

ANNEE 2020

# LA GIARDIOSE CHEZ LES SINGES HURLEURS EN AMERIQUE LATINE : PROPOSITION DE MESURES DE GESTION A PARTIR D'UN EXEMPLE

THESE

pour le diplôme d'Etat de

DOCTEUR VETERINAIRE

présentée et soutenue publiquement

le 7 décembre 2020

devant la Faculté de Médecine de Nantes par

**Amandine BAR**

Née le 14/01/1994 à Montivilliers (76)

JURY

Président : Monsieur Stéphane PLOTEAU Professeur à la Faculté de Médecine de Nantes.

Rapporteur : Monsieur Claude GUINTARD, Maître de conférences à ONIRIS

Assesseur : Madame Nadine RAVINET, Maître de conférences à ONIRIS

Membres invités : Monsieur Bruno POLACK, Maître de conférences à l'ENVA

Monsieur Patrick BOURDEAU, Professeur à ONIRIS



ANNEE 2020

# LA GIARDIOSE CHEZ LES SINGES HURLEURS EN AMERIQUE LATINE : PROPOSITION DE MESURES DE GESTION A PARTIR D'UN EXEMPLE

THESE

pour le diplôme d'Etat de

DOCTEUR VETERINAIRE

présentée et soutenue publiquement

le 7 décembre 2020

devant la Faculté de Médecine de Nantes par

**Amandine BAR**

Née le 14/01/1994 à Montivilliers (76)

JURY

Président : Monsieur Stéphane PLOTEAU Professeur à la Faculté de Médecine de Nantes.

Rapporteur : Monsieur Claude GUINTARD, Maître de conférences à ONIRIS

Assesseur : Madame Nadine RAVINET, Maître de conférences à ONIRIS

Membres invités : Monsieur Bruno POLACK, Maître de conférences à l'ENVA

Monsieur Patrick BOURDEAU, Professeur à ONIRIS



## Liste des membres du corps enseignant

<b>Département BPSA Biologie, Pathologie et Sciences de l'Aliment</b>		
<b>Responsable : Hervé POULIQUEN - adjoint : Emmanuel JAFFRES</b>		
Nutrition et endocrinologie	Patrick NGuyen* (Pr)	
Pharmacologie et Toxicologie	Jean-Claude Desfontis (Pr) Yassine Mallem (Pr) Antoine Rostang (MCC)	Martine Kammerer (Pr) Hervé Pouliquen* (Pr)
Physiologie fonctionnelle, cellulaire et moléculaire	Jean-Marie Bach (Pr) Lionel Martignat (Pr)	Julie Herve (MC) Grégoire Mignot (MC)
Histologie et anatomie pathologique	Jérôme Abadie* (MC) Laetitia Jaillardon* (MC)	Marie-Anne Colle* (Pr) Frédérique Nguyen* (MC)
Pathologie générale, microbiologie et immunologie	François Meurens (Pr) Jean-Louis Pellerin* (Pr)	Emmanuelle Moreau (MC HDR) Hervé Sebbag (MC)
Biochimie alimentaire industrielle	Clément Cataneo (MC) Laurent Le Thuaut (MC) Thierry Serot (Pr)	Joëlle Grua (MC) Carole Prost (Pr) Florence Texier (MC)
Microbiotech	Géraldine Boue (MC) Emmanuel Jaffres (MC) Raouf Tareb (MCC) Bénédicte Sorin (IE)	Nabila Haddad (MC) Mathilde Mosser (MC) Hervé Prevost (Pr)
<b>Département SAESP Santé des Animaux d'Élevage et Santé Publique</b>		
<b>Responsable : Alain CHAUVIN - adjoint : Raphaël GUATTEO</b>		
Hygiène et qualité des aliments	Jean-Michel Cappelier* (Pr) Michel Federighi (Pr) Catherine Magras* (Pr) Fanny Renois -Meurens (MC)	Eric Dromigny (MC HDR) Bruno Le Bizec (Pr) Marie-France Pilet(Pr)
Médecine des animaux d'élevage	Sébastien Assie* (MC) Isabelle Breyton (MC) Alain Douart* (MC) Mily Leblanc Maridor (MC) Anne Relun (MCC)	Catherine Belloc* (Pr) Christophe Chartier* (Pr) Raphaël Guatteo* (Pr)
Parasitologie, aquaculture, Faune sauvage	Albert Agoulon (MC) Ségolène Calvez (MC) Nadine Ravinet (MC)	Suzanne Bastian (MC) Alain Chauvin* (Pr)
Maladies réglementées, zoonoses et réglementation sanitaire	Carole Peroz (MC)	Nathalie Ruvoen* (Pr)
Élevage, nutrition et santé des animaux domestiques	Nathalie Bareille* (Pr) Christine Fourichon* (Pr HDR) Henri Dumon* (Pr) Lucile Martin (Pr)	François Beaudou* (Pr) Aurélien Madouasse (MC) Nora Navarro-Gonzalez (MCC)

<b>Département DSC Sciences Cliniques</b>		
Responsable : <b>Catherine IBISCH</b> – adjoint : <b>Olivier GAUTHIER</b>		
Anatomie comparée	Eric Betti (MC) Claude Guintard (MC)	Claire Douart (MC)
Pathologie chirurgicale et anesthésiologie	Eric Aguado (MC HDR) Eric Goyenville (MC HDR) Caroline Tessier* (MC)	Olivier Gauthier (Pr) Béatrice Lijour (MC) Gwénola Touzot-Jourde* (MC)
Dermatologie, parasitologie des carnivores et des équidés, mycologie	Patrick Bourdeau* (Pr)	Emmanuel BENSIGNOR (Pr Ass)
Médecine interne, imagerie médicale et législation professionnelle vétérinaire	Nora Bouhsina (MCC) Anne Courouce * (Pr) Amandine Drut* (MC) Catherine Ibisch (MC) Odile Senecat (MC)	Nicolas Chouin (MC) Jack-Yves Deschamps (Pr) Marion Fusellier-Tesson (MC) Françoise Roux* (Pr)
Biotechnologies et pathologie de la reproduction	Djemil Bencharif (MC HDR) Jean-François Bruyas* (Pr)	Lamia Briand (MC HDR) Francis Fieni* (Pr)
<b>Département GPA Génie des Procédés Alimentaires</b>		
Responsable : <b>Olivier ROUAUD</b> - adjoint : <b>Sébastien CURET-PLOQUIN</b>		
Lionel Boillereaux (Pr) Marie De Lamballerie (Pr) Francine Fayolle (Pr) Vanessa Jury (MC) Alain Lebail (Pr) Jean-Yves Monteau (MC HDR) Laurence Pottier (MC) Cyril Toublanc (MC)	Sébastien Curet Ploquin (MC) Dominique Della Valle (MC HDR) Michel Havet (Pr) Emilie Korbel (MCC) Catherine Loisel (MC) Olivier Rouaud (Pr) Eve-anne Norwood (MCC)	
<b>Département MSC Management, Statistiques et Communication</b>		
Responsable : <b>Michel SEMENOU</b> - adjoint <b>Pascal BARILLOT</b>		
Mathématiques, statistiques, Informatique	Véronique Cariou (MC) El Mostafa Qannari (Pr) Chantal Thorin (Pr AG.)	Philippe Courcoux (MC) Michel Semenou (MC) Evelyne Vigneau (Pr)
Economie, gestion	Pascal Barillot(MC) Florence Beaugrand (MC) Sonia EL Mahjoub (MC) Samira Rousseliere (MC)	Ibrahima Barry (MCC) Sibylle Duchaine (MC) Jean-Marc Ferrandi (Pr)
Langues et communication	Marc Bridou (PLPa) David Guyler (ens. cont.) Shaun Meehan (ens. cont.)	Franck Insignares (IE) Linda Morris (PCEA)

BTs : **Laurence Freret (PCEA)** Christophe Caron (PLPA), Pascale Fleury(PCEA), Virginie Magin (Ens. Cont.), Françoise Brichet (IAE).

Professeurs émérites : Poncelet

guide de lecture des tableaux suivants :Pr : Professeur, Pr. AG : Professeur agrégé. MC : maître de Conférences, MCC : MC contractuel, PLPA : Professeur Lycée Professionnel Agricole, PCEA : Professeur Certifié Enseignement Agricole, IE : Ingénieur d'Etudes ; IAE : Ingénieur de l'Agriculture et de l'Environnement ; ens. cont.: enseignant contractuel; HDR : Habilité à Diriger des Recherches

\* Vétérinaire spécialiste d'une spécialité européenne, américaine ou français



## Remerciements

### **A Monsieur Stéphane Ploteau**

Professeur à la Faculté de Médecine de Nantes,

Pour me faire l'honneur d'accepter la présidence de ce jury de thèse,

Veillez accepter mon hommage respectueux.

### **A Monsieur Claude Guintard**

Maître de conférences à ONIRIS,

Pour votre disponibilité et vos conseils,

Pour me faire l'honneur d'être mon rapporteur de thèse,

Sincères remerciements.

### **A Monsieur Bruno Polack**

Maître de conférences à l'école nationale vétérinaire d'Alfort,

Pour m'avoir encadrée sur ce projet,

Sincères remerciements.

### **A Madame Nadine Ravinet**

Maître de conférences à ONIRIS,

Pour me faire l'honneur d'être mon assesseur de thèse,

Sincères remerciements.

### **A Madame Maria Gabriela Cáceres,**

Pour vos conseils et votre soutien,

Sincères remerciements.

### **A toute l'équipe de Güirá Oga,**

Pour votre investissement et votre soutien tout au long de ce travail,

Un grand merci.



**A ma famille,**

Mes parents, grands-parents et Ben,

Pour m'avoir supportée (dans tous les sens du terme) toutes ces années et m'avoir permis de réaliser tous mes projets.

**A mes amis,**

Amies de toujours, colocs, amis de prépa, de l'école véto, d'Argentine et d'ailleurs,

A tous ces moments partagés, et à ceux à venir.



# Table des matières

<b>Liste des figures</b> .....	<b>11</b>
<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>12</b>
<b>Liste des sigles et abréviations</b> .....	<b>13</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>15</b>
<b>Partie 1 : Etude bibliographique</b> .....	<b>16</b>
I. Le Parasite : <i>Giardia duodenalis</i> .....	16
A. Classification .....	16
B. Morphologie .....	17
C. Cycle de vie et mode de transmission .....	17
D. Résistance .....	18
E. Détection .....	18
F. Génétique et spécificité d'hôte .....	18
G. Caractère zoonotique .....	19
II. L'Hôte d'intérêt : le genre <i>Alouatta</i> .....	20
A. Classification .....	20
B. Caractéristiques du genre <i>Alouatta</i> .....	20
C. Répartition géographique et habitat.....	20
D. Mode de vie .....	22
E. Régime, mode d'alimentation et adaptations.....	23
F. Conservation.....	24
III. Etude clinique de la giardiose chez le singe hurleur .....	26
A. Signes cliniques et portage asymptomatique .....	26
B. Diagnostic .....	28
C. Thérapeutique .....	29
IV. Etude épidémiologique.....	30
A. Assemblages présents chez les singes hurleurs .....	30
B. Prévalence de la giardiose chez les singes hurleurs .....	31
C. Sources potentielles et facteurs favorisant les infections des singes hurleurs .....	33

<b>Partie 2 : Proposition de mesures de gestion de la giardiose en captivité – Exemple d’un centre de réhabilitation de la faune sauvage .....</b>	<b>41</b>
I. Situation géographique du refuge .....	41
A. Localisation : Puerto Iguazú .....	41
B. Climat.....	42
C. Population.....	42
D. Présence du parasite au sein de l’environnement .....	42
II. Présentation du centre de réhabilitation .....	43
A. Installations .....	43
B. Personnel.....	44
C. Fonctionnement du refuge.....	44
D. Espèces présentes et réceptives à <i>G. duodenalis</i> .....	46
E. Population de singes hurleurs, répartition et alimentation .....	47
F. Structure des enclos et comportements associés.....	48
III. Le problème de la giardiose chez les singes hurleurs.....	50
A. Méthode diagnostique .....	50
B. Apparition et Evolution.....	50
C. Traitement antiparasitaire mis en place.....	51
D. Risques associés.....	52
E. Facteurs favorisants.....	52
IV. Quels moyens de gestion dans ce cas ?.....	53
A. Déterminer les sources.....	53
B. Traitement et prophylaxie .....	53
C. Agir sur les facteurs favorisants.....	54
D. Revoir le diagnostic.....	56
<b>Conclusion.....</b>	<b>57</b>
<b>Liste des référence bibliographiques.....</b>	<b>58</b>

## Liste des figures

Figure 1 : Classification de <i>Giardia duodenalis</i> (Olson et Buret 2008) .....	16
Figure 2 : Morphologie des trophozoïtes et kystes de <i>G. duodenalis</i> , <i>G. muris</i> et <i>G. agilis</i> (Thompson et Monis 2004) .....	17
Figure 3 : Cycle de vie de <i>Giardia</i> sp. d'après Olson et Buret (2008) .....	17
Figure 4 : Classification du genre <i>Alouatta</i> , d'après le MSW3 (Wilson et Reeder 2005) .....	20
Figure 5: Répartition géographique des 12 espèces d' <i>Alouattas</i> d'après l'IUCN .....	21
Figure 6 : Ecorégions d'Amérique latine occupées par les singes hurleurs, d'après FAO et ITPS (2015) .....	21
Figure 7 : Couverture forestière en l'an 2000 (en vert) et déforestation entre 2000 et 2014 (en rouge) (FAO et ITPS 2015) .....	22
Figure 8 : "Latrines" de singes hurleurs dans leur milieu naturel (Kane et Smith 2019) .....	22
Figure 9 : Statut IUCN des 12 espèces de <i>Alouattas</i> répertoriées .....	24
Figure 10 : Singes hurleurs pris dans un incendie dans le Nord de l'Argentine en 2020 (Crédit photo M. Kowalewski) .....	25
Figure 11: Situation géographique des différentes zones d'étude de la prévalence de la giardiose chez les <i>Alouates</i> en Amérique latine .....	32
Figure 12 : Climats d'Amérique latine, d'après Encarta .....	36
Figure 13 : Schéma récapitulatif des conséquences de la déforestation et de la fragmentation de l'habitat sur le parasitisme des singes hurleurs .....	38
Figure 14 : Localisation de Güirá Oga, adapté de Rivero et al. (2017) .....	41
Figure 15 : Vue satellite de Güirá Oga, en blanc la délimitation du refuge. ( <a href="https://www.guiraoga.com.ar/presentacion">https://www.guiraoga.com.ar/presentacion</a> ) .....	43
Figure 16 : Couple de singes hurleurs et leur petit né à Güirá Oga (Crédit photo Malena Ceriani).....	42
Figure 17 : Tinamou solitaire ( <i>Tinamus solitarius</i> ) vivant dans l'enclos 1 (Crédit photo Gabriel Acevedo) .....	47
Figure 18 : Enclos 1 (Crédit photo Gabriel Acevedo) .....	48
Figure 19 : Enclos 2 (Crédit photo Gabriel Acevedo) .....	49
Figure 20 : Enclos 3 – Adul .....	46
Figure 21 : Enclos 4 (Crédit photo Julián Gonzalez).....	49
Figure 22 : Fèces liquides observées dans l'enclos 1.....	51
Figure 23 : Kyste de <i>G. duodenalis</i> (en bas) et d'amibe non identifié (en haut) (Photo personnelle) .....	51

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Espèces de <i>Giardia</i> et hôtes principaux (Plutzer, Ongerth, et Karanis 2010; Thompson et Ash 2019) .....	16
Tableau 2 : Spectre d'hôte et taxonomie des 8 assemblages reconnus actuellement au sein du complexe <i>G. duodenalis</i> (Thompson et Ash 2019).....	19
Tableau 3 : Régime des Alouattas en fonction de l'espèce et de la zone géographique d'après Garber, Righini et Kowalewski (2015) .....	23
Tableau 4 : Exemples de traitements de la giardiose chez les singes du Nouveau Monde, d'après Hahn (2019) ....	29
Tableau 5 : Assemblages retrouvés chez les PNHs dans diverses régions du monde (les pays d'Amérique latine sont en gras, ainsi que les espèces appartenant au genre <i>Alouatta</i> ) .....	30
Tableau 6 : Prévalence de la giardiose chez les Alouates en fonction du mode de vie, du lieu et de la technique d'analyse des fèces utilisée .....	31
Tableau 7 : Tableau climatique de Puerto Iguazú, données enregistrées entre 1982 et 2012 (Climate-Data.org) ...	42
Tableau 8 : Espèces de mammifères présentes au refuge en février 2020 (en gras les espèces dont au moins un individu est résident permanent du refuge) .....	46
Tableau 9 : Composition des enclos des singes hurleurs.....	47
Tableau 10 : Exemple de ration équilibrée pour un singe hurleur adulte (Pastor-Nieto 2015) .....	55

## Liste des sigles et abréviations

bg : Gène de la bêta-giardin

gdh : Gène de la glutamate déshydrogénase

IUCN : *International Union for Conservation of Nature* (Union internationale pour la conservation de la nature)

PCR : *Polymerase Chain Reaction* (réaction en chaîne par polymérase)

PNH : Primates non humains

tpi : Gène de la triose-phosphate isomérase

SSU-rDNA : Gène codant le SSU-rRNA (*Small subunit ribosomal ribonucleic acid* : plus petite unité des deux ARN majeurs du ribosome)



# Introduction

*Giardia sp.* est connue comme le parasite intestinal le plus commun dans le monde chez l'homme. C'est un parasite protozoaire flagellé qui colonise l'intestin des mammifères, oiseaux, reptiles et amphibiens. La plupart des mammifères sauvages peut être infectée (Olson et Buret 2008). C'est d'ailleurs l'association entre l'infection d'animaux sauvages tels que les castors et des épidémies de giardiose transmises par l'eau chez l'homme qui a poussé l'Organisation Mondiale de la santé à la classer comme parasite zoonotique (Thompson et Monis 2004).

Parmi les animaux sauvages d'intérêt quant à la giardiose, les singes hurleurs (genre *Alouatta*) semblent particulièrement touchés (Pastor-Nieto 2015). Il s'agit d'un genre de singes du Nouveau Monde vivant en Amérique latine. Douze espèces sont actuellement recensées, réparties du Sud du Mexique au Nord de l'Argentine. Ces espèces sont classées entre "*Least concern*" et "*Endangered*" par l'IUCN (*International Union for Conservation of Nature*), néanmoins toutes voient leur population diminuer. La destruction et la fragmentation de son habitat, et le trafic d'animaux sauvages sont les causes principales expliquant cette diminution.

Une des stratégies de conservation de ces singes est la mise en place de programmes de réhabilitation. Ils visent à recueillir les singes blessés, saisis ou cédés et à les réintroduire dans leur milieu naturel après une période de captivité.

Chez les animaux en captivité les parasites intestinaux constituent un problème fréquent. Dans le contexte d'un centre de réhabilitation, le parasitisme intestinal est un facteur qui peut mettre en péril la conservation d'une espèce, ou d'un genre tel que les singes hurleurs. En effet, en plus d'agir sur la santé de l'individu, la présence de parasites intestinaux chez des animaux réintroduits dans leur milieu naturel peut entraîner la contamination d'individus sauvages mais aussi d'autres espèces. (Montoya *et al.* 2013)

*Giardia sp.* a été identifiée chez de nombreux animaux captifs, vraisemblablement à cause du confinement et de la facilité du parasite à se transmettre (Olson et Buret 2008). La présence du protozoaire chez des animaux libérés par la suite dans un environnement où l'homme est de plus en plus présent peut non seulement mettre en danger la conservation d'espèces animales, mais aussi la santé humaine.

Plusieurs études ont ainsi cherché à déterminer la prévalence de la giardiose chez des primates non humains (PNHs) vivant en captivité ou en milieux ouverts et à mettre en évidence les facteurs favorisant sa présence et sa transmission. Toutefois, à notre connaissance, aucune étude n'a tenté de mettre en place une stratégie de gestion de la giardiose dans un centre de réhabilitation en Amérique latine.

Le travail de cette thèse comprend deux parties : une étude bibliographique, et une mise en situation avec l'exemple d'un foyer de giardiose chez des singes hurleurs dans un centre de réhabilitation de la faune sauvage en Argentine.

# Partie 1 : Etude bibliographique

Dans un premier temps, les différents protagonistes intervenant dans la problématique, c'est-à-dire le parasite (*Giardia duodenalis*) et l'hôte d'intérêt (les singes hurleurs), seront décrits. Puis une revue bibliographique des connaissances en matière de clinique et d'épidémiologie de la giardiose chez ces primates sera menée.

