Zootaxa*, 1658: pp. 57-68, 2007.
- Towsey M., Wimmer J., Williamson I., Roe P., « The use of acoustic indices to determine avian species richness in audio-recordings of the environment », in *Ecological Informatics*, 2014, n°21.
- Vieites D. R., Wollenberg K. C., Andreone F., Köhler J., Glaw F., Vences M., « Vast underestimation of Madagascar's biodiversity evidenced by an integrative amphibian inventory », in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, vol. 106, n°20.
- Vielliard J., *A Zoophonia de Hercule Florence*, UFMT Editora Universitária, Cuiabá, Mato Grosso, 1993.
- Vielliard J. et Silva W. R., *Nova metodologia de levantamento quantitativo da avifauna e primeiros resultados no interior do estado de São Paulo, Brasil*, Universidade Federal de Pernambuco, 1990, Anais do IV ENAV.

Légendes

Frontispice en ouverture :

Hercule Florence, *O Echo dos animaes irracionais. Novo objecto de estudos da Natureza, offerecido a seus apreciadores. Outro titulo melhor. Indagações sobre a voz dos animaes; ou Ensaio de hum novo objecto de estudos, offerecido aos amigos da natureza*, s.d.

Manuscrit à l'encre, 31,6 × 22,3 cm

— Collection C. H. Florence - Leila et Silvia Florence, São Paulo

Inv. : 5372-hf

Crédit photo : Collection C. H. Florence - Leila et Silvia Florence / Jorge Bastos / motivo, São Paulo

1. Hercule Florence, *Suite de la Tablature Chromatique*, s.d.

Encre sur papier, 30 × 20,7 cm

— Collection C. H. Florence - Leila et Silvia Florence, São Paulo

Inv. : 5505-hf

Crédit photo : Collection C. H. Florence - Leila et Silvia Florence / Jorge Bastos / motivo, São Paulo

2. Hercule Florence, *Systema da arte de escrever a voz dos animaes in O Echo dos animaes irracionais*, manuscrit, s.d.

Encre sur papier, 31,6 × 22,3 cm

— Collection C. H. Florence - Leila et Silvia Florence, São Paulo

Inv. : 5392-hf

Crédit photo : Collection C. H. Florence - Leila et Silvia Florence / Jorge Bastos / motivo, São Paulo

3. Hercule Florence, *Lutras espec. nov.*, juillet 1826

Aquarelle et graphite sur papier, 22,7 × 33,2 cm

— Collection C. H. Florence - Leila et Silvia Florence, São Paulo

Inv. : 0104-hf, 0105-hf

Crédit photo : Collection C. H. Florence - Leila et Silvia Florence / Jorge Bastos / motivo, São Paulo

4. Hercule Florence, *Anhupoca*, s.d.

Aquarelle sur papier, 33,2 × 25,5 cm

— Collection C. H. Florence - Leila et Silvia Florence, São Paulo

Inv. : 0119-hf

Crédit photo : Collection C. H. Florence - Leila et Silvia Florence / Jorge Bastos / motivo, São Paulo

5. Hercule Florence, *Anhu-Póca*, s.d.

Polygraphie aquarellée, 28,7 × 22,3 cm

— Collection C. H. Florence - Leila et Silvia Florence, São Paulo

Inv. : 0103-hf

Crédit photo : Collection C. H. Florence - Leila et Silvia Florence / Jorge Bastos / motivo, São Paulo

6. Hercule Florence,

Jeune Tigre, ou Once âgée de six mois, s.d.

Polygraphie aquarellée, 22,3 × 28,5 cm

— Collection C. H. Florence - Leila et Silvia Florence, São Paulo

Inv. : 0075-hf

Crédit photo : Collection C. H. Florence - Leila et Silvia Florence / Jorge Bastos / motivo, São Paulo

7. Hercule Florence,

Onça de idade de 6 mezes, s.d.

Graphite et aquarelle sur papier, 20,8 × 26,8 cm

— Collection C. H. Florence - Leila et Silvia Florence, São Paulo

Inv. : 0074-hf

Crédit photo : Collection C. H. Florence - Leila et Silvia Florence / Jorge Bastos / motivo, São Paulo

8. Hercule Florence,

Sans titre (onça pintada), s.d.

Polygraphie aquarellée, 45,3 × 60,8 cm

— Collection C. H. Florence - Leila et Silvia Florence, São Paulo

Inv. : 0131-hf

Crédit photo : Collection C. H. Florence - Leila et Silvia Florence / Jorge Bastos / motivo, São Paulo