## I. Le Parasite : *Giardia duodenalis*

*Giardia sp.* est reconnue pour être le plus ubiquiste des protozoaires pathogènes qui affectent à la fois l'homme et une grande variété de mammifères domestiques ou sauvages à travers le monde. (Thompson et Monis 2004)

### A. Classification

*Giardia duodenalis* est un parasite protozoaire appartenant à la famille des Hexamitidae, également appelé *Giardia lamblia* ou *Giardia intestinalis* (Olson et Buret 2008). Sa classification est détaillée dans la figure 1.

<b>Sous-embanchement</b>	Sarcomastigophora
<b>Super-classe</b>	Mastigophora
<b>Classe</b>	Zoomastigophorea
<b>Ordre</b>	Diplomonadida
<b>Famille</b>	Hexamitida
<b>Genre</b>	Giardia
<b>Espèce</b>	<i>Giardia duodenalis</i>

Figure 1 : Classification de *Giardia duodenalis* (Olson et Buret 2008)

Le genre *Giardia* contient à ce jour 8 espèces identifiées dans un premier temps par leurs caractéristiques morphologiques puis génétiquement. Trois espèces ont été isolées chez des amphibiens (*G. agilis*) et des oiseaux (*G. ardae*, *G. psittaci*). Les 5 autres espèces référencées ont été isolées chez des mammifères (Tableau 1). L'espèce *G. duodenalis* (aussi appelée *G. intestinalis* ou *G. lamblia*) inclut des souches isolées chez de nombreux mammifères et sa dénomination fait controverse sachant qu'il s'agit en réalité d'un complexe contenant à ce jour 8 assemblages (Plutzer, Ongerth, et Karanis 2010; Thompson et Ash 2019).

ESPECE	HOTES PRINCIPAUX
<i>Giardia duodenalis</i>	Humains et autres mammifères
<i>Giardia muris</i>	Rongeurs
<i>Giardia microti</i>	Campagnol, rat musqué
<i>Giardia peramelis</i>	Bandicoot brun du Sud ( <i>Isodon obesulus</i> )
<i>Giardia cricetidarum</i>	Hamster

Tableau 1 : Espèces de *Giardia* et hôtes principaux (Plutzer, Ongerth, et Karanis 2010; Thompson et Ash 2019).

## B. Morphologie

Les trophozoïtes de *Giardia sp.* sont des organismes binucléés contenant 4 paires de flagelles et un disque adhésif ventral. Les corps médians, dont la position varie en fonction de l'espèce, sont des organites utiles pour l'identification de l'espèce (Figure 2).

Les kystes ont une forme elliptique et font environ 6–10 µm de long pour 4–6 µm de large. Ils contiennent 2 à 4 noyaux, des composants du disque adhésif et les axonèmes des flagelles. (Olson et Buret 2008)

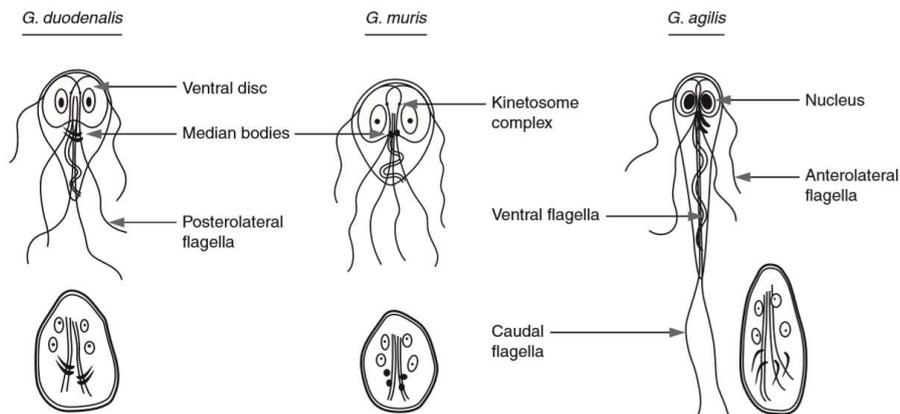


Figure 2 : Morphologie des trophozoïtes et kystes de *G. duodenalis*, *G. muris* et *G. agilis* (Thompson et Monis 2004)

## C. Cycle de vie et mode de transmission

*Giardia sp.* a un cycle de vie simple et direct. L'infection se fait par l'ingestion des kystes qui se dékystent dans le duodenum et relâchent deux trophozoïtes (Figure 3). Les trophozoïtes se multiplient par fission binaire et colonisent tout l'intestin grêle. Ils adhèrent à la paroi intestinale via leur disque adhésif ventral mais n'envahissent pas le tissu muqueux sous-jacent. Les trophozoïtes s'enkystent dans l'ileum et le colon et les kystes sont excrétés dans les selles. L'excrétion des kystes est intermittente et il est également possible de retrouver des trophozoïtes dans les selles, bien que ceux-ci ne survivent pas longtemps dans l'environnement.

La transmission de la giardiose se fait donc par la voie fécale-orale directe ou indirecte. La dose infectieuse est basse, il a été rapporté des infections chez l'homme et des animaux suite à l'ingestion de seulement 10 kystes (Olson et Buret 2008).

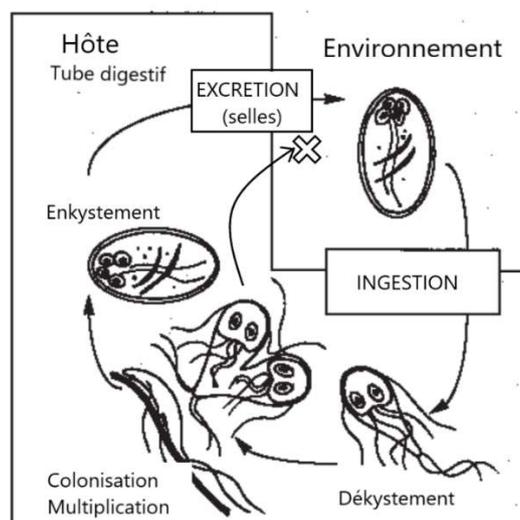


Figure 3 : Cycle de vie de *Giardia sp.* d'après Olson et Buret (2008)

## D. Résistance

### 1. Dans l'environnement

Les trophozoïtes de *Giardia* ont une très faible résistance dans l'environnement. Les kystes ont quant à eux une résistance variable en fonction des conditions. Ils peuvent rester infectieux pendant plusieurs mois dans l'eau froide (optimum entre 4 et 8°C) ou dans des environnements tempérés et humides. Les kystes présents dans les selles et le sol peuvent résister plusieurs semaines (Olson et Buret 2008; Plutzer, Ongerth, et Karanis 2010).

Une forte concentration en bactéries dans l'environnement entrainerait une dégradation des kystes, de même qu'une congélation prolongée ou des températures au-dessus de 20°C. L'ébullition détruit les kystes instantanément. La dessiccation et l'exposition aux ultraviolets les inactivent en 24h. (Olson et Buret 2008)

### 2. Aux produits désinfectants

Concernant les produits couramment utilisés pour le traitement de l'eau, le système habituel de chloration n'est pas suffisant pour détruire ou inactiver les kystes de *Giardia*.

L'iode organique, la teinture d'iode, le chlore et l'eau de javel (hypochlorite) sont tous efficaces dans la destruction des kystes, cependant leur effet est peu connu sur les kystes contenus dans les matières fécales. Les produits tels que le phénol, l'ammonium quaternaire, et les désinfectants halogénés seraient efficaces sur les kystes contenus dans les matières fécales. Dans tous les cas, un temps de contact de 15 à 30 minutes est recommandé pour assurer la destruction des kystes de *Giardia*. (Olson et Buret 2008)

## E. Détection

La détection de la présence de *Giardia* sp. peut se faire dans des échantillons de selles, d'eau ou encore de sol. De nombreuses techniques sont disponibles, allant de la microscopie traditionnelle à la PCR (*Polymerase Chain Reaction*) en passant par l'immunofluorescence ou l'ELISA (*enzyme linked immunosorbant assay*).

Ces techniques ont des sensibilités et spécificités variables en fonction de nombreux facteurs comme la nature de l'échantillon analysé. (Thompson et Ash 2019)

## F. Génétique et spécificité d'hôte

Huit assemblages sont à ce jour répertoriés au sein du complexe *G. duodenalis* et identifiés par les lettres de A à H. Chaque assemblage semble avoir un spectre d'hôte défini bien que plus ou moins strict et pourrait correspondre chacun à une espèce de *Giardia* sp. (Tableau 2).

La détermination de l'assemblage et du sous-assemblage de *G. duodenalis* se fait grâce à des différences de séquence de certains gènes. Les plus couramment utilisés sont les gènes codant la glutamate déshydrogénase (gdh), la triose-phosphate isomérase (tpi), et la  $\beta$ -giardin (bg), certaines études utilisent également les gènes SSU-rDNA et ITS1/ITS2. Pour le génotypage du sous-assemblage, SSU-rDNA a une variation génétique insuffisante, cependant tpi, bg, and gdh, et moins communément, ITS1 et ITS2 sont utilisés. (Robertson *et al.* 2019 ; Plutzer, Ongerth, et Karanis 2010)

Les assemblages A et B ont tous deux un spectre d'hôte large incluant de nombreux mammifères dont les primates. Trois sous-assemblages ont été identifiés au sein de l'assemblage A (AI, AII, et AIII), aucun sous-assemblage n'a été pour le moment clairement défini pour l'assemblage B (Cacciò, Lalle, et Svärd 2018, Thompson et Monis 2004). Cette relative spécificité d'hôte est pourtant régulièrement remise en cause. En effet une étude réalisée sur des renards roux a montré une prédominance de l'assemblage A, alors que le renard étant un canidé, on s'attendrait plutôt à trouver les assemblages C ou D (Robertson *et al.* 2019). De même l'assemblage E a déjà été retrouvé chez les primates (Johnston *et al.* 2010).

ASSEMBLAGE	PROPOSITION DE NOM D'ESPECE	HOTES PRINCIPAUX
A	<i>Giardia duodenalis</i>	Humains et autres mammifères
B	<i>Giardia enterica</i>	Humains et autres mammifères
C ET D	<i>Giardia canis</i>	Canidés domestiques et sauvages
E	<i>Giardia bovis</i>	Ongulés
F	<i>Giardia cati</i>	Chats
G	<i>Giardia simondi</i>	Rongeurs
H	?	Mammifères marins

Tableau 2 : Spectre d'hôte et taxonomie des 8 assemblages reconnus actuellement au sein du complexe *G. duodenalis* (Thompson et Ash 2019)

Les résultats des dernières études génétiques sur le genre *Giardia sp.* ont montré que *G. duodenalis* (Assemblage A) est phylogénétiquement plus proche de *G. cati*, *G. bovis* et *G. simondi* (Assemblages F, E et G) que de *G. enterica* (Assemblage B). Cependant ces mêmes études suggèrent de se référer aux différents assemblages comme étant des sous-espèces et non des espèces à part entière. Ajouté à cela le fait que *G. duodenalis* soit à la fois couramment utilisé pour désigner l'ensemble du complexe tout comme l'assemblage A, les confusions sont fréquentes lorsqu'on tente de comparer différentes études (Thompson et Ash 2019).

Pour éviter toute confusion, la dénomination suggérée par Thompson et Ash (2019) ne sera pas utilisée dans cette thèse et les assemblages, lorsqu'ils sont connus, seront toujours nommés.

## G. Caractère zoonotique

La giardiose est une maladie présente chez l'homme, plus particulièrement dans les pays en développement. De nombreuses études suggèrent une transmission zoonotique de *G. duodenalis*. Certaines rapportent l'infection expérimentale d'humains par des *Giardia* d'origine animale. D'autres suggèrent que les animaux domestiques ou sauvages pourraient infecter l'homme via la contamination de l'environnement ou de l'eau (Olson et Buret 2008). L'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) répertorie *G. duodenalis* comme l'un des protozoaires zoonotiques transmis par l'eau (Suresh et Smith 2004).

Brynildsrud *et al.* (2018) ont comparé des extraits génétiques de *G. duodenalis* issus de PNH et d'homme en se basant sur 4 marqueurs moléculaires qui sont les gènes *gdh*, *tpi*, *bg* et *SSU*. Ils n'ont pas trouvé de différence significative entre les *Giardia* issus des PNHs et des hommes, ce qui renforce l'idée d'une transmission zoonotique possible entre PNHs et humains.

Les assemblages A et B de *G. duodenalis* ont été retrouvés chez de nombreuses espèces de mammifères dont l'homme, ce qui renforce l'hypothèse d'un potentiel zoonotique de ces assemblages. Cependant certains sous-assemblages ne seraient pas zoonotiques et il existe un nombre croissant de rapports concernant des assemblages autres que A et B retrouvés chez l'homme. Il faut donc rester prudent sur cette hypothèse qui est susceptible de changer à mesure que la recherche avance. (Robertson *et al.* 2019)

## II. L'Hôte d'intérêt : le genre *Alouatta*

### A. Classification

<b>Classe</b>	<b>Mammifères</b>
<b>Ordre</b>	Primates
<b>Sous-ordre</b>	Haplorrhini
<b>Infra-ordre</b>	Simiiformes
<b>Micro-ordre</b>	Platyrrhiniens
<b>Famille</b>	Atélidés
<b>Genre</b>	<i>Alouatta</i>

Figure 4 : Classification du genre *Alouatta*, d'après le MSW3 (Wilson et Reeder 2005)

Le genre *Alouatta*, aussi appelé singes hurleurs ou Alouates, comprend 12 espèces de primates du Nouveau Monde (Platyrrhiniens). Il y a actuellement 9 espèces reconnues de singes hurleurs (*A. palliata*, *A. pigra*, *A. seniculus*, *A. arctoidea*, *A. sara*, *A. macconnelli*, *A. guariba*, *A. belzebul*, *A. caraya*) et possiblement 3 autres taxons pourraient être élevés au statut d'espèce à part entière (*A. nigerrima*, *A. ululata*, *A. discolor*). Des études génétiques et/ou morphologiques sont cependant requises pour le confirmer. Certains auteurs ajoutent à cela des sous-espèces au sein de certaines espèces d'*Alouatta sp.* (Kowalewski et Raño 2017)

### B. Caractéristiques du genre *Alouatta*

Les singes hurleurs font partie des primates du Nouveau Monde présentant le plus de dimorphisme sexuel d'un point de vue masse corporelle et couleur. Dans toutes les espèces du genre *Alouatta*, les mâles sont au moins 25% plus lourds que les femelles, et deux espèces, *A. caraya* et *A. guariba*, sont dichromatiques. Les singes hurleurs ont un poids corporel à l'âge adulte qui varie entre 4 et 12,5 kg.

Les singes hurleurs partagent certaines caractéristiques avec les autres Atélidés telles qu'une queue préhensile et des adaptations à la vie arboricole.

Les singes hurleurs tiennent leur nom de leur cri que l'on peut entendre à plusieurs kilomètres de distance. Des récentes recherches suggèrent que cette particularité est due à une modification des cartilages laryngés jouant le rôle de cage de résonance.

Une dernière particularité qui les distingue des autres primates du Nouveau monde est leur vision trichromatique (confirmée chez *A. caraya* et *A. seniculus* et suspectée chez les autres espèces du genre).

(Kowalewski et Raño 2017)

### C. Répartition géographique et habitat

Le genre *Alouatta* s'étend depuis le Sud du Mexique jusqu'en Argentine (Figure 5: Répartition géographique des 12 espèces d'Alouattas d'après l'IUCN). Il s'agit du genre de primate du Nouveau Monde dont la répartition géographique est la plus étendue. Ils sont présents depuis le niveau de la mer jusqu'à une altitude de plus de 3200 m. (Garber et Kowalewski 2015 ; Kowalewski et Raño 2017)



Figure 5: Répartition géographique des 12 espèces d'Alouattas d'après l'IUCN

Du fait de leur répartition géographique étendue, les singes hurleurs occupent diverses écorégions, ce qui fait que leur habitat peut varier de la forêt dense sempervirente à la savane (Figure 6). De plus ils peuvent exploiter des types de forêts très variés, de la forêt primaire intacte aux fragments de forêt sévèrement perturbée par l'homme et adjacent aux pâtures, champs, et communautés humaines. Les fragments de forêt cités sont issus de la déforestation importante dans certaines régions (Figure 7). C'est parfois l'unique l'espèce de primate vivant dans ces habitats hautement perturbés. (Garber et Kowalewski 2015 ; Kowalewski et Raño 2017)



Figure 6 : Ecorégions d'Amérique latine occupées par les singes hurleurs, d'après FAO et ITPS (2015)

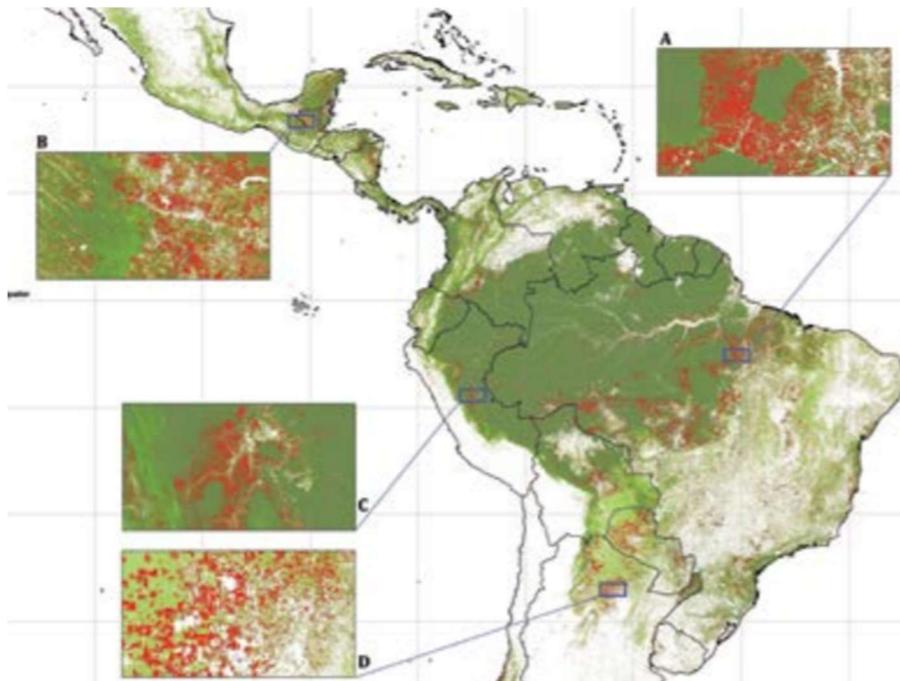


Figure 7 : Couverture forestière en l'an 2000 (en vert) et déforestation entre 2000 et 2014 (en rouge) (FAO et ITPS 2015)

## D. Mode de vie

Les singes hurleurs ont un mode de vie principalement arboricole et vivent en petits groupes.

### 1. Composition des groupes

Les groupes contiennent rarement plus de 2 à 4 mâles adultes et 2 à 4 femelles adultes, et les stratégies de reproduction sont variables.

### 2. Organisation du lieu de vie

Gilbert (1995) suggère que les singes hurleurs défèquent au niveau de sites relativement libres de végétation sous-jacente. Delgado (2005) observe le même phénomène chez *A. caraya*. Les singes choisissent généralement une branche basse et se positionnent loin du tronc, ce qui réduit les chances que de la matière fécale entre en contact avec de la végétation. De plus elle a pu observer que les singes adoptent une position leur évitant de contaminer leur queue. Enfin, tous les singes d'un même groupe défèquent au même endroit, qualifié de "latrines" (Figure 8) et le groupe semble choisir un lieu "propre" de latrines en tant que lieu de vie au cours de leurs déplacements.



Figure 8 : "Latrines" de singes hurleurs dans leur milieu naturel (Kane et Smith 2019)

Les singes hurleurs se positionnent généralement dans la moitié haute d'un arbre et proche du tronc pour dormir, zone qui les protège des intempéries et des prédateurs et qui se trouve être éloignée des « latrines ». (Urbani, Youlatos, et Kowalewski 2020 ; Brivido *et al.* 2019).

### 3. Déplacements

Etant arboricoles, les singes hurleurs effectuent la majorité de leurs mouvements dans la canopée. Cependant, avec la fragmentation de leur habitat, ils sont de plus en plus observés se déplaçant au sol. Une étude réalisée sur différents groupes de *A. pigra* au Mexique a observé que les singes habitant des fragments de forêt avaient tendance à voyager au sol plus fréquemment que ceux vivant en forêt continue. (Martínez-Mota *et al.* 2007)

## E. Régime, mode d'alimentation et adaptations

### 1. Régime et adaptations

Le régime des singes hurleurs est composé de feuilles, fruits et fleurs appartenant à 479 genres différents. Le temps accordé à la consommation de ces différents types de nourriture varie en fonction de l'espèce et de son habitat, allant de principalement frugivore à principalement folivore. Il a été démontré que des paramètres liés à l'environnement tels que les précipitations, la taille du groupe et la taille de la forêt influent sur le régime des singes hurleurs. Par exemple, le temps passé à l'ingestion de fruits augmente avec l'augmentation des précipitations et de la taille de l'habitat, mais diminue avec l'augmentation de la taille du groupe dans les milieux très productifs. Du fait des variations liées aux précipitations, les espèces vivant dans les zones avec une forte saisonnalité ont un régime plus variable. On différencie tout de même 3 différentes tendances alimentaires en relation avec l'espèce d'*Alouatta* et la zone géographique (Tableau 3).

Zone géographique	Espèce	Régime
Amérique centrale	<i>A. pigra</i>	Équilibré entre fruits et feuilles
	<i>A. palliata</i>	
	<i>A. seniculis</i>	
Amazonie	<i>A. belzebul</i>	Enrichi en fruits
	<i>A. macconnelli</i>	
Forêt Atlantique	<i>A. caraya</i>	Enrichi en feuilles
	<i>A. guariba</i>	

Tableau 3 : Régime des Alouates en fonction de l'espèce et de la zone géographique d'après Garber, Righini et Kowalewski (2015)

Les singes hurleurs présentent différentes adaptations anatomiques et physiologiques qui leur permettent la consommation de feuilles comme principale source de nourriture. En plus d'une morphologie cranio-mandibulaire adaptée, leur caecum et colon proximal sont élargis et contiennent une large communauté de micro-organismes symbiotiques qui dégradent les composants des cellules végétales via la fermentation.

(Dias et Rangel-Negrín 2015 ; Garber, Righini, et Kowalewski 2015)

### 2. Abreuvement

Les singes hurleurs consacrent une proportion très faible de leur temps à l'abreuvement (<1%), ce qui indique qu'ils remplissent la majorité de leur besoin en eau via leur nourriture. Des individus ont cependant été observés buvant de l'eau de pluie accumulée dans différents types de contenants (fleurs, troncs) mais aussi dans des étangs, des rivières ou des abreuvoirs destinés au bétail. Il semble que la consommation d'eau par les singes hurleurs soit liée au besoin de s'hydrater lorsque le temps est sec ou que la nourriture riche en eau n'est pas disponible (fruits, jeunes feuilles). Ils présentent différentes façons de s'abreuver : avec la main ou en aspirant directement l'eau avec la bouche. (Dias et Rangel-Negrín 2015; Bicca-Marques 1992)

### 3. Flore intestinale

Les protozoaires et nématodes gastro-intestinaux sont très répandus parmi les PNHs. Cependant il n’y a pas de preuve suffisante permettant de parler de phylosymbiose ou de spécificité d’hôte. Au contraire, les eucaryotes gastro-intestinaux sont faiblement corrélés avec la phylogénie des primates et le régime a un effet très réduit par rapport aux études faites sur la flore bactérienne des PNHs. (Mann *et al.* 2020)

Une étude récente réalisée sur 16 espèces de PNHs (y compris deux du genre *Alouatta*) a cependant mis en évidence que le genre *Entamoeba* est détecté chez toutes les espèces de PNHs étudiées. Et alors que ce protozoaire est surtout connu comme pathogène via *Ent. histolytica*, de nombreuses espèces d’*Entamoeba* sont en fait commensales. (Mann *et al.* 2020)

De nombreux facteurs agissent sur le microbiote des singes hurleurs tels que régime, la perturbation de son environnement naturel, la saison et la captivité.

Amato *et al.* (2016) ont montré que, au sein d’une même espèce de PNH (*A. pigra* et *A. palliata* faisait partie de l’étude), la composition du microbiote des singes varie en fonction du type de forêt, de la perturbation de l’habitat et de la saison.

Une étude s’intéressant à l’effet de la captivité et du régime (plus ou moins riche en fibres) chez 2 espèces de PNHs (incluant *A. palliata*) a mis en évidence que la captivité et un régime pauvre en fibres chez les PNHs étudiés sont associés avec une perte de leur microbiote original et une convergence vers le microbiote humain actuel (Clayton *et al.* 2016). L’impact de la captivité serait d’autant plus fort que le régime de l’espèce de PNH considérée est spécialisé. En effet le microbiote des PNHs folivores (tels que certaines espèces d’Alouates) est plus impacté par la captivité que celui de PNHs omnivores. Une raison à cela serait qu’il est plus difficile de reproduire le régime folivore en captivité (Frankel *et al.* 2019).

En revanche l’utilisation d’antibiotiques, pourtant connue chez de nombreuses espèces animales pour entraîner une dérive de flore, n’a pas été corrélée avec les modifications du microbiote des PNHs vues en captivité. (Clayton *et al.* 2016)

## F. Conservation

### 1. Statut de conservation

L’IUCN (*International Union for Conservation of Nature*) a identifié 11 espèces de *Alouatta* comme en déclin, seule l’espèce *A. macconnelli* est décrite comme stable.

Le statut IUCN de certaines espèces n’est pas inquiétant (Figure 9), cependant à l’échelle nationale le statut de ces espèces peut être différent. Par exemple l’espèce *A. caraya* est considérée comme “*Near threatened*” selon l’IUCN. Cependant les catégorisations nationales listent *A. caraya* comme “*Vulnerable*” en Argentine. (Kowalewski et Gillespie 2018 ; IUCN 2015)

NOT EVALUATED	DATA DEFICIENT	LEAST CONCERN	NEAR THREATENED	VULNERABLE	ENDANGERED	CRITICALLY ENDANGERED	EXTINCT IN THE WILD	EXTINCT
		<i>A. macconnelli</i> <i>A. nigerrima</i> <i>A. sara</i> <i>A. seniculis</i> <i>A. arctoidea</i>	<i>A. caraya</i>	<i>A. guariba</i> <i>A. belzebul</i> <i>A. palliata</i> <i>A. discolor</i>	<i>A. pigra</i>  <i>A. ululata</i>			

Figure 9 : Statut IUCN des 12 espèces de *Alouattas* répertoriées

## 2. Des “sentinelles” de la santé humaine

Etant très sensibles à la fièvre jaune, lorsqu'un épisode apparaît, on observe une forte et rapide mortalité des populations de singes avant que la maladie ne se propage chez l'homme (jusqu'à 90% de mortalité observée en laboratoire). Plusieurs épisodes ont été observés en Argentine et au Brésil ces dernières années. Cette forte mortalité des singes, si elle est observée, permet d'alerter les autorités sanitaires qui pourront mettre en place des campagnes de vaccination avant de voir apparaître une épidémie chez l'homme. Les singes hurleurs font donc partie des espèces dites « sentinelles » de la fièvre jaune. Il se trouve que ces singes peuvent être infectés par un grand nombre d'agents zoonotiques pour lesquels ils pourraient également jouer le rôle de sentinelle. (Kowalewski et Gillespie 2018)

## 3. Menaces

Bien que les singes hurleurs soient connus pour leur capacité à persister aussi bien en milieu conservé qu'en milieu perturbé, il existe des preuves comme quoi ils sont affectés négativement par la perte considérable de leur habitat associée à la fragmentation et la dégradation de celui-ci. (Arroyo-Rodriguez et Dias 2010)

La fragmentation de l'habitat entraîne un déclin des populations de singes hurleurs via différents biais, tels que la réduction de leur habitat, l'augmentation des interactions avec d'autres espèces, les pressions anthropogéniques... (Arroyo-Rodriguez et Dias 2010). A plus long terme, la fragmentation de la forêt, en isolant les différents groupes d'une même espèce, entraîne une perte de diversité génétique au sein des groupes, ce qui peut entraîner une perte de diversité génétique délétère au sein de l'espèce (Oklander, Kowalewski, et Corach 2010).

D'autres dangers menacent les populations d'Alouates. Des épisodes de fièvre jaunes ont entraînés une forte mortalité chez les singes hurleurs : un épisode a, par exemple, été responsable du déclin de 50% de la population de *A. palliata* sur l'île de Barro Colorado au Panama entre 1933 et 1951. Les singes hurleurs sont également la cible de braconniers qui tuent les adultes et récupèrent les juvéniles pour les vendre en tant qu'animaux de compagnie (Chapman, Gillespie, et Goldberg 2005). D'autre part, M. Kowalewski rapporte la mort de plusieurs groupes de *A. caraya* dans le Nord de l'Argentine (autour de l'EBCO – *Estacion biologica Corrientes*) en raison des incendies survenus en 2020 (Figure 10). De plus, la capacité de ces espèces à persister proche de l'homme, les rendant très visibles, donne la fausse impression qu'elles sont prospères. En réalité, la présence de ces singes proches de l'homme est due à l'immigration de masse de ces animaux du fait de la destruction de leur habitat primaire. Malheureusement la visibilité de ces animaux peut ébranler leur bien-être et leur conservation. (Kowalewski et Gillespie 2018 ; Pastor-Nieto 2015)



Figure 10 : Singes hurleurs pris dans un incendie dans le Nord de l'Argentine en 2020 (Crédit photo M. Kowalewski)

#### 4. Les singes hurleurs en captivité

Le commerce illégal de singes hurleurs en tant qu'animaux de compagnie est courant en Amérique latine et beaucoup d'individus finissent dans des zoos ou des centres de réhabilitation où l'adaptation peut être difficile. Bien que de nombreuses maladies puissent être rencontrées dans la nature, d'autres infections (virales, bactériennes et parasitaires) sont concomitantes à une gestion inappropriée ou du stress. Une prise en compte des caractéristiques comportementales, anatomiques et évolutives du genre, tels que leur régime et mode de vie arboréal, peut grandement améliorer leur survie en captivité. Une bonne gestion de ces facteurs peut également contribuer au développement de populations saines de singes captifs en vue d'une réintroduction dans la nature. (Pastor-Nieto 2015)

### III. Etude clinique de la giardiose chez le singe hurleur

#### A. Signes cliniques et portage asymptomatique

##### 1. Signes cliniques décrits chez les mammifères sensibles

L'infection par *G. duodenalis* chez les mammifères peut causer une diarrhée ou rester asymptomatique. Les signes cliniques présents en cas de giardiose sont les suivants : diarrhée aiguë ou chronique, douleur abdominale, déshydratation, perte de poids ou diminution de la prise de poids, retard de croissance. (Olson et Buret 2008)

Chez l'homme, la giardiose peut se manifester par une diarrhée aiguë qui peut se poursuivre par un état de diarrhée chronique, mais la majorité des infections est asymptomatique.

Il semblerait que les signes cliniques varient en fonction de l'espèce et de l'assemblage impliqué. Et, au sein d'une même espèce pour une même souche de giardia, différents paramètres peuvent encore faire varier la clinique tels que la dose infectieuse, la réponse immunitaire de l'hôte, et la présence d'infections gastro-intestinales intercurrentes. (Cacciò, Lalle, et Svärd 2018)

##### 2. Sensibilité des primates non humains

Souvent retrouvé chez les primates non humains, il n'y a, à ce jour, pas eu d'étude montrant une corrélation entre les signes cliniques généralement associés à la giardiose (diarrhée...) et la présence du parasite dans les selles des primates étudiés.

En captivité, les infections par des protozoaires tels que *Giardia sp.* sont très fréquentes et sont considérées comme une cause importante de gastro-entérites chez les PNHs. (Levecke *et al.* 2007)

Les PNHs étant souvent infectés par plusieurs parasites à la fois, il est pourtant difficile d'associer la présence de *G. duodenalis* dans les selles aux signes cliniques parfois présents. Le portage asymptomatique est également souvent mentionné. Par exemple, dans une étude réalisée sur 100 macaques Rhésus en captivité, *G. duodenalis* a été retrouvée chez tous les individus, qu'ils soient en diarrhée chronique ou non (Sestak *et al.* 2003). De même, Hamlen et Lawrence (1994) ont étudié une population de Saimiris en laboratoire et ont trouvé une prévalence avoisinant les 50%, que ce soit chez les animaux présentant des signes gastro-intestinaux ou non. Enfin, dans une autre étude réalisée chez les PNHs d'un zoo au Brésil, aucun des individus pour lesquelles *G. duodenalis* a été identifiée dans les selles ne présentait de diarrhée ou de signes cliniques relatifs à la giardiose (David *et al.* 2014).

Très peu d'auteurs mentionnent par ailleurs des signes cliniques associés à *Giardia* chez des PNHs vivant en liberté. Deux études font référence à la présence de signes cliniques légers. La première réalisée en Argentine sur 90 échantillons de selles de *A. caraya* en liberté a montré que les animaux infectés par *Giardia* avaient plus de fèces qualifiées de "molles" ou "intermédiaires" que les animaux non-infectés. Aucun échantillon n'a cependant été qualifié de "liquide" (Kowalewski *et al.* 2011). La deuxième réalisée sur des Gorilles en Ouganda pour laquelle il est mentionné que les échantillons de fèces positifs pour *G. duodenalis* contenaient du mucus et des traces de sang (Graczyk *et al.* 2002).

Il y a pourtant une relation hypothétique entre la présence de *Giardia* dans les selles et de fortes diarrhées associées à de la déshydratation chez des *A. caraya*. Une femelle *A. caraya* échantillonnée deux fois, une fois en liberté où elle ne présentait pas de signes cliniques, la deuxième fois en captivité où elle est morte après 144 jours avec une atteinte sévère gastrointestinale, était positive dans les 2 cas pour *G. duodenalis*. Dans cette étude, le stress lié à la captivité est mis en cause comme immuno-dépresseur, les parasites opportunistes pouvant alors engendrer des signes cliniques sévères. (Santos 2011)

De plus, comme l'a montré Genoy-Puerto avec *Entamoeba*, un protozoaire régulièrement retrouvé chez ces singes non associé à des signes cliniques, un changement brusque d'environnement (de vie libre à captivité), peut entraîner une expression clinique allant jusqu'à la mort des animaux (Genoy-Puerto *et al.* 2016). On peut donc supposer qu'il en soit de même pour *Giardia*.

En conclusion, la sensibilité à *G. duodenalis* chez les primates non humains a été peu observée, il semble cependant très probable que des changements pathophysiologiques aient bien lieu chez la majorité des sujets infectés. Les conséquences de ces modifications pathophysiologiques varieraient en fonction de facteurs nutritionnels et du statut immunitaire, ainsi qu'à la faveur d'infections intercurrentes (Thompson et Monis 2004). La captivité, en tant que facteur de stress important, jouerait un rôle important dans l'expression clinique de la giardiose chez les Alouates.

### 3. Facteurs influençant la sensibilité

Comme cités précédemment, les facteurs nutritionnels, le statut immunitaire, ainsi que la présence d'infections intercurrentes agissent certainement sur la sensibilité des PNHs à la giardiose. (Thompson et Monis 2004)

#### a) *Age et statut immunitaire*

Les jeunes animaux sont plus susceptibles de développer des signes cliniques en cas de giardiose, d'autant plus en cas de transfert inadéquat de l'immunité maternelle. (Olson et Buret 2008)

#### b) *Influence du stress sur l'immunité*

Une étude réalisée sur un groupe de 15 *A. caraya* sauvages lors d'une translocation au Brésil a mis en évidence des variations de paramètres biochimiques montrant une immunodépression associée à la capture et la mise en captivité des animaux. Or les différentes manipulations liées à la translocation et la captivité sont de forts facteurs de stress chez les animaux sauvages. (Sánchez-Sarmiento *et al.* 2015) Le stress est donc un agent responsable d'immunodépression et donc un facteur faisant potentiellement augmenter la sensibilité.

Différentes études ont mis en évidence une augmentation du stress chez des singes hurleurs sauvages liés à la perturbation de leur habitat. Une étude réalisée au Mexique sur différents groupes de *A. pigra* a montré que le stress, caractérisé par la concentration de métabolites des glucocorticoïdes dans les selles, est plus important chez les singes vivant dans les zones non-protégées que dans les zones protégées (Rangel-Negrín *et al.* 2014). La même technique a été utilisée par Martínez-Mota *et al.* (2007) et a montré que les groupes de *A. pigra* vivant en forêt fragmentée avaient un niveau de stress plus élevé que les groupes vivant en forêt continue. De même Vanlangendonck *et al.* (2015) a trouvé que les *A. palliata palliata* vivant dans les zones avec une forte présence humaine avaient un cortisol fécal plus élevé que ceux vivant éloignés de l'homme.

#### c) *Influence de la nutrition et du microbiote*

Le statut nutritionnel joue sur la réponse des primates aux parasites. En effet les parasites n'induisent pas nécessairement des effets négatifs si les hôtes disposent de réserves énergétiques ou de nutriments adéquats. A l'inverse, le stress alimentaire peut exacerber les conséquences cliniques d'une infection parasitaire par immunosuppression (Chapman, Gillespie, et Goldberg 2005).

La flore bactérienne des primates contribue au métabolisme, au développement du système immunitaire et à la résistance à certains pathogènes. Il a été montré que la perturbation de cette flore est associée à des maladies métaboliques et auto-immunes chez l'homme dans les populations occidentalisées (Clayton *et al.* 2016). Une modification de cette flore bactérienne peut donc impacter l'immunité des singes et, par extension, augmenter leur sensibilité aux pathogènes.

#### d) *Influence de la coprophagie sur l'immunité*

La coprophagie est l'habitude de manger, ou se nourrir, de ses propres excréments ou des excréments d'un autre individu (ou espèce). La coprophagie, en tant que phénomène naturel, a une importance nutritionnelle dans l'apport de vitamines, protéines, acides aminés, minéraux... Ce comportement aide à apporter les quantités suffisantes de ces nutriments dans le régime des animaux herbivores (ruminants et herbivores monogastriques) sachant que les végétaux apportent beaucoup moins de protéines et acides aminés que les aliments d'origine animale. Chez les espèces coprophages tels que les lapins c'est une pratique essentielle à leur bon développement et au maintien de leur flore intestinale. (Graczyk et Cranfield 2003)

Le comportement de coprophagie a été rapporté chez différentes espèces de PNHs. Il est communément accepté qu'elle ne sert pas des besoins nutritionnels comme chez les lapins mais est due à des carences en protéines, acides aminés et vitamines ou à des problèmes de comportement. (Graczyk et Cranfield 2003)

Bien que, à notre connaissance, l'observation du comportement de coprophagie n'a jamais été rapporté chez les singes hurleurs, une étude portant sur le régime de singe *A. palliata* au Mexique suppose l'existence de coprophagie chez ces singes via la présence d'un marqueur dans les selles. (Espinosa-Gómez *et al.* 2013)

Dans le cas de parasites à cycle direct, la coprophagie est un moyen de transmission de parasites très efficace. Il est cependant difficile de montrer une réelle influence de la coprophagie sur le parasitisme chez les PNHs, sachant que de nombreux facteurs environnementaux entrent en jeu. Cependant si on prend exemple sur l'homme, les études faites sur des personnes malades mentales pratiquant la coprophagie ou la coprophilie ont montré un fort taux d'infestation par les parasites intestinaux mais généralement asymptomatique alors que les soignants évoluant dans le même environnement sont très peu infestés mais présentent de forts signes cliniques en cas d'infestation. La coprophagie fait donc très probablement augmenter la prévalence des infections par les parasites à cycle direct tels que *Giardia* mais il est également possible que les constantes ré-infestations entraînent une immunité au parasite. (Graczyk et Cranfield 2003)

En effet, la coprophagie, étant donné la constante ré-inoculation des parasites intestinaux, peut stimuler le système immunitaire de l'hôte via le tissu lymphoïde, ce qui est le principal mécanisme d'immunisation entérique contre les infections intestinales. L'exposition fréquente de la muqueuse intestinale aux protozoaires intestinaux augmente la quantité de particules parasitaires immunogènes dans cette région. Le tissu lymphoïde, en retour, stimule la production d'immunoglobulines A spécifiques sécrétées dans la lumière intestinale et retrouvées ensuite dans les selles. La coprophagie favorise l'ingestion de ces copro-anticorps, ce qui a été démontré comme ayant une fonction protectrice contre les infections intestinales. (Graczyk et Cranfield 2003)

Dans la gestion du parasitisme chez les PNHs la coprophagie semble donc à double tranchant. Du fait de la très forte efficacité de la coprophagie dans la transmission de parasites intestinaux, le statut immunitaire de l'hôte peut être maintenu à un haut niveau. Cependant si de « nouveaux » parasites intestinaux sont introduits dans une population indemne alors ils se répandront au sein de la population très rapidement et les individus au statut immunitaire incertain (juvéniles) seront plus fortement touchés cliniquement. (Graczyk et Cranfield 2003)

Par extension, les constantes ré-infestations des animaux par *Giardia* peuvent permettre l'acquisition d'une immunité et donc réduire l'expression clinique de la giardiose. Cependant cela peut également favoriser l'infestation des juvéniles dont l'immunité n'est pas encore acquise.

## B. Diagnostic

Le diagnostic clinique de la giardiose demeure difficile et aléatoire, les pathogènes entraînant un cadre clinique proche de la giardiose chez les singes étant variés.

Le diagnostic de certitude repose sur des techniques de laboratoire permettant la détection du parasite chez l'hôte (voire Détection p18). Les plus utilisées reposent sur la détection des kystes dans les matières fécales. L'excrétion de kystes étant intermittente, il faudra procéder à plusieurs tests ou bien recueillir des selles sur plusieurs jours pour améliorer la sensibilité. (Olson et Buret 2008)

## C. Thérapeutique

### 1. Enjeux et importance

Etant donné sa potentielle contagiosité à d'autres espèces animales dont l'homme et les signes cliniques engendrés chez les singes en captivité, des mesures thérapeutiques semblent indiquées. Ces mesures concernent uniquement les populations en captivité et ne sont pas applicables à des populations sauvages. (Olson et Buret 2008)

### 2. Traitements

Comme il existe de nombreux cas de portage asymptomatique, tous les individus vivant dans un même environnement (enclos) doivent être traités simultanément.

De nombreux médicaments sont disponibles pour le traitement de la giardiose chez l'homme et les animaux. Les plus fréquemment utilisées sont le métronidazole, les 5-nitroimidazole (tinidazole, secnidazole et ornidazole), le nitaxozanide, les benzimidazoles (albendazole, mébendazole), la paromomycine et la furazolidone. Il existe cependant des résistances croissantes à ces traitements. (Argüello-García *et al.* 2020)

L'administration de ces traitements se fait par voie orale et doit être renouvelée plusieurs fois pour garantir leur efficacité, ce qui peut être difficile chez les singes (Tableau 4). Le métronidazole par exemple a un goût métallique désagréable pour les singes.

MOLECULE	POSOLOGIE
<b>ALBENDAZOLE</b>	25mg/kg par voie orale 2 fois par jour pendant 5 jours
<b>METRONIDAZOLE</b>	10–16.7mg/kg par voie orale 3 fois par jour pendant 5 à 10 jours ou 25mg/kg par voie orale 2 fois par jour pendant 5 à 10 jours
<b>QUINACRINE (ATABRINE ND)</b>	2 or 10mg/kg par voie orale 3 fois par jour pendant 5 à 7 jours
<b>TINIDAZOLE (TINDAMAX ND)</b>	150mg/kg par voie orale une fois, puis 77mg/kg une fois 4 jours après la première administration

Tableau 4 : Exemples de traitements de la giardiose chez les singes du Nouveau Monde, d'après Hahn (2019)

### 3. Mesures d'hygiène

Les réinfections sont fréquentes chez les animaux si les kystes ne sont pas éliminés de l'environnement. Cela implique la mise en place de mesures d'hygiène : un nettoyage puis une désinfection méticuleuse de l'environnement et du matériel, s'assurer que la nourriture et l'eau ne sont pas contaminées par les excréments, sectoriser l'espace en isolant les malades, de contrôler les entrées d'animaux en utilisant une zone de quarantaine...

Comme pour toute maladie contagieuse à potentiel zoonotique, des mesures sanitaires visant à protéger le personnel sont également indispensables.

Il est cependant évident que ces mesures ne sont souvent pas applicables dans les conditions de captivité des singes hurleurs. (Olson et Buret 2008)

### 4. Vaccination

Il n'existe pas à ce jour de vaccin contre la giardiose en médecine humaine (Argüello-García *et al.* 2020). Un vaccin a été testé chez des chiens avec des résultats expérimentaux encourageants, à la fois en thérapeutique sur des animaux infectés chroniquement, et en prophylaxie (Olson, Ceri, et Morck 2000). De plus amples recherches doivent encore être menées pour le développement d'un vaccin anti-giardia. (Olson et Buret 2008)

## IV. Etude épidémiologique

Les kystes de *Giardia sp.* sont transmis par la voie oro-fécale, directe ou indirecte. Les mécanismes potentiels de transmission sont nombreux et peuvent être inter ou intraspécifiques via l'eau et l'environnement (Plutzer, Ongerth, et Karanis 2010). Le spectre d'hôte n'est pas clairement défini en fonction des assemblages de *G. duodenalis* mais la connaissance de l'assemblage permet tout de même d'affiner les hypothèses épidémiologiques.

### A. Assemblages présents chez les singes hurleurs

Les principaux assemblages de *G. duodenalis* retrouvés chez les PNHs sont les assemblages A et B (Tableau 5). Il en va de même pour le genre *Alouatta*. Très peu de données sont disponibles pour les PNHs vivant dans leur milieu naturel, d'autant plus lorsqu'on s'intéresse aux singes hurleurs. Les résultats sont par ailleurs plus ou moins fiables en fonction du nombre de gènes analysés pour déterminer l'assemblage.

Article	Pays	Habitat	Espèces	Gènes analysés				Assemblages
				SSU-rDNA	gdh	bg	tpi ITS1-ITS2	
Martínez-Díaz <i>et al.</i> 2011	Espagne		PNHs (20 espèces)	X	X	X	X	A et B
Beck <i>et al.</i> 2011	Croatie		PNHs (4 espèces)	X	X	X	X	B
Berrilli <i>et al.</i> 2011	Italie	Captivité	Lemur cata		X		X	B
Zhang <i>et al.</i> 2020	Chine		PNHs (9 espèces)		X	X	X	B
Debenham <i>et al.</i> 2015	Congo		Chimpanzé		X	X	X	B
Graczyk <i>et al.</i> 2002	Ouganda	Forêt, zone touristique	Gorilles					A
Johnston <i>et al.</i> 2010	Ouganda	Liberté	PNHs (3 espèces)	X	X		X	B, E
Itagaki <i>et al.</i> 2005	Japon	Liberté	Macaques		X			B
Debenham <i>et al.</i> 2017	Inde	Zone urbaine et semi-rurale	Macaques	X	X	X	X	B
Levecke <i>et al.</i> 2009	Belgique et Pays-Bas		PNHs (30 espèces)		X	X	X	AI, AII, B, A+B
			<b>A. clamitans</b>					A, B
			<b>A. fusca</b>					AI ou AII
David <i>et al.</i> 2014	<b>Brésil</b>		<b>A. caraya</b>		X		X	AII
			Atèles					AI ou AII
Volotão <i>et al.</i> 2008	<b>Brésil</b>	Captivité	<b>A. clamitans</b>			X		AI
Santos 2011	<b>Brésil</b>		<b>A. caraya</b>		X	X		AI
Soares <i>et al.</i> 2011	<b>Brésil</b>		<b>A. fusca</b>	X	X			B
Vitazkova et Wade 2006	<b>Belize et Mexique</b>	Forêt	<b>A. pigra</b>	X				A et B

Tableau 5 : Assemblages retrouvés chez les PNHs dans diverses régions du monde (les pays d'Amérique latine sont en gras, ainsi que les espèces appartenant au genre *Alouatta*)

## B. Prévalence de la giardiose chez les singes hurleurs

Que ce soit dans un environnement naturel ou en captivité, la prévalence de la giardiose chez les singes hurleurs est très variable. Les techniques utilisées pour la récolte des échantillons et l'analyse de ceux-ci sont diverses, ce qui rend difficile de conclure sur l'influence de facteurs tels que la zone géographique.

La figure 11 et le tableau 6 rapportent les résultats de 22 articles de *surveys* réalisés en Amérique latine sur des singes du genre *Alouatta*.

Mode de vie	Pays	Région	Espèce	Numéro (Figure X)	Référence	Nombre d'individus	Méthode d'échantillonnage	Nombre d'échantillons	Méthode d'analyse	Prévalence (%)	
Liberté	Mexique	Quintana Roo	<i>A. pigra</i>	1	Bonilla Moheno 2002	11	n/individu		CD + CF	25 - 33	
	Belize et Sud du Mexique		<i>A. pigra</i>	2	Vitazkova et Wade 2007	50	n+/individu	253	CF + ELISA	35 - 44	
					Vitazkova et Wade 2006	50	n+/individu	283	ELISA + IF	21 - 40	
	Costa rica		<i>A. palliata</i>	3	Stuart <i>et al.</i> 1998					P	
					Chinchilla Carmona <i>et al.</i> 2014	102	1/individu, R	102	C	0 - 63,5	
	Colombie	Quindio	<i>A. seniculis</i>	4	Cardenas-Saldarriaga 2009	15	n/individu		C	13	
	Argentine	Corrientes	<i>A. caraya</i>	5	Kowalewski <i>et al.</i> 2011	90	1/individu	90	IF	40 - 67	
					Milozzi <i>et al.</i> 2012	20	3/individu	60	CF + CS	70	
	Liberté	Veracruz	<i>A. palliata mexicana</i>	6	Aguilar-Cucurachi <i>et al.</i> 2007	12	1/individu/P	80	CD + CF	0	
					Cristóbal-Azkarate <i>et al.</i> 2010	19	4/individu/P	288	CS	0	
		Mexique		<i>A. pigra</i>	7	Martínez-Mota <i>et al.</i> 2018	65	1/individu	65	CF + CS	0
						Stoner et González Di Pierro 2006	17	n/individu	151	CS	0
		Campeche	<i>A. pigra</i>	9	Martínez-Mota 2015	44	n/individu	673	CF + CS	0	
Belize		<i>A. pigra</i>	10	Eckert <i>et al.</i> 2006	167	n/individu	193	CS	0		
Costa rica		<i>A. palliata</i>	11	Stoner 1996	13	n/individu	84	CS	0		
				Stuart <i>et al.</i> 1990	164	n/individu	209	CS	0		
Pérou	Tambopata	<i>A. seniculis</i>	12	Philips <i>et al.</i> 2004		1/individu		C	0		
Semi-captivité	Argentine	Córdoba	<i>A. caraya</i>	13	Milozzi <i>et al.</i> 2012	18	3/individu	50	CF + CS	27,7	
Captivité	Colombie	Jericó	<i>A. seniculis</i>	14	Montoya <i>et al.</i> 2013	11	1/individu, R	11	C	52,4	
	Brésil	Etat de Sao Paulo	<i>A. caraya</i> , <i>A. fusca</i> , <i>A. seniculis</i>	15	David <i>et al.</i> 2014	11 (3 enclos)	Fèces récoltées par terre dans l'enclos		CS	P	
		Santa Catarina	<i>A. guariba clamitans</i>	16	Volotão <i>et al.</i> 2008	16	1/individu, R	16	C	100	
		Rio Grande do Sul	<i>A. caraya</i> , <i>A. guariba</i>	17	Lara et Carregaro 2009	8	1/individu, R	8	CF	37,5	
		Rio de Janeiro	<i>A. guariba clamitans</i> , <i>A. caraya</i>	18	Barbosa <i>et al.</i> 2015	2		1	CD + CF + CS	0	

Méthode d'échantillonnage	
x/individu	L'individu a été identifié et ses fèces ont été récoltées un nombre déterminé de fois (1, 3, 4), un nombre indéterminé de fois (n) ou le plus possible de fois (n+)
R	Fèces récoltées directement dans le rectum des singes
P	Période d'échantillonnage

Méthode d'analyse	
C	Coproscopie (non précisé)
CD	Coproscopie directe
CF	Coproscopie suite à une flottation
CS	Coproscopie suite à une sédimentation
IF	Immunofluorescence

Prévalence	
p	Giardia présente mais prévalence inconnue
35 - 44	Intervalle de prévalence quand plusieurs groupes ont été analysés

Tableau 6 : Prévalence de la giardiose chez les Alouates en fonction du mode de vie, du lieu et de la technique d'analyse des fèces utilisée

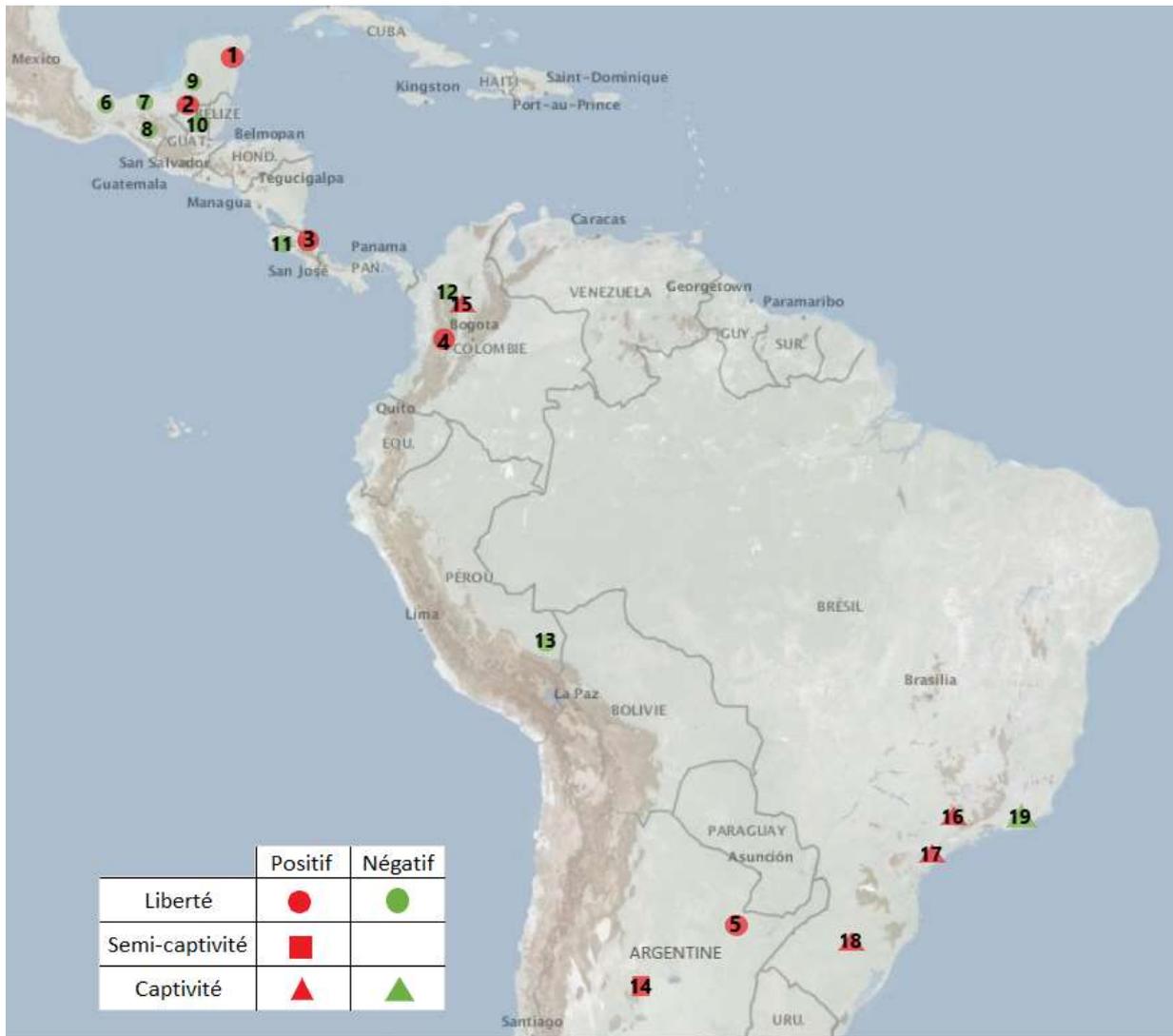


Figure 11 : Situation géographique des différentes zones d'étude de la prévalence de la giardiose chez les *Alouatta* en Amérique latine

### 1. Dans leur milieu naturel

La prévalence de la giardiose chez les singes hurleurs vivant en liberté varie entre 0 et 70 %. Les études recensées se concentrent dans les parties Nord et Sud de l'aire de distribution du genre *Alouatta*. Des valeurs supplémentaires auraient été souhaitables afin d'avoir un état des lieux plus complet de la situation.

### 2. En captivité

En captivité, les infections par des protozoaires tels que *Giardia sp.* sont très fréquentes. Santos (2011) a analysé 343 échantillons de fèces provenant de 52 espèces différentes vivant au Brésil dans leur milieu naturel ou en captivité. Elle a obtenu une prévalence de 4% pour les animaux évoluant dans leur milieu naturel contre 9 % pour ceux vivant en captivité. Ce résultat a beau être faiblement significatif, il témoigne tout de même de la tendance de la captivité à favoriser les infections par *G. duodenalis*.

Dans une étude ayant fait une analyse coproscopique complète des PNHs de deux centres au Brésil, une prévalence très haute en protozoaires a été mise en évidence, ce qui fait écho à d'autres études réalisées chez des PNHs (prosimiens, Platyrrhiniens et grands singes) captifs dans 4 jardins zoologiques en Belgique, chez des *Papio hamadryas* (babouins) dans des jardins zoologiques en Espagne et chez des Cebidae, Cercopithecidae, Hominidae, et Hylobatidae captifs en Malaisie (Barbosa *et al.* 2015). En effet dans l'étude réalisée en Belgique, 222 individus appartenant à 31 espèces de PNHs (prosimiens, Platyrrhiniens, Catarrhiniens et grands singes), une prévalence de 41% pour *G. duodenalis* a été trouvée (Levecke *et al.* 2007).

Concernant les singes hurleurs captifs en Amérique latine, 3 articles font référence à la présence de *Giardia sp.* au Brésil avec une prévalence haute (Tableau 6).

L'occurrence de ces protozoaires chez ces PNHs captifs peut être associée avec leur cycle de vie simple et à la capacité des kystes à survivre dans l'environnement. (Barbosa *et al.* 2015)

Comparer les prévalences de la giardiose en fonction du mode de vie (captif ou libre) ou de la zone géographique à partir de ces articles est compliqué étant donné que la méthode diagnostic varie énormément entre les articles (Tableau 6 : Prévalence de la giardiose chez les Alouates en fonction du mode de vie, du lieu et de la technique d'analyse des fèces utilisée).

Milozzi *et al.* (2012) ont comparé deux lieux : un pour lequel les singes évoluaient en liberté et un en semi-captivité et ont eu respectivement une prévalence de 70 et 27,7% pour *G. duodenalis* en utilisant le même protocole d'échantillonnage et d'analyse des selles. Ces résultats tendent à faire penser que la prévalence de la giardiose est plus haute dans le milieu naturel, cependant la localisation des deux sites étant différente, de nombreux paramètres environnementaux sont à prendre en compte et il est donc difficile de tirer des conclusions de ces résultats.

## C. Sources potentielles et facteurs favorisant les infections des singes hurleurs

### 1. Sources de parasites et modalités d'infection

Les sources de *G. duodenalis* sont variées. Les assemblages A et B étant les plus fréquents chez les PNHs, il convient de s'intéresser à ceux-ci, cependant les mammifères pouvant le répandre sont nombreux et incluent les chiens, les chats, le bétail et une grande variété d'animaux sauvages (Feng et Xiao 2011). De plus la contamination via l'environnement ou tout type de vecteur est possible.

Identifier le foyer primaire de contamination des singes hurleurs dans leur milieu naturel ou en captivité est compliqué et requiert une analyse génétique poussée. Le séquençage de tout le génome des souches de *G. duodenalis* isolées a montré un grand potentiel dans ce domaine. (Thompson et Ash 2019)

#### a) Les animaux réceptifs et l'environnement

Longtemps la faune sauvage a été considérée comme source de la giardiose chez l'homme. La tendance actuelle désigne plutôt l'homme comme source initiale de la giardiose chez les mammifères sauvages, la faune sauvage agissant comme réservoir et amplificateur. (Thompson, Lymbery, et Smith 2010)

Une étude réalisée en Ouganda a recherché le protozoaire chez des gorilles en contact rapproché avec des humains, les humains en question et le bétail environnant. Il a été trouvé une prévalence de respectivement 2, 5 et 10% pour *Giardia*. L'assemblage A a été identifié pour tous, et, étant l'assemblage le plus fréquemment retrouvé chez l'homme (et très rare pour le bétail), une source humaine d'infestation a été supposée par les auteurs (Graczyk *et al.* 2002). Johnston *et al.* (2010) a réalisé une étude similaire dans une localité d'Ouganda et a trouvé les assemblages A et B chez l'homme, B et E chez des primates sauvages et E chez le bétail. Cette fois-ci c'est l'assemblage E, peu fréquent chez les PNHs, qui semble indiquer le bétail comme origine de contamination des singes, et l'assemblage B comme une contamination humaine.

Vitazkova et Wade (2007) citent l'homme comme source probable de contamination d'une population de *A. pigra* sauvage. Les origines possibles de cette contamination sont variées : le contact avec le sol, des fèces ou du papier toilette lors de leurs trajets au sol ou encore le contact avec les touristes les alimentant à la main.

Les animaux domestiques et sauvages partageant leur environnement sont également une source potentielle de contamination des singes hurleurs. Ils ont été observés en interaction avec de nombreuses espèces dont des oiseaux et des mammifères, en particulier d'autres primates partageant leur habitat et des coatis (Cristóbal-Azkarate, Urbani, et Asensio 2015).

Bien que les assemblages A et B ne soient pas les assemblages les plus couramment retrouvés, ils ont déjà été répertoriés chez certaines espèces d'animaux domestiques. Ces derniers pouvant également agir comme vecteur.

Une étude réalisée dans un village en Côte d'Ivoire où animaux domestiques et humains vivent en étroite relation a identifié les assemblages A et B chez l'homme, les chèvres, canards et poules, et les assemblages A, C et D chez les chiens. Concernant les canards et les poules, les auteurs suggèrent que les oiseaux aient ingéré les kystes puis les aient excrétés dans les selles sans avoir généré de réelle infection. Tous ces animaux, qu'ils soient la source initiale de giardiose ou non, participent tout de même à la dissémination du parasite (Berrilli *et al.* 2012). Toutes les études ne s'accordent pas sur ce point. En effet Debenham *et al.* (2017) ont identifié l'assemblage B chez des macaques et les assemblages A et E chez des veaux vivant en contact étroit avec les macaques. Les macaques en question vivant en zone urbaine ou semi-rurale, l'homme n'est pas à exclure comme source dans ce cas.

Par ailleurs, tout comme décrit précédemment, les oiseaux peuvent présenter et disperser les kystes de *G. duodenalis*. L'analyse des fèces de 391 oiseaux sauvages capturés à proximité d'une rivière urbaine au Costa Rica a montré une prévalence variant entre 0,8 et 5,4% pour ces oiseaux (Pérez-Gómez et Rocha 2018).

Dans le Nord de l'Argentine, où la prévalence de la giardiose est haute chez les singes hurleurs mais aussi dans la population humaine locale, Kowalewski *et al.* (2011) estiment que les *A. caraya* jouent le rôle de réservoir.

Enfin, la libération d'animaux captifs dans un environnement peut entraîner l'introduction d'un parasite dans ledit environnement (Thompson, Lymbery, et Smith 2010). Des singes hurleurs contaminés lors de leur passage en captivité pourraient donc être à l'origine de la giardiose dans les populations sauvages.

Dans le cas d'animaux vivant en captivité, l'homme en tant que source est une hypothèse souvent formulée.

Une étude réalisée sur des *A. clamitans* en captivité au Brésil dont la prévalence pour la giardiose est de 100% met en cause le personnel en contact avec les singes et les hommes habitant aux alentours, les chats étant vecteurs. Les animaux sauvages tels que les opossums pourraient également jouer le rôle de vecteurs sachant que l'environnement alentour est certainement contaminé par des Alouates sauvages qui ont été diagnostiqués porteurs de *G. duodenalis* d'après une étude réalisée dans la même zone géographique. (Volotão *et al.* 2008)

Dans une étude réalisée dans le zoo de Zagreb en Croatie, l'assemblage B a été isolé chez les primates et les assemblages A, B, C et D ainsi que *G. microti* ont été isolés chez d'autres mammifères appartenant au zoo. Le génotypage de ces différentes souches de *Giardia sp.* a montré un polymorphisme très important, particulièrement au sein de l'assemblage B. De plus l'analyse phylogénétique de ces souches a montré qu'elles étaient génétiquement différentes de celles isolées chez l'homme et les animaux domestiques. Une telle diversité au sein d'un espace restreint tel qu'un zoo peut surprendre, les auteurs mettent en cause les provenances variées des animaux qui auraient pu être porteurs asymptomatiques, ainsi que la proximité avec l'homme. (Beck *et al.* 2011)

Les sources de *G. duodenalis* sont donc multiples et déterminer l'origine d'une infection n'est pas chose facile. L'identification de l'assemblage est parfois insuffisante et peut amener des hypothèses parfois contredites par la suite par une étude génétique plus approfondie. Le génotypage des souches isolées est un bon outil pour exclure des hypothèses mais il reste encore beaucoup de travail pour comprendre l'épidémiologie de la giardiose.

#### b) Le cas particulier de l'eau

La capacité des kystes de *G. duodenalis* à résister dans l'eau et à certains processus de traitement de l'eau, associé au nombre restreint de kyste nécessaire pour provoquer une infection, rend l'eau une source souvent mise en cause dans les épisodes de giardiose.

Le nombre de kystes retrouvé dans un échantillon d'eau potable traitée peut excéder 1000 kystes/L. Ce nombre peut excéder 88 000 kystes/L dans les échantillons d'eaux usées. Les effluents d'eaux usées produits par l'homme et les animaux domestiques représentent donc une source de contamination sérieuse pour la faune sauvage. (Olson et Buret 2008)

Une étude réalisée au Sud du Brésil a mis en évidence la présence de kystes de *Giardia sp.* dans une rivière et dans un échantillon d'eau traitée. (Nishi *et al.* 2009)

Lara et Carregaro (2009) ont mis en évidence la présence de *G. duodenalis* chez 3 singes du genre *Alouatta* maintenus en captivité au Brésil. Une analyse de l'eau de boisson des singes a également été effectuée en vue de trouver la source de l'infection et est revenue négative pour *G. duodenalis*.

A notre connaissance, aucun cas avéré de contamination de singes hurleurs par l'eau n'a été rapporté. Cependant la sensibilité des méthodes d'analyse de l'eau n'est pas très bonne et les études ayant recherché la présence de kystes de *G. duodenalis* ne sont pas fréquentes.

## 2. Facteurs de réceptivité

### a) Espèce

La giardiose a beau être très fréquente chez les PNHs, il semblerait que les primates du genre *Alouatta* soient particulièrement réceptifs. En effet dans une étude réalisée sur 18 espèces de PNHs vivant dans un zoo au Brésil, seules les 3 espèces du genre *Alouatta* et une espèce d'Atèle présentaient une coprologie positive pour *G. duodenalis*. (David *et al.* 2014)

Une autre étude s'intéressant à la prévalence de la giardiose chez les mammifères endémiques du Brésil a trouvé une prévalence plus élevée chez les mammifères folivores/frugivores avec une différence faiblement significative, or les Alouates ont un régime folivore/frugivore (Santos 2011).

### b) Age

D'après Olson et Buret (2008), la prévalence de la giardiose est plus élevée chez les jeunes individus qui sont immunologiquement naïfs et ont plus tendance à ingérer des matières fécales.

Dans leur étude réalisée sur 50 *A. pigra*, Vitazkova et Wade (2007) n'ont cependant pas mis en évidence de différence significative de prévalence de la giardiose entre juvéniles et adultes.

### c) Sexe

A notre connaissance, aucune prédisposition sexuelle n'a été mise en évidence vis-à-vis de la giardiose chez les singes hurleurs, Vitazkova et Wade (2007) n'ont d'ailleurs pas trouvé de différence significative de prévalence entre mâles et femelles.

### d) Etat de santé

L'état de santé, c'est-à-dire le statut immunitaire et la présence de maladies intercurrentes sont des facteurs pouvant augmenter la réceptivité à la giardiose. Les facteurs influant l'immunité des singes hurleurs ont été décrits dans la partie III.A.3. et sont principalement le stress et le statut nutritionnel. Dans son étude réalisée sur 15 femelles *A. pigra*, Martinez-Mota (2015) n'a cependant pas trouvé de corrélation entre le cortisol fécal de ces singes et la prévalence en parasites gastro-intestinaux (Helminthes et protozoaires).

### e) Microbiote intestinal

Amato *et al.* (2018) suggèrent une corrélation entre richesse de la flore intestinale et parasitisme. Dans leur étude faite sur 26 *A. pigra*, la présence de *Trypanoxyuris minutus* était corrélée avec une flore bactérienne altérée et plus pauvre en termes de diversité bactérienne. Les auteurs mettent en cause certaines communautés de bactéries qui pourraient réduire la colonisation de l'hôte par les parasites. Cependant il est difficile de savoir si c'est la détérioration de la flore qui favorise le parasitisme ou bien la présence du parasite qui détériore la flore bactérienne.

Un régime pauvre en fibres (surtout pour des espèces folivores), la perturbation de son environnement naturel et la captivité modifient et appauvrissent le microbiote des primates (Clayton *et al.* 2016 ; Frankel *et al.* 2019 ; Amato *et al.* 2016). Cela pourrait être une des raisons pour lesquelles ces différents facteurs agissent sur le parasitisme.

### 3. Facteurs favorisants

Chez les PNHs, la charge en eucaryotes gastro-intestinaux est modulée par le comportement de l'hôte incluant la structure sociale, le grooming et les comportements d'évitement des parasites, la proximité avec l'homme et des autres sources de transmission, et des facteurs écologiques (tel que les saisons) (Mann *et al.* 2020).

#### a) Facteurs environnementaux

##### (1) Zone géographique et climat

Les kystes de *Giardia sp.* étant plus résistants en milieu tempéré et humide, il est cohérent d'imaginer que le climat et donc la zone géographique puissent influencer sur la prévalence de la giardiose chez les singes hurleurs.

La comparaison de la prévalence ou de la richesse en parasites des singes hurleurs en fonction de la saison (humide ou sèche) est souvent réalisée avec des résultats variables (Eckert *et al.* 2006; Cristóbal-Azkarate *et al.* 2010; Rondón *et al.* 2017; Gilbert 1995). Cependant les caractéristiques des saisons changent en fonction de la zone géographique (Figure 12), et il semble donc plus pertinent de s'intéresser à l'influence des précipitations ou de la latitude.

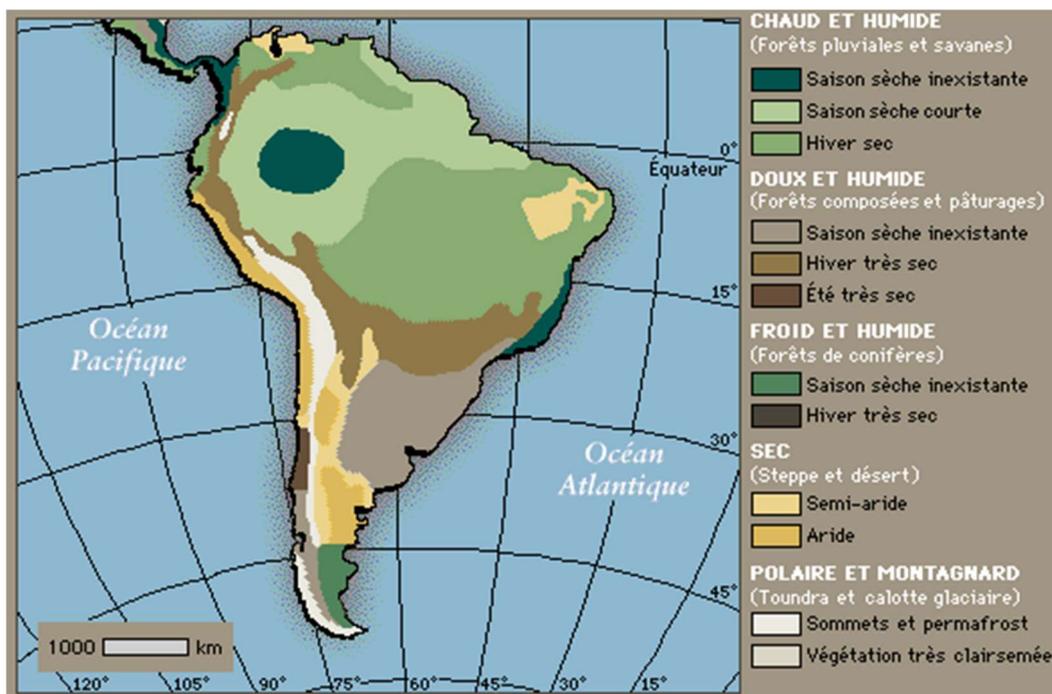


Figure 12 : Climats d'Amérique latine, d'après Encarta

Une influence de la latitude sur le parasitisme chez les PNHs a été décrite par plusieurs publications. Cependant ces publications intégraient dans leurs études les protozoaires transmis par des arthropodes vecteurs (Nunn *et al.* 2005 ; Kowalewski et Gillespie 2009). Nunn *et al.* (2005) ont montré que ce sont en réalité ces protozoaires pour lesquels la prévalence est plus haute lorsqu'on s'approche de l'équateur, les protozoaires gastro-intestinaux ne seraient donc pas concernés. Une étude plus récente (Martínez-Mota, Kowalewski, et Gillespie 2015) n'a pas trouvé de relation entre latitude et prévalence de la giardiose chez les singes hurleurs.

Martínez-Mota (2015), dans son étude réalisée sur 44 *A. pigra* au Mexique dont les échantillons de selles ont été prélevés à plusieurs moments de l'année a corrélé les précipitations saisonnières avec une augmentation de la prévalence en protozoaires. A l'inverse, la méta-analyse réalisée par Martínez-Mota, Kowalewski, et Gillespie (2015) a trouvé une corrélation négative entre précipitations et prévalence de la giardiose chez les singes hurleurs. Les auteurs suggèrent que ce résultat surprenant est dû à l'interaction d'autres facteurs associés aux perturbations anthropogéniques. En effet, les singes hurleurs ont plus tendance à s'abreuver en période de sécheresse y compris dans les abreuvoirs prévus pour le bétail (Dias et Rangel-Negrín 2015; Bicca-Marques 1992). Un tel comportement peut favoriser les infections par *G. duodenalis* en période de moindres précipitations.

## (2) Densité

L'augmentation du nombre d'hôtes d'un parasite fait augmenter la probabilité d'infection via la contamination de l'environnement. (Bonilla Moheno 2002)

Dans une étude réalisée par Stuart *et al.* (1990), il est suggéré que la prévalence d'infections endoparasitaires de *A. palliata* est plus importante dans les populations vivant à haute densité.

Concernant *G. duodenalis*, Vitazkova et Wade (2007) ont montré une corrélation positive entre la densité en primates et la prévalence de la giardiose chez *A. pigra* pendant la saison sèche, ce qui peut s'expliquer par une proximité plus importante entre les individus. Les zones de haute densité animale sont plus susceptibles d'être contaminées par des kystes, ce qui augmente encore la chance de transmission à des hôtes non infectés.

## (3) Proximité avec les activités humaines

Sont appelées « activités humaines » toutes les modifications de la forêt primaire en lien avec l'homme : déforestation, agriculture, élevage, tourisme, habitations... La proximité avec les « activités humaines » sous-entend donc une proximité à la fois avec l'homme, ses déchets et les animaux domestiques (bétail, chiens, chats...).

Dans le cas de parasites non-zoonotiques tels que certains Helminthes, une étude, réalisée sur 65 *A. pigra* vivant en zone de forêt fragmentée au Mexique, a montré que plus les fragments sont proches d'un village, plus la prévalence en parasites des singes est faible. Au vu de ces résultats, les auteurs supposent que la transmission des parasites infectant uniquement les singes hurleurs est interrompue par les activités humaines. (Martínez-Mota *et al.* 2018)

Cependant si on prend en considération le fait que l'homme et les animaux domestiques sont une source potentielle de *G. duodenalis* zoonotique, alors la proximité avec l'homme devrait faire augmenter la prévalence chez les singes.

De nombreuses études ont d'ailleurs mis en évidence un parasitisme plus important chez les singes hurleurs vivant proche d'activités humaines comparé à d'autres groupes qui en sont plus éloignés (Kane et Smith 2019; Martin M. Kowalewski et Gillespie 2009; Chinchilla Carmona *et al.* 2014). Kowalewski *et al.* (2011) s'accordent avec cette hypothèse pour la giardiose chez des *A. caraya*, bien que la prévalence soit haute dans tous les cas.

## (4) Présence d'autres espèces potentiellement porteuses et contacts avec celles-ci

Tout comme pour l'augmentation de la densité, la présence d'hôtes potentiels de *Giardia sp.* autres que les Alouates fait augmenter la probabilité de contamination de l'environnement dans lequel les animaux évoluent. (Bonilla Moheno 2002)

Une étude a mis en évidence que les singes hurleurs (*A. pigra*) et les singes araignée (*Ateles geoffroyi*) vivant en liberté dans la province de Quintana Roo au Mexique, étaient tous deux porteurs de *G. duodenalis*. (Bonilla Moheno 2002)

Vitazkova et Wade (2007) ont trouvé que la prévalence de la giardiose était plus haute chez les *A. pigra* vivant à proximité d'une autre espèce d'Atélidé (*Ateles geoffroyi*) pendant la saison humide. Ces deux espèces partagent le même habitat et sont toutes deux une source possible de *Giardia sp.*, ce qui peut expliquer ces résultats. Cependant le nombre d'échantillons correspondant à cette partie de l'étude est très faible, ce qui ne permet pas d'avoir un résultat significatif.

## (5) Modifications du milieu : fragmentation de la forêt

D'après une méta-analyse réalisée sur les données de 20 articles concernant le parasitisme chez le genre *Alouatta*, il semblerait que le parasitisme ne soit pas corrélé avec la destruction de l'habitat dans lequel évoluent les animaux. (Kowalewski et Gillespie 2009)

Cependant, la déforestation et la fragmentation entraînent de nombreuses modifications de l'habitat des singes hurleurs et chacune de ces modifications aurait un impact sur le parasitisme (Figure 13).

D'après Arroyo-Rodriguez et Dias (2010), la fragmentation de l'habitat entraîne une diminution de la taille des fragments, un isolement des fragments et donc une diminution de l'alimentation disponible, une augmentation des pressions anthropogéniques et des modifications d'interactions avec les autres espèces.

Ainsi, Vitazkova et Wade (2007) ont montré que la présence de campements humains prédisait significativement la fragmentation de la forêt, une augmentation de la densité en primates, et l'absence d'une autre espèce de PNH (*Ateles geoffroyi*) partageant le même habitat que les singes hurleurs étudiés pendant la saison sèche. Tous ces paramètres sont donc corrélés, or la même étude a montré que la prévalence de la giardiose augmentait avec la densité en primates. Par déduction, la prévalence de la giardiose devrait augmenter avec chacun de ces paramètres.

Kowalewski et Zunino (1999) ont mis en évidence le fait que les essences d'arbres exploitées font partie du régime des *A. caraya*, or celles-ci ont quasiment disparu de leur environnement.

D'après Martínez-Mota *et al.* (2007), les singes hurleurs ont tendance à se déplacer plus souvent au sol en forêt fragmentée or, le fait de passer plus de temps au sol rend les singes plus susceptibles de contracter des pathogènes présents dans celui-ci tels que *G. duodenalis*. Une des raisons pour lesquelles les singes se déplacent plus au sol en forêt fragmentée est l'insuffisance en nourriture dans les petits fragments (Bonilla Moheno 2002). Cette augmentation des déplacements au sol les met également en contact plus fréquent avec des installations humaines et rend donc plus probable les infections par des agents zoonotiques présents chez l'homme et les animaux domestiques.

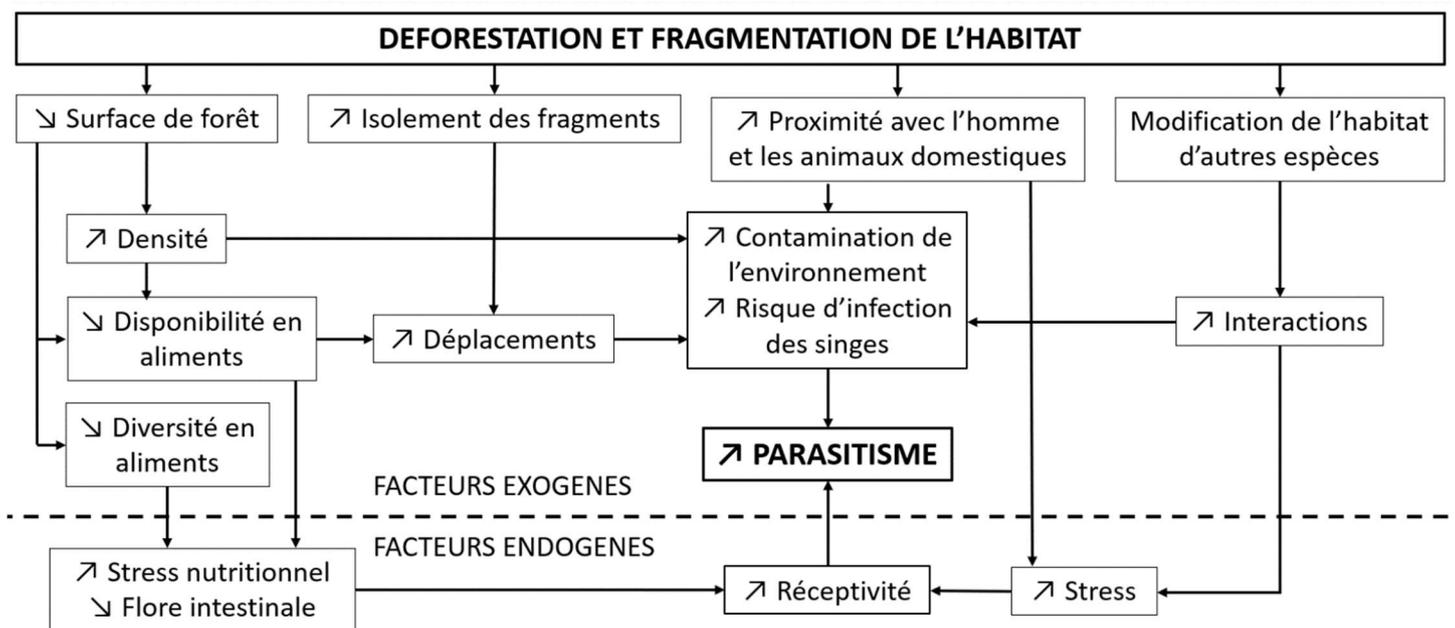


Figure 13 : Schéma récapitulatif des conséquences de la déforestation et de la fragmentation de l'habitat sur le parasitisme des singes hurleurs.

Bien qu'il existe de nombreux facteurs environnementaux faisant varier la prévalence de la giardiose chez les singes, Vitazkova et Wade ont mis en évidence le fait que le facteur le plus important pour prédire si un individu sera infecté par un parasite tel que *Giardia*, est son appartenance à un groupe donné (Vitazkova et Wade 2007). Ce qui veut dire que la probabilité qu'un animal soit infecté par un parasite donné, dépend de si son groupe est lui-même infecté par ledit parasite. La transmission au sein du groupe est donc particulièrement efficace et il semble pertinent de s'intéresser aux facteurs comportementaux propres aux Alouates agissant potentiellement sur la transmission de *G. duodenalis*.

## b) Facteurs comportementaux

### (1) Automédication

La consommation de plantes peut aider les animaux à se protéger contre les parasites via une automédication. Cependant, il n'y a aucune preuve ferme que le genre *Alouatta* ait recours à l'automédication. Stoner et Gonzalez Di Pierro (2006) ont tenté de tester si un niveau élevé de *Ficus sp.* dans l'alimentation d'*A. pigra* est corrélé négativement avec la charge parasitaire. Les données, basées sur seulement 15 individus (11 adultes et 4 juvéniles), suggèrent une diminution du nombre d'œufs ou de kystes de parasites avec l'augmentation du temps passé à se nourrir de *Ficus tecolutensis*, mais le nombre restreint d'échantillons ne permet pas de tirer des conclusions convaincantes.

Il a également été observé la pratique de la géophagie (consommation de terre) chez des populations de singes hurleurs. Une fonction possible de la géophagie serait d'aider à la digestion. Cette hypothèse est supportée par l'observation que, dans certaines populations de singes hurleurs, la géophagie est positivement corrélée avec la consommation de feuilles, surtout pendant la saison sèche. Certains sols consommés par les singes hurleurs sont riches en matière organique et en calcaire, ce qui aiderait à absorber les métabolites secondaires des plantes tels que les tannins, les alcaloïdes et terpenoïdes, et équilibrerait l'acidité gastrique. Les explications alternatives à la géophagie par les singes hurleurs incluent la supplémentation en minéraux et une fonction antiparasitaire interne. Il n'existe cependant à ce jour que très peu de données en faveur de ces hypothèses. (Dias et Rangel-Negrín 2015)

### (2) Coprophagie

Le comportement de coprophagie, comme décrit précédemment, est très efficace dans la transmission de parasites à cycle direct tels que *Giardia* et il amplifie la propagation du parasite au sein d'une population. (Graczyk et Cranfield 2003; Olson et Buret 2008)

Il n'y a, à notre connaissance, pas d'étude rapportant une observation de singes hurleurs avec un tel comportement mais une investigation étudiant le régime de *A. palliata* a mis en évidence une possible coprophagie. (Espinosa-Gómez *et al.* 2013)

### (3) Habitudes de défécation en lien avec le lieu de vie

Il semblerait que les Alouates choisissent leur lieu de défécation avec l'objectif d'éviter le contact de la matière fécale avec leurs aliments et lieu de repos et de transit, ce qui limiterait fortement les infections par *Giardia* et les contagions au sein du groupe. (Delgado 2005 ; Brividoro *et al.* 2019 ; M. Kowalewski et Zunino 2005)

## c) Influence de la captivité

En général les animaux captifs ont accès à un espace plus restreint que ceux vivant en liberté, ce qui favorise la transmission des parasites gastro-intestinaux due à leur concentration dans l'environnement. (Barbosa *et al.* 2015)

En captivité les singes sont nécessairement plus proches des activités humaines, ils peuvent également être détenus proches d'autres espèces potentiellement porteuses d'une souche de *Giardia sp.* qui puisse les infecter.

De plus, il est facilement imaginable que les conditions de détention des Alouates ne soient pas optimales au vu de leur mode de vie arboréal. Un enclos ne disposant pas de suffisamment d'arbres ou dont les mangeoires ne sont pas disposées en hauteur les forcera à passer plus de temps au sol. Ce même problème d'agencement d'enclos peut également les empêcher de délimiter une zone de « latrines » éloignée de leur lieu de repos et d'alimentation.

Tous ces facteurs, combinés à l'augmentation de la réceptivité due au stress et à une potentielle modification de flore intestinale, peuvent expliquer la prévalence généralement haute retrouvée chez les singes hurleurs en captivité.

## Conclusion de l'étude bibliographique

- *Giardia duodenalis* est un parasite protozoaire flagellé ubiquiste dont les kystes sont très résistants dans l'environnement. Le parasite comprend 8 assemblages aux spectres d'hôtes différents. Les assemblages A et B ont un spectre d'hôte très large comprenant un grand nombre de mammifères dont l'homme et les primates non humains. Ces assemblages ont également été retrouvés chez des chats, chiens et du bétail.
- Les singes hurleurs (genre *Alouatta*) sont des primates du Nouveau Monde arboricoles au régime spécialisé folivore et frugivore. Leur aire de répartition est très étendue en Amérique latine. Ainsi les 12 espèces aujourd'hui reconnues vivent dans des habitats variés et ont su s'adapter aux modifications anthropogéniques. La population de singes hurleurs est malgré tout en déclin face à la fragmentation et la destruction de son habitat.
- La giardiose est caractérisée par des signes cliniques intéressant l'appareil gastro-intestinal, cependant le portage asymptomatique est fréquent. Les deux cas ont été décrits chez les singes hurleurs et il semblerait que les signes cliniques apparaissent à la faveur d'un stress ou dans les conditions de la captivité. De nombreux traitements sont disponibles mais les échecs thérapeutiques sont fréquents. L'élimination des kystes de l'environnement est difficile mais essentielle pour éviter les récurrences.
- Le protozoaire a été identifié chez des singes hurleurs vivant en milieu ouvert et en captivité avec des prévalences très variables. Les sources de parasite sont multiples du fait de son spectre d'hôte large et de sa résistance dans l'environnement, et en particulier dans l'eau. De nombreux facteurs augmentent la réceptivité des singes et favorisent potentiellement la transmission de *G. duodenalis*. La fragmentation de l'habitat semble occuper une place prépondérante car elle intègre de nombreux facteurs agissant sur le parasitisme des singes hurleurs. Par ailleurs, les conditions de la captivité entraînent également la plupart de ces facteurs et la vie en captivité est donc un terrain privilégié pour la transmission de la giardiose.

# Partie 2 : Proposition de mesures de gestion de la giardiose en captivité – Exemple d’un centre de réhabilitation de la faune sauvage

Au vu de l’épidémiologie compliquée de la giardiose, la gestion d’un foyer est un défi. Dans cette partie, des mesures de gestion sont proposées en prenant l’exemple du centre de réhabilitation de la faune sauvage Güirá Oga.

Güirá Oga (la maison des oiseaux en Guarani) est un refuge et centre de réhabilitation de la faune sauvage situé au cœur de la forêt de la province de Misiones en Argentine. Il abrite en permanence quelques 300 animaux dont des singes hurleurs *A. caraya*. Faisant face à un problème de diarrhée chronique chez ces singes, attribuée à la présence de *G. duodenalis* dans les selles, les gérants du refuge sont prêts à mettre en place de nouvelles mesures visant à diminuer les contaminations et re-contaminations. Cette partie vise donc à faire un état des lieux de la situation du refuge, d’identifier les facteurs favorisant la giardiose chez les singes hurleurs et proposer des mesures de gestion en conséquence.

## I. Situation géographique du refuge

### A. Localisation : Puerto Iguazú

Le refuge est localisé sur la commune de Puerto Iguazú, au Nord de la province de Misiones en Argentine.

Le terrain de 19 hectares sur lequel se trouve le refuge est catégorisé “Paysage protégé”. Il est bordé par le parc National d’Iguazú, une zone résidentielle, une zone rurale et une zone d’hôtels (Figure 14).

A une échelle plus large, Güirá Oga est entouré d’aires naturelles protégées comme le Parc National d’Iguazú, le Parc provincial Péninsule et d’autres aires protégées du Nord de Misiones qui abritent une biodiversité majeure. (Rivero *et al.* 2017)

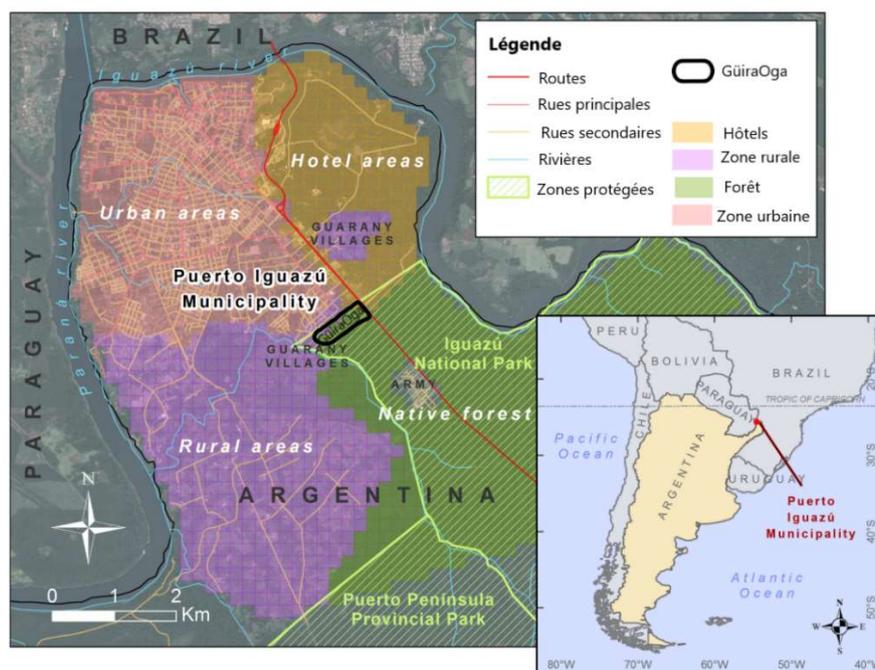


Figure 14 : Localisation de Güirá Oga, adapté de Rivero *et al.* (2017)

## B. Climat

Puerto Iguazú présente un climat doux et humide avec une saison sèche inexistante (Figure 12). Les précipitations sont moyennes à hautes toute l'année : en faisant la moyenne des données enregistrées entre 1982 et 2012, les précipitations mensuelles varient entre 99 et 194 mm. La température moyenne varie entre 16 et 26 °C, la température maximale est enregistrée en janvier et est de 32,3°C (Tableau 7).

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température moyenne (°C)	26	25.6	24.1	20.9	18	16.3	16	18	19.7	21.7	23.6	24.9
Température minimale moyenne (°C)	19.8	19.5	18.2	15	12.2	10.5	9.2	10.8	12.7	14.9	16.7	18.3
Température maximale (°C)	32.3	31.7	30	26.8	23.8	22.2	22.8	25.3	26.8	28.6	30.5	31.6
Précipitations (mm)	163	143	146	150	152	127	99	102	143	194	165	147

Tableau 7 : Tableau climatique de Puerto Iguazú, données enregistrées entre 1982 et 2012 (Climate-Data.org s. d.)

## C. Population

La population d'Iguazú fait partie de celles dont la croissance est la plus rapide d'Argentine ces 10 dernières années, ce qui a entraîné une transformation rapide des zones urbaines et rurales. De plus, la population de la région est l'une des plus pauvres du pays. Enfin, la confluence d'immigrants européens, de populations métisses et des communautés autochtones *Mbyá-Guaraní*, suggère une grande diversité socio-culturelle, une hétérogénéité de conditions socio-économiques et une inégalité dans l'accès au système de santé des résidents de la région. L'importance épidémiologique d'Iguazú est d'autant plus grande que la ville est frontalière avec le Paraguay et le Brésil, deux pays à la prévalence élevée en protozoaires intestinaux. Sans oublier l'affluence touristique liée à la présence des chutes d'Iguazú, une des nouvelles Merveilles Naturelles du Monde. (Rivero *et al.* 2017)

L'étude de Rivero *et al.* (2017), réalisée au sein de la municipalité de Puerto Iguazú sur des échantillons de fèces de 483 enfants asymptomatiques vivant dans différents quartiers, a révélé une prévalence de 29% pour *G. duodenalis*, le protozoaire étant le parasite gastro-intestinal le plus retrouvé chez ces enfants.

## D. Présence du parasite au sein de l'environnement

La même étude de Rivero *et al.* (2017) a cherché la présence de parasites dans 530 échantillons de selles fraîches de chiens et 744 échantillons de sol ramassés dans les différents quartiers de Puerto Iguazú. *Giardia sp.* a été retrouvée dans 6,9% des selles de chiens mais n'a pas été retrouvée dans les échantillons de sol. Cette absence de kyste dans les échantillons de sol peut être liée au fait que les zones choisies étaient libres de végétation, rendant le sol éventuellement plus sec, or les kystes de *Giardia sp.* sont sensibles à la sécheresse.

Rivero *et al.* (2017) ont également trouvé que les foyers ayant accès à l'eau courante avaient plus de chances d'héberger des enfants infectés par un ou plusieurs parasites gastro-intestinaux. Les auteurs ont associé ce résultat à la prévalence élevée de *G. duodenalis* chez ces enfants et émettent l'hypothèse d'une contamination de l'eau courante par le protozoaire.

A notre connaissance, aucune étude rapportant une analyse de l'eau de la zone de Puerto Iguazú n'a été menée. L'absence de connaissance des assemblages affectant les chiens et les hommes limite également l'interprétation de l'étude décrite précédemment. D'autres études ont par ailleurs identifié les assemblages A et B chez des hommes et l'assemblage B chez un chien en Argentine (Feng et Xiao 2011).

## II. Présentation du centre de réhabilitation

Güirá Oga a été fondé en 1997 par Jorge Anfuso et Silvia Elsegood, naturalistes et spécialistes de la réhabilitation des rapaces, actuels directeurs du refuge. Le refuge a pour missions le sauvetage des animaux endémiques de la région, leurs réhabilitation et libération quand cela est possible et enfin, l'éducation des populations locales et des touristes sur la nécessité de protéger cette faune via des visites guidées du refuge.

### A. Installations

#### 1. Le refuge

Le refuge comprend plusieurs bâtiments : une clinique vétérinaire, une zone de quarantaine, un hangar servant à la maintenance de l'ensemble des équipements du refuge et un bâtiment servant à l'élaboration des repas des animaux.

La clinique vétérinaire située à l'intérieur du refuge est annexée à un ensemble de cages permettant l'hospitalisation de petits animaux nécessitant des soins. La clinique est entre autres équipée d'une machine d'anesthésie volatile, d'un microscope et d'un appareil à radiographie argentique.

Les enclos sont intégrés dans l'environnement du refuge et seulement une partie d'entre eux est à la vue du public.

Vu du ciel, il est difficile de distinguer les installations de GüiráOga car le centre de réhabilitation a été pensé pour s'intégrer dans son environnement en l'impactant le moins possible (Figure 15).



Figure 15 : Vue satellite de Güirá Oga, en blanc la délimitation du refuge. (<https://www.guiraoga.com.ar/presentacion>)

#### 2. L'île Palacio

L'île Palacio, déclarée Monument Naturel Provincial, est située dans la Parc National d'Iguazú à environ 40km du refuge. Elle abrite une faune et une flore de grande valeur exclusivement endémiques d'Argentine. C'est donc un lieu idéal pour la libération d'animaux reçus et réhabilités au refuge. De plus, une station biologique y est installée pour pouvoir surveiller l'évolution de certains animaux relâchés sur l'île. La surveillance s'effectue via la pose d'émetteurs radio sur les animaux ou grâce à des pièges photographiques.

## B. Personnel

Les créateurs et directeurs du centre, Silvia et Jorge Anfuso, épaulés par leurs filles Mara et Marina Anfuso, s'occupent de la partie administrative et veillent au bon fonctionnement du refuge.

Deux vétérinaires sont employés continuellement. En février 2020, période à laquelle a eu lieu cette étude, il s'agissait de Dante Di Nucci (DVM/MSc) et Gabriel Acevedo (DVM).

Une dizaine de soigneurs (non diplômés) assurent le nettoyage des enclos et l'alimentation des animaux. Les enclos en charge d'un soigneur peuvent varier chaque jour en fonction des personnes présentes et varient également en fonction de leur expérience. Ils ont la charge de prévenir les personnes compétentes en cas d'anomalie (ce sont par exemple eux qui alertent les vétérinaires si un animal est malade ou s'ils repèrent des selles anormales).

Entre 2 et 5 employés assurent la maintenance du refuge et la construction de nouveaux enclos et une dizaine d'employés assurent l'accueil des visiteurs et les visites guidées.

Les soigneurs sont donc les personnes qui ont le plus de risques de transporter et transmettre des kystes car ils entrent quotidiennement à l'intérieur des enclos des animaux et manipulent leur nourriture.

## C. Fonctionnement du refuge

### 1. Admission des animaux

Les animaux accueillis à Güirá Oga ont des provenances diverses. Une partie est issue de saisies du trafic illégal de faune sauvages ou sont cédés volontairement par des particuliers qui les détenaient en tant qu'animaux domestiques. D'autres ont été trouvés blessés ou renversés sur la route. Enfin sont reçus les juvéniles qui ont été séparés de leur mère.

#### a) *Attention vétérinaire*

A leur admission les animaux passent systématiquement entre les mains des vétérinaires qui réalisent un examen complet de l'animal. Certains nécessitent une intervention d'urgence, d'autres sont euthanasiés au vu de leur état. Les individus nécessitant une vigilance et des soins réguliers sont hospitalisés au sein de la clinique vétérinaire ou en quarantaine en fonction des installations nécessaires à leur manipulation.

Les animaux dont l'état de santé n'est pas préoccupant sont transférés en quarantaine.

#### b) *Quarantaine*

La quarantaine est un passage obligatoire pour s'assurer de l'absence d'affections chez les animaux avant leur transfert dans un enclos en contact avec d'autres animaux ou leur libération.

Un protocole de vermifugation adapté à chaque animal y est réalisé sous contrôle coproscopique. Les vétérinaires performant également une tuberculination chez les primates et d'autres mammifères réceptifs à la tuberculose avant leur libération.

#### c) *Récupération*

Une fois la période de quarantaine terminée les animaux blessés sont transférés en enclos de récupération. Leurs lésions y sont contrôlées quotidiennement par les vétérinaires.

#### d) *Réhabilitation*

Une fois la période de quarantaine passée et les animaux en bon état de santé, vient le passage en enclos de réhabilitation. Ces enclos sont plus grands que les précédents et tentent de reconstituer l'habitat naturel des espèces qu'ils accueillent. Les individus d'une même espèce sont regroupés en fonction du mode de vie de l'espèce et des affinités entre les individus.

L'observation des animaux au sein de ces enclos déterminera la conduite à suivre par la suite.

#### e) Libération

Le retour des animaux à leur milieu naturel est l'objectif principal du refuge. Beaucoup d'obstacles s'opposent cependant à celui-ci. En effet de nombreux individus admis au refuge ne sont pas en capacité d'être libérés par la suite. La sévérité de certaines lésions empêchera certains de recouvrir les capacités nécessaires à leur survie dans la nature. Pour d'autres, la vie en tant qu'animal domestique les aura trop éloignés de leur comportement naturel, ce qui nuirait à leur survie s'ils étaient libérés. Les animaux imprégnés peuvent également représenter un danger pour l'homme. Seuls les animaux ayant recouvert toutes les capacités nécessaires à leur survie en milieu naturel et ne représentant pas de danger pour l'homme sont libérés.

La libération des animaux peut se faire à divers endroits. Une partie des oiseaux et petits mammifères sont relâchés au niveau de l'aire d'envol, au sein même du refuge. Une autre partie est transférée à l'île Palacio où ils séjournent quelques temps en enclos d'acclimatation puis sont libérés sur l'île. C'est le cas des singes hurleurs qui sont ensuite relâchés sur l'île une fois un groupe cohérent formé. Un suivi des animaux libérés est ensuite effectué.

#### f) Reproduction en captivité

Certains des animaux qu'il est impossible de libérer sont alors intégrés dans des programmes de reproduction et c'est leur descendance qui est ensuite relâchée. Plus de 100 exemplaires de Tinamou solitaire (*Tinamus solitarius*), un oiseau en danger d'extinction, ont ainsi pu être relâchés.

Les singes hurleurs se reproduisent également avec succès au sein du refuge (Figure 16).



Figure 16 : Couple de singes hurleurs et leur petit né à Güirá Oga (Crédit photo Malena Ceriani)

#### g) Education environnementale

Le refuge propose des visites guidées au public et aux écoles avoisinantes. C'est à la fois un moyen de sensibiliser à la conservation de la faune sauvage et un revenu non négligeable.

Les hôtes permanents, dont certains, comme les singes hurleurs, participent à la reproduction, vivent dans des enclos sur le parcours de la visite et participent donc à l'éducation des visiteurs.

Mis à part certains enclos occupés par des résidents permanents, la majorité des animaux occupe différents enclos au cours de leur séjour à Güirá Oga et la majorité des enclos voit leurs habitants varier régulièrement.

## 2. Mesures d'hygiène

Le nettoyage des enclos est réalisé tous les jours une fois par jour. Les excréments sont ramassés et jetés, les zones portant des traces d'excréments sont nettoyées. Un pédiluve contenant de l'eau de javel est installé à l'entrée de chaque enclos. Le matériel de nettoyage (balais, pelle) est attribué à chaque enclos ou complexe d'enclos et est nettoyé à l'eau et désinfecté à l'eau de javel à chaque utilisation. Les sacs poubelles contenant la litière et les excréments sont fermés et jetés tous les jours.

Les gamelles et les plateformes recevant la nourriture et l'eau sont nettoyés chaque jour. Les fruits sont lavés à l'eau avant découpe et les personnes effectuant la découpe portent des gants à usage unique.

Les soigneurs sont équipés de bottes imperméables qu'ils portent uniquement au sein du refuge et qu'ils lavent tous les jours. Des chaussures spécifiques sont à disposition à l'entrée de la quarantaine et de la clinique vétérinaire pour toute personne y entrant.

Dans la clinique vétérinaire les tables sont désinfectées avec un ammonium quaternaire et les mesures de biosécurité de base sont respectées (port de gants à usage unique, de masque, lavage des mains ...)

## D. Espèces présentes et réceptives à *G. duodenalis*

### 1. Détenues au refuge

Le refuge abrite plus de 300 individus appartenant à plus de 50 espèces différentes, principalement des oiseaux. Les espèces de mammifères présents au sein du refuge sont listées dans le tableau 6. La majorité d'entre elles sont susceptibles d'être infectées par *G. duodenalis*, à part peut-être les Coendous épineux qui, appartenant à l'Ordre des rongeurs, sont plus susceptibles d'héberger *G. muris* ou *G. microti*. Bien qu'à notre connaissance, aucune étude ne rapporte de giardiose chez certaines espèces de mammifères présentes au centre, il n'est pas exclu que cela arrive car de nombreuses espèces ont déjà été infectées par le protozoaire (Beck *et al.* 2011). Les vétérinaires ont déjà observé des organismes flagellés faisant penser à des trophozoïtes de *Giardia sp.* chez plusieurs animaux du refuge, cela n'a jamais été confirmé par l'identification de kystes.

Les assemblages A et B, qui sont ceux majoritairement trouvés chez les primates, ont déjà été identifiés chez 3 espèces de mammifères non-primates détenues au refuge (Tableau 8).

Espèce		<i>G. duodenalis</i> déjà isolé ? (Assemblage)	Référence
<u>Ordre des Primates</u>			
<b>Singe hurleur</b>	<b><i>Alouatta caraya</i></b>	OUI (A, B)	cf Partie bibliographique Levecke <i>et al.</i> 2007
Sapajour noir	<i>Cebus nigrinus</i>	OUI	
<u>Ordre des Carnivores</u>			
Coati commun	<i>Nasua nasua</i>	OUI (A)	Beck <i>et al.</i> 2011
<b>Raton crabier</b>	<b><i>Procyon cancrivorus</i></b>		
<b>Martre à tête grise</b>	<b><i>Eira barbara</i></b>		
<b>Loutre à longue queue</b>	<b><i>Lontra longicaudis</i></b>	OUI	Borges <i>et al.</i> 2018
<b>Ocelot</b>	<b><i>Leopardus pardalis</i></b>		
<b>Jaguarondi</b>	<b><i>Puma yagouaroundi</i></b>		
<b>Puma</b>	<b><i>Puma concolor</i></b>	OUI	Olson et Buret 2008
<u>Ordre des Artiodactyles</u>			
<b>Pécari à collier</b>	<b><i>Pecari tajacu</i></b>	OUI (A,C)	Beck <i>et al.</i> 2011
Pécari à lèvres blanches	<i>Tayassu pecari</i>	OUI	Farret <i>et al.</i> 2010
<b>Daguet nain du Brésil</b>	<b><i>Mazama nana</i></b>		
<u>Ordre Pilosa</u>			
<b>Fourmilier à collier</b>	<b><i>Tamandua tetradactyla</i></b>	OUI (B)	Solarczyk et Majewska 2011
<u>Ordre des Didelphimorphes</u>			
Opossum à oreilles blanches	<i>Didelphis albiventris</i>	OUI	Zanette <i>et al.</i> 2008
<u>Ordre des Rongeurs</u>			
Coendou épineux	<i>Sphiggurus spinosus</i>		

Tableau 8 : Espèces de mammifères présentes au refuge en février 2020 (en gras les espèces dont au moins un individu est résident permanent du refuge)

## 2. Sauvages

Le refuge jouxtant le parc National d'Iguazú et étant lui-même une zone naturelle conservée, de nombreux animaux sauvages le traversent où y habitent potentiellement.

Parmi elles, des singes hurleurs sont régulièrement observés passant d'arbre en arbre ou même au sol traversant des chemins à l'intérieur du refuge.

## E. Population de singes hurleurs, répartition et alimentation

Les singes hurleurs présents au sein du refuge font tous partie de l'espèce *A. caraya*.

En février 2020, 10 individus vivaient au refuge répartis dans 4 enclos. Les adultes, 4 mâles et 2 femelles proviennent du zoo de Temaikèn, dans la province de Buenos Aires. Deux couples ont été formés, chacun a eu un petit en 2019. Mateo et Alo (Tableau 9) sont deux jeunes singes arrivés au refuge séparément, anciennement détenus par des particuliers. Mateo a été libéré sur l'île Palacio avec un groupe de singes hurleurs et a été réintégré au refuge définitivement à la suite d'une morsure par un singe sauvage qui l'a rendu handicapé. Adul est âgé et souffre de cataracte, ce qui rend ses déplacements en hauteur plus risqués, c'est pourquoi il vit dans l'enclos 3.

	<b>Enclos 1 : L'île</b>	<b>Enclos 2 : La passerelle</b>	<b>Enclos 3 : Adul</b>	<b>Enclos 4 : Mateo et Alo</b>
Adultes	2	3	1	
Juveniles <6mois	1	1		
Juveniles >6mois				2
Total	3	4	1	2

Tableau 9 : Composition des enclos des singes hurleurs

Les juvéniles issus de la reproduction des 2 couples et Alo sont destinés à être libérés. La répartition au sein des enclos est détaillée dans le tableau 7.

Les singes de l'enclos 1 cohabitent avec une espèce d'oiseau, le Tinamou solitaire, se déplaçant principalement au sol (Figure 17).



Figure 17 : Tinamou solitaire (*Tinamus solitarius*) vivant dans l'enclos 1 (Crédit photo Gabriel Acevedo)

Les enclos 1 et 2 sont visibles du public et au moins 3m les séparent des enclos les plus proches.

Les enclos 3 et 4 ne sont pas visibles du public, les pensionnaires de ces enclos et des enclos alentours changent régulièrement. L'enclos 3 est situé dans une zone où plusieurs enclos sont mitoyens, séparés par un mur en tôle les uns des autres. Les enclos alentours sont occupés par des singes capucins et des coatis. Enfin l'enclos 4 est situé proche de l'aire de quarantaine et l'enclos adjacent était occupé par des oiseaux au moment de l'étude.

Les singes sont nourris une fois par jour le matin et la nourriture reste à leur disposition au cours de la journée. Leur régime est composé de fruits, de légumes, de feuilles et d'œufs de caille. Les feuilles sont issues de branches coupées dans les arbres natifs de la forêt environnant le refuge. La composition du régime en fruits et légumes peut varier légèrement mais est principalement à base de pomme de terre, banane, pomme et parfois carotte. Les fruits et légumes sont coupés en quartiers et les œufs sont coupés en deux. Le tout est disposé dans 2 ou 3 mangeoires disposées sur des plateformes en hauteur, les branches sont également disposées en hauteur et attachées de sorte qu'elles ne tombent pas au sol.

Les *A. caraya* ont un régime principalement folivore dans la nature (Dias et Rangel-Negrín 2015). Le régime des *A. caraya* au refuge en février 2020 a été modifié en mars pour augmenter l'apport de feuilles, aucune différence notable n'a été remarquée chez les singes depuis ce changement.

## F. Structure des enclos et comportements associés

Bien que Güirá Oga ait été prévu pour accueillir des oiseaux, le premier animal à avoir été officiellement admis était un singe hurleur *A. caraya*. Petit à petit les enclos prévus pour les oiseaux ont été comblés par d'autres animaux. De nouvelles infrastructures ont ensuite été construites.

Du fait de son passé, certains enclos utilisés pour les singes au refuge ne sont pas tout-à-fait adaptés à l'espèce qu'ils accueillent.

Le sol des enclos est constitué d'une sorte de terre battue.

L'enclos 1 est une île, délimitée donc par de l'eau. S'y trouve une végétation dense mais pas de grands arbres. Les singes se déplacent sur des branches disposées en hauteur et qui supportent plusieurs plateformes, utilisées pour disposer la nourriture, ainsi qu'un abri (Figure 18). L'eau disposée pour leur abreuvement est issue d'une petite cascade légèrement surélevée mais située proche de branches, les contaminations de cette eau par des déchets d'alimentation ou par des matières fécales est donc possible. Les singes se positionnent habituellement à un endroit précis pour déféquer, de sorte que les fèces tombent dans une zone délimitée libre de végétation. Ils sont très rarement observés au sol.



Figure 18 : Enclos 1 (Crédit photo Gabriel Acevedo)

L'enclos 2 est circulaire et limité dans l'espace par un grillage qui forme un globe, limitant la hauteur des installations s'y trouvant (Figure 19). La végétation qui s'y trouve se limite à quelques fougères et arbustes décoratifs. La structure sur laquelle évoluent les singes est faite de poteaux, cordes, échelles, plateformes et d'un abri. L'eau et la nourriture sont disposées sur des plateformes en hauteur. Les singes défèquent généralement depuis la même branche mais la zone correspondante au sol est plus étendue que pour l'enclos 1 et il n'est pas rare de trouver des excréments ailleurs et même sur des éléments de structure. Les individus s'y trouvant sont régulièrement observés au sol.

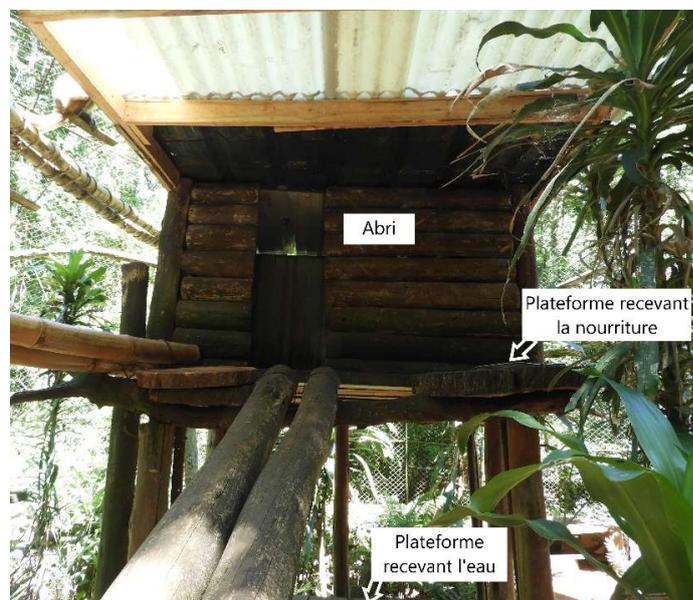


Figure 19 : Enclos 2 (Crédit photo Gabriel Acevedo)

Les enclos 3 et 4 sont des enclos rectangulaires de taille réduite sans végétation contenant des palos horizontaux, des plateformes recevant l'eau et la nourriture et une plateforme servant d'aire de couchage (Figures 20 et 21).

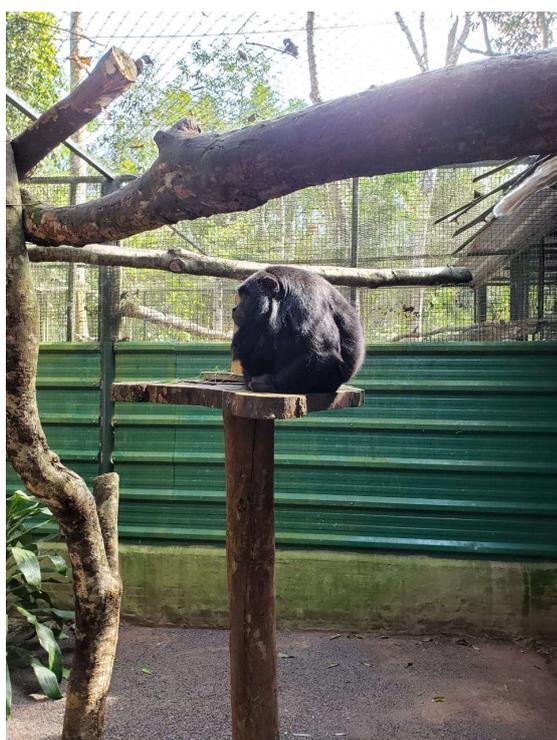


Figure 20 : Enclos 3 - Adul



Figure 21 : Enclos 4 (Crédit photo Julián Gonzalez)

### III. Le problème de la giardiose chez les singes hurleurs

#### A. Méthode diagnostique

##### 1. Coproscopie directe

A chaque fois qu'un soigneur rapporte la présence de selles diarrhéiques dans un enclos, les vétérinaires performant une coproscopie sur l'échantillon de selle par microscopie directe et par flottation si rien n'a été observé en direct.

Dans le cas des singes hurleurs, des trophozoïtes sont systématiquement visibles dans les échantillons de selles molles ou liquides. Il est parfois difficile de dire s'il s'agit de trophozoïtes de *Giardia sp.* ou d'autres flagellés.

##### 2. Coproscopie avec sédimentation di-phasique

Afin de confirmer l'identification de *G. duodenalis* chez les singes hurleurs, j'ai recherché les kystes microscopiquement après avoir réalisé une technique de sédimentation. La technique suivie est celle réalisée au laboratoire Centrolab de Puerto Iguazú par la biochimiste Maria Gabriela Cáceres pour la recherche de la giardiose chez des patients humains. Il s'agit d'une technique de sédimentation di-phasique au formol et à l'éther.

Pour cela des échantillons de selles ont été ramassés au sol dans chaque enclos pendant 3 jours consécutifs en février 2020 et conservés dans du formol à 10%. Les selles correspondantes à chaque enclos étaient conservées dans une boîte hermétique étiquetée et conservée au frais. La coproscopie a été réalisée moins de 3 jours après récolte. Le protocole utilisé pour analyser ces échantillons est le suivant :

- Homogénéiser le contenu de chaque boîte (mélange de selles ramassées sur 3 jours et environ 20mL de formol à 10 %)
- Filtrer à l'aide d'une passoire avec deux épaisseurs de gaze.
- Récupérer 7 mL du filtrat et les introduire dans un tube à centrifuger de 15 mL.
- Ajouter 3 mL d'éther puis agiter. Les éléments lipidiques se positionnent au niveau de l'éther, ce qui permet de dégraisser le prélèvement.
- Centrifuger à 3000 tours par minute pendant 5 minutes.
- Les trois phases supérieures sont éliminées par retournement du tube : la phase superficielle contenant l'éther et emprisonnant les graisses, la couche intermédiaire épaisse formée de divers débris lipophiles et la phase contenant le formol.
- Seul le culot contenant les kystes de protozoaires est gardé. Il est récupéré à l'aide d'une pipette et déposé entre lame et lamelle.
- La lecture au microscope optique est réalisée à l'objectif x 20 pour l'observation de l'ensemble de la lame puis à l'objectif x 40 pour l'identification des kystes de *Giardia sp.*

L'identification des kystes a également été réalisée sous la supervision de Maria Gabriela Cáceres.

#### B. Apparition et Evolution

Les signes cliniques évoquant la giardiose sont apparus chez les adultes *A. caraya* après leur arrivée au refuge en 2015, aucun problème connu de diarrhée ou de giardiose n'était rapporté par le zoo de Temaikèn. Les singes ont rapidement développé une diarrhée chronique récidivante avec des éléments muqueux dans les selles. La présence de trophozoïte en coproscopie directe a fait suspecter *Giardia sp.* et des traitements au métronidazole (dose et durée inconnues) ont été réalisés, faisant disparaître les signes cliniques mais pas la présence du parasite. Un autre traitement à base de Nitaxozanide a ensuite été utilisé (cf III. C) avec un résultat identique.

En 2019, les petits des 2 couples de *A. caraya* ont développé un même cadre clinique comprenant diarrhée, déshydratation, faiblesse et anorexie. Des traces de sang ont été retrouvées dans les selles de l'un d'eux et encore une fois des trophozoïtes ont été observés par coproscopie directe. Malgré l'hospitalisation et les soins apportés, les 2 petits sont morts des suites de leur maladie. L'hypothèse diagnostique dans ce cas est une infection par une entérobactérie, favorisée par la fragilisation de la muqueuse intestinale par *G. duodenalis*.

En août 2019, Moncho, l'un des mâles adultes vivant dans l'enclos 2 a montré des signes de faiblesse associée à de la déshydratation et de la diarrhée. Giardia a encore été incriminée par les vétérinaires comme l'une des causes de ce cadre clinique après analyse des selles. Moncho a été gardé en observation dans un enclos individuel facilitant l'administration de médicaments et a retrouvé un bon état général après quelques jours.

En février 2020, les singes des enclos 1 et 2 continuaient à présenter des selles molles à liquides de façon régulière (Figure 22). Une coproscopie avec enrichissement par sédimentation a été réalisée sur des échantillons de selles de tous les enclos. Les selles récoltées dans les enclos 1 et 2 étaient alors molles ou pâteuses, celles des enclos 3 et 4 fermes. Aucun singe ne présentait d'autres signes cliniques évocateurs de giardiose. Tous les échantillons sont revenus positifs à *G. duodenalis* et des kystes d'amibes ont également été observés dans tous les enclos (Figure 23).



Figure 22 : Fèces liquides observées dans l'enclos 1  
(Crédit photo Gabriel Acevedo)

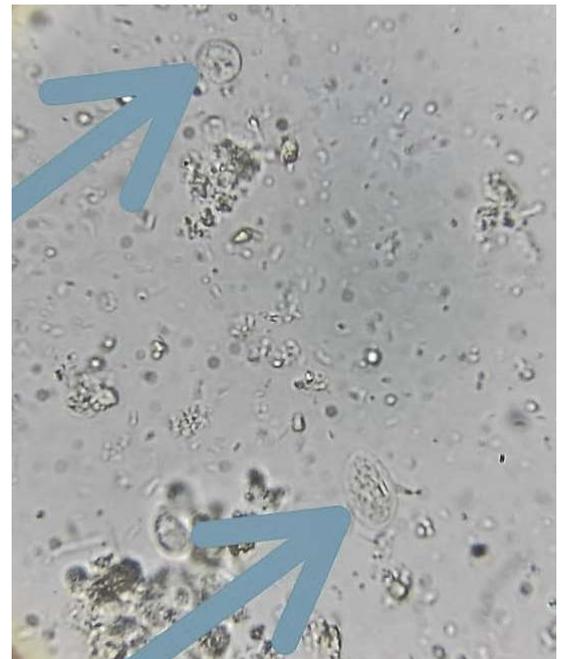


Figure 23 : Kyste de *G. duodenalis* (en bas) et d'amibe non identifiée (en haut) (Photo personnelle)

La même méthode a été utilisée pour analyser les selles des Sapajous noirs, l'autre espèce de primate vivant dans un enclos proche de l'enclos 3, et aucun kyste de protozoaire n'a été observé.

### C. Traitement antiparasitaire mis en place

Les singes hurleurs reçoivent régulièrement un traitement contre les parasites internes visant particulièrement les protozoaires. Le traitement le plus souvent administré en février 2020 consistait en un demi-comprimé de NIXORAN 500 ND (Nitazoxanide), soit environ 25mg/kg, par voie orale une fois par jour pendant 3 jours. Les vétérinaires sont passés à 7 jours d'administration par la suite, suivant ainsi les recommandations de Gamble (2018). Afin de faciliter son administration, le demi-comprimé est réduit en poudre et mélangé à de la nourriture appétente en portion individuelle. Chaque portion est ensuite donnée individuellement aux singes sous l'observation d'au moins une personne qui s'assure que chaque individu a reçu sa portion. Les contrôles coproscopiques effectués à la fin du traitement montrent toujours la présence de trophozoïtes dans les selles.

Afin de limiter la fréquence des traitements, les singes reçoivent ce traitement antiparasitaire uniquement lorsque les animaux présentent une diarrhée liquide et non lorsque les selles sont pâteuses. Lorsqu'un animal est malade au sein d'un enclos, ce sont tous les animaux de l'enclos qui sont traités.

Les vétérinaires émettent l'hypothèse que les singes développent des signes cliniques lorsque leur charge parasitaire est trop élevée. L'objectif de l'administration de ce traitement est donc de limiter la charge parasitaire et éviter un cadre clinique plus grave.

En cas de présence d'organisme flagellés à la coproscopie d'autres mammifères, les vétérinaires administrent une spécialité vétérinaire à base de fébantel et tortrazuril. Le choix du NIXORAN ND ou de cette spécialité en fonction des animaux est arbitraire. Après avoir longtemps utilisé le métronidazole, ils ont pris l'habitude d'administrer du NIXORAN ND aux singes hurleurs.

## D. Risques associés

Il y a un risque que *G. duodenalis* soit transmise aux autres animaux du refuge, ainsi qu'au personnel. La présence de kystes dans l'environnement peut également entraîner une contamination des eaux usées et, dans le cas où le traitement des eaux usées n'est pas efficace pour supprimer les kystes, contaminer les plans d'eau environnants (Pastor-Nieto 2015). Le refuge étant à la fois proche de la ville et d'un parc naturel, les animaux domestiques et les animaux sauvages à proximité peuvent être touchés par une telle source de contamination.

L'objectif de Güirá Oga est de libérer les animaux lorsque cela est possible. Alo et les deux petits nés au refuge sont destinés à être libérés et sont probablement tous porteurs de *G. duodenalis*. Or le potentiel pouvoir pathogène de *G. duodenalis* peut occasionner des répercussions négatives pour la conservation de ces primates et de la faune sauvage après leur libération du fait de la possibilité de le transmettre à d'autres espèces. (Montoya *et al.* 2013)

## E. Facteurs favorisants

### 1. La situation du refuge

Le climat d'Iguazú, humide toute l'année (Figure 10), favorise la résistance des kystes dans l'environnement.

La localisation du refuge sur la municipalité d'Iguazú, dont la population et les chiens présentent une prévalence élevée de giardiose, peut également avoir un rôle. En effet la majorité du personnel travaillant dans le refuge vit à Puerto Iguazú et peuvent être source directe de contamination des singes. De plus, certains viennent au refuge à pied en traversant des zones où vivent de nombreux chiens errants, il est donc possible qu'ils transportent des kystes via leurs chaussures.

### 2. Les enclos

En liberté les singes hurleurs occupent de très vastes domaines, en captivité cela est impossible et la probabilité de contamination fécale du sol et des éléments intégrés dans les enclos est donc augmentée (Pastor-Nieto 2015). De plus, les éléments intégrés dans les enclos étant en hauteur et les soigneurs disposant d'un temps limité pour nettoyer les enclos, ils se trouvent rarement nettoyés. Par ailleurs, la résistance des kystes dans un sol en terre, comme c'est le cas dans les enclos des singes hurleurs, est plus élevée que sur un sol en ciment (Montoya *et al.* 2013). D'autant plus que les soigneurs ont beau enlever les excréments avec une pelle et un balai, il est impossible de le nettoyer correctement et encore moins le désinfecter.

La position de l'eau en contrebas d'éléments où transitent les singes dans l'enclos 1 rend les contaminations fécales de l'eau très probables.

Les oiseaux présents dans l'enclos 2 passant la majorité de leur temps au sol, ils peuvent facilement disperser les fèces et donc les kystes présents dans les fèces sur toute la surface de l'enclos. Or l'agencement de l'enclos fait que les singes ont tendance à passer du temps au sol, les infections par ce biais sont donc très probables.

### 3. Les facteurs liés à la captivité

Comme expliqué dans la partie bibliographique, plusieurs facteurs agissent sur la réceptivité et la sensibilité des singes à la giardiose, tels que le stress, l'alimentation et la flore intestinale. Tous ces facteurs sont modifiés en captivité, favorisant les infections parasitaires et les signes cliniques qui y sont associés.

## IV. Quels moyens de gestion dans ce cas ?

Une fois présent dans un environnement, il est très difficile d'éradiquer un parasite tel que *Giardia sp.* En général, et c'est le cas pour la giardiose chez les singes hurleurs présents au refuge, le contrôle pharmacologique des protozoaires est ardu. Dans le cas où les animaux porteurs restent asymptomatiques, leur présence est souvent acceptée en mettant en place des mesures de gestion (Berrilli *et al.* 2012). Dans le cas de Güirá Oga, il semblerait que les singes hurleurs restent asymptomatiques tant que la charge parasitaire est faible, les mesures de gestion vont donc viser à réduire la charge parasitaire des singes et éviter les transmissions.

### A. Déterminer les sources

#### 1. Analyses de l'ensemble des résidents du zoo, du personnel et de l'environnement

Afin de savoir à quels domaines il faudrait appliquer des mesures de protection contre la giardiose, déterminer les sources de *G. duodenalis* au sein du refuge semble être le premier pas.

En supposant que l'unique source soit les singes hurleurs, il faudrait pouvoir expliquer pourquoi les 4 enclos, dont les singes ne sont pourtant pas en contact, soient tous contaminés. Le fait que tous les enclos 1, 2 et 3 soient contaminés peut s'expliquer par le fait que les adultes de ces 3 enclos ont la même provenance et ont donc pu partager un même environnement. Adul a séjourné quelques temps sur l'île Palacio, tout comme Mateo quelques années après. Cette île a pu être contaminée par Adul, contamination qui s'est perpétrée via les différentes populations de singes relâchés et qui a pu atteindre Mateo, d'où la présence de *Giardia* dans l'enclos 4. Tout cela reste cependant très hypothétique et il convient de rechercher d'autres sources.

Pour identifier les principales sources, il faudrait analyser, avec les méthodes appropriées, l'eau, les aliments, les selles de l'ensemble du personnel, le sol de tous les enclos et les selles des mammifères.

D'autres sources possibles sont les animaux sauvages infectés ou juste porteurs « mécaniques » de *Giardia sp.* se déplaçant librement dans le refuge (Berrilli *et al.* 2012). Il semble cependant difficile de recueillir des selles de tous ces animaux, ce n'est donc pas la priorité dans le cas de Güirá Oga.

#### 2. Déterminer l'assemblage des échantillons positifs

Déterminer les assemblages présents permet d'avoir une meilleure connaissance des voies de transmission qui ont lieu au sein d'un environnement, et ainsi mieux adapter les mesures de gestion mises en œuvre. (Berrilli *et al.* 2012)

### B. Traitement et prophylaxie

#### 1. Traitement antiparasitaire

La majorité des études réalisées chez l'homme sur l'efficacité des traitements contre la giardiose a montré que ces traitements ne résolvent pas 100% des cas. Des échecs de traitement ont été recensés pour toutes les molécules anti-giardia couramment utilisées (métronidazole, quinacrine, furazolidone, et albendazole). Ces échecs sont généralement dus à des re-infestations liées à la contamination de l'environnement. Il a par ailleurs été montré qu'il existe une résistance au métronidazole chez *G. duodenalis*. Cependant, la plupart des cas réfractaires à une molécule peuvent être soignés avec la combinaison de plusieurs molécules. (Argüello-García *et al.* 2020)

Le traitement antiparasitaire actuellement mis en œuvre au refuge est à base de Nitazoxanide. Bien qu'aucune résistance à cette molécule n'a été montrée en clinique, elle peut être induite en laboratoire (Argüello-García *et al.* 2020).

De plus, le traitement mis en place à GüiráOga suit les recommandations de la 5<sup>ème</sup> édition du livre *Exotic animal formulary* pour les Prosimiens (Gamble 2018). Dans ce même livre, l'albendazole et le métronidazole sont recommandés pour les primates du nouveau monde. Hahn (2019) ne référence pas non plus le Nitazoxanide parmi les traitements de la giardiose chez les Primates du Nouveau Monde mais propose des traitements à base d'albendazole, métronidazole, quinacrine et tinidazole.

Bien que la contamination de l'environnement des singes hurleurs soit l'hypothèse principale de l'échec des traitements, l'utilisation d'une molécule et d'un dosage adaptés à l'espèce pourrait améliorer la situation. Le choix de ce traitement par les vétérinaires du refuge est donc discutable. Il comporte certains avantages comme sa facilité d'administration. Un changement de molécule ou l'utilisation d'une combinaison de molécules (albendazole et métronidazole par exemple) pourrait être tenté au refuge.

Dans le cas des individus qui doivent être libérés, un traitement contre la giardiose ainsi que le transfert et l'isolement de ces animaux dans un espace facile à nettoyer et désinfecter pourrait limiter le risque qu'ils introduisent le parasite dans le milieu dans lequel ils seront relâchés.

## 2. Prophylaxie

Les bonnes pratiques d'hygiène intéressent la préparation des aliments, le nettoyage et la désinfection des enclos et le contrôle des invasifs. (Pastor-Nieto 2015)

Dans une étude réalisée dans un zoo en Espagne, sur 10 espèces de PNHs, seuls les *Lemur cata* étaient infectés par *G. duodenalis* avec une prévalence élevée. L'absence d'échantillons positifs pour *Giardia* chez les autres espèces laisse supposer que le parasite était confiné à l'enclos des lémuriers et que les mesures de prophylaxie mises en œuvre au sein du zoo (désinfection des chaussures des soigneurs, utilisation de gants et d'instruments à usage unique...) étaient efficaces pour éviter la dissémination du parasite entre les enclos. (Berrilli *et al.* 2012)

Les pratiques énoncées dans cet article semblent proches de celles réalisées au refuge. Les Sapajous noirs, qui vivent pourtant dans un enclos proche de celui de Adul (enclos 3), ne présentaient pas de signes de giardiose et aucun kyste n'a été retrouvé dans leurs selles. Cependant des flagellés ont été observés dans les selles d'autres animaux du refuge et, bien que cela puisse être expliqué autrement, le fait que tous les enclos de singes hurleurs soient contaminés par *Giardia* est plutôt en la faveur d'une transmission entre les enclos.

Par ailleurs ces mesures ne sont de toute évidence pas suffisantes pour empêcher les ré-infestations des singes hurleurs au sein de leur enclos.

Un point manquant dans les mesures d'hygiène des soigneurs, pourtant facile à mettre en œuvre, est le lavage des mains entre chaque enclos. En effet ils manipulent les instruments servant à nettoyer les enclos à mains nus et apportent les gamelles d'eau et de nourriture de la même façon.

## C. Agir sur les facteurs favorisants

### 1. Densité et Population des enclos

Afin de réduire la densité dans les enclos, deux moyens sont possibles : réduire le nombre d'individus ou agrandir les enclos.

Pour leur bien-être, les singes hurleurs ont besoin d'interactions sociales avec des membres de la même espèce qui leur sont familiers (Pastor-Nieto 2015). Les groupes créés au sein de Güirá Oga sont déjà très réduits, il n'est donc pas possible de réduire la densité des enclos par ce biais.

Le refuge fait face à des problèmes économiques actuellement et l'agrandissement ou la construction de nouveaux enclos n'est pas la priorité.

L'enclos 2 abrite des oiseaux (les tinamous solitaires) qui eux pourraient être changés d'enclos. Le risque serait alors qu'ils introduisent des kystes dans des enclos qui en sont exempts.

## 2. Structure des enclos

L'agencement des enclos doit prendre en compte le mode de vie arboréal des Alouates, c'est-à-dire permettre des déplacements dans les trois dimensions. La nourriture ne doit jamais être fournie à hauteur du sol pour éviter la contamination par les pathogènes qui y sont présents. La présence d'essences d'arbre faisant partie du régime des singes hurleurs est un plus. (Pastor-Nieto 2015)

Les enclos de Güirá Oga remplissent ces recommandations. L'agencement de l'enclos 1 pourrait être modifié de sorte que l'eau ne soit pas en contre-bas de zones où les singes circulent. Plus de structures permettant le déplacement des singes en hauteur pourraient être apportées dans l'enclos 2. Une réflexion sur le positionnement des différents éléments doit cependant être menée pour éviter que les fèces des singes ne tombent dessus. L'intégration de végétation dans l'enclos, en évitant la zone de « latrines » la plus utilisée pourrait également encourager les singes à ne déféquer qu'à cet endroit.

## 3. Alimentation et stress

Pastor-Nieto (2015) recommande un régime offrant une grande variété de sources de fibres, telles que les légumes-feuilles et la végétation naturelle, pour favoriser la santé naturelle du microbiote intestinal et de la digestion, et pour prévenir les troubles nutritionnels et métaboliques. Toujours d'après la même source, les régimes alimentaires doivent être attrayants, variés et soigneusement équilibrés en fibres, en protéines et faibles en amidon, en sucres et en protéines allergènes. Un exemple de régime équilibré est donné (Tableau 10). Les aliments commerciaux pour primates folivores sont hautement recommandés car ils sont équilibrés et contiennent les quantités adéquates de fibres (14%) et de protéines brutes (23%).

Ingrédients	Description	Quantité
Biscuits pour primates folivores + Complément nutritionnel	Biscuits trempés dans le complément nutritionnel	200g + 60 mL
Mélange de légumes (courgette, petits pois, haricots verts et carottes)	Coupés en pièces de 5cm	400g
Mélange de légumes-feuilles (laitue, chou, céleri, épinard)	Coupés en pièces de 5cm	500g
Fruit (orange, pomme, papaye, banane)	Coupé en pièces de 5cm, seulement 1 fruit en rotation	150g
Œuf	Bouilli, coupé en 2	1 pièce
Feuilles – végétation naturelle	Fraîchement coupées	A volonté

Tableau 10 : Exemple de ration équilibrée pour un singe hurleur adulte (Pastor-Nieto 2015)

Le régime des singes hurleurs de Güirá Oga est assez éloigné de celui proposé ici. L'apport de fibres se fait essentiellement par les feuilles données ou issues des arbres présents dans les enclos. Quasiment aucun légume ou légume-feuille n'est intégré dans leur alimentation mais de nombreux fruits le sont. Adopter un régime tel que celui proposé par Pastor-Nieto est une mesure faisable et qui pourrait améliorer fortement les conditions de vie des singes du refuge. Les singes hurleurs ayant un régime folivore-frugivore (Dias et Rangel-Negrín 2015), il peut paraître surprenant de limiter autant l'apport en fruits dans leur ration. Cependant il a été montré que les fruits cultivés ont une teneur en fibre plus faible et une teneur en sucres beaucoup plus haute que les fruits sauvages. Ceux-ci se rapprochent davantage des légumes cultivés dans leur composition (Schwitzer, Polowinsky, et Solman 2008).

Pour améliorer leur bien-être psychologique en captivité, les singes hurleurs doivent pouvoir développer leurs comportements naturels. Ceci inclut les interactions sociales, la recherche et la sélection de nourriture, et pouvoir évoluer dans un environnement dynamique et enrichi. Pour favoriser ces comportements, et donc diminuer le stress des singes, il est possible de distribuer leur alimentation quotidienne en plusieurs fois, en réservant par exemple le fruit, plus attractif, pour l'après-midi et en cachant les morceaux (Pastor-Nieto 2015). D'autres enrichissements sont possibles à mettre en œuvre pour faire varier leur environnement, ils sont généralement mis en place lorsque des bénévoles sont présents au refuge. La manipulation de la nourriture doit cependant se faire avec des mains propres ou des gants et les endroits où elle est cachée doivent être en hauteur et propres pour éviter des contaminations fécales.

Un autre facteur, potentiellement associé au stress de la captivité, est l'effet des visiteurs, mais la réponse des singes hurleurs aux visites n'a pas encore été évaluée en captivité (Pastor-Nieto 2015). Les visites de Güirá Oga se font par groupe de maximum 30 personnes et sont toujours accompagnées par un guide, cette façon de procéder permet de contrôler les visiteurs et éviter de perturber trop les animaux.

## D. Revoir le diagnostic

Beaucoup de faits relient la diarrhée chronique des singes hurleurs du refuge à *G. duodenalis* :

- Les signes cliniques sont évocateurs de giardiose et disparaissent momentanément avec le traitement antiparasitaire
- Dans la littérature les singes hurleurs sont une espèce couramment infectée et qui peuvent déclarer des signes cliniques en captivité
- La présence du protozoaire chez les singes hurleurs du refuge est avérée

Cependant de nombreuses autres maladies, parasitaires ou non, entraînent un cadre clinique proche et la molécule utilisée pour le traitement antiparasitaire a une action contre de nombreux pathogènes. La notice du NIXORAN ND indique par exemple une action contre *Entamoeba histolytica*, or des kystes d'amibes ont également été observés en coproscopie en février 2020. L'amibiose à *Ent. Histolytica* est connue chez ces singes et les signes cliniques peuvent aller de la diarrhée modérée et intermittente à des cas de diarrhée sévères (Pastor-Nieto 2015). Ce protozoaire, associé à un stress aigu, a engendré la mort de 5 singes hurleurs sauvages capturés et gardés en captivité au cours d'une translocation (Genoy-Puerto *et al.* 2016).

Quelques études ont exploré le lien entre maladie gastro-intestinale et composition du microbiote intestinal chez des PNHs captifs. Ces études suggèrent que des changements dans l'abondance relative de certains taxons microbiens peuvent, à la fois, augmenter la réceptivité et la sensibilité aux maladies gastro-intestinales. L'identification des taxons microbiens d'intérêt n'a cependant pas pu être réalisée du fait du manque d'information provenant d'animaux sauvages. (Frankel *et al.* 2019). Une modification du microbiote liée à la captivité, d'autant plus que l'alimentation est inadaptée, pourrait donc être à l'origine de la sensibilité des singes hurleurs à la giardiose.

# Conclusion

Plusieurs études rapportées dans la première partie de ce travail se sont intéressées aux facteurs favorisant les infections des primates par *Giardia duodenalis*, un protozoaire fréquemment rencontré chez l'homme et les autres espèces de primates. Plusieurs d'entre elles évoquaient son potentiel zoonotique et le risque de transmission à l'homme par la faune sauvage et inversement.

Peu d'études se sont en revanche intéressées à son pouvoir pathogène chez les primates non humains. La majorité rapporte un portage asymptomatique chez les singes hurleurs (genre *Alouatta*). Cependant il semblerait que, dans les conditions de la captivité, l'apparition de signes cliniques associés à la giardiose soit plus fréquente, en particulier chez les singes hurleurs. De ce fait, la présence de *G. duodenalis* pourrait mettre en péril des programmes de conservation de ces singes, dont la population est déjà décroissante.

Ce travail s'est ensuite intéressé à un foyer de giardiose chez des singes hurleurs détenus dans le refuge et centre de réhabilitation de la faune sauvage *Güirá Oga* en Argentine. Les singes présentent en effet une diarrhée chronique récidivante et *G. duodenalis* a été identifiée par coproscopie dans tous les enclos de ces primates. Un état des lieux du refuge a permis la mise en évidence des points faibles dans sa gestion du foyer de giardiose. Les principaux éléments sont le régime inadapté des singes hurleurs, l'agencement des enclos favorisant les contaminations fécales, et les mesures de biosécurité insuffisantes.

Au vu de la situation du centre, l'éradication du protozoaire n'est pas envisageable mais des mesures, visant à limiter la charge parasitaire des singes et éviter les transmissions à d'autres espèces ou à l'homme, sont envisageables. Des propositions de mesures de gestion de la giardiose ont donc été énoncées dans cette optique. Toutefois, seule leur mise en œuvre pourra déterminer leur efficacité dans la gestion du problème de diarrhée chez les singes hurleurs détenus au refuge.

## Liste des référence bibliographiques

- Aguilar-Cucurachi, MS, D Canales-Espinosa, et M Paéz-Rodríguez. 2007. « Parásitos gastrointestinales en mono aullador (*Alouatta palliata*) en la región de los Tuxtlas, Veracruz, México ». In *A primatologia no Brasil*, Bicca-Marques JC, editor, 10:225-37. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Primatologia.
- Amato, Katherine R., Rodolfo Martinez-Mota, Nicoletta Righini, Melissa Raguét-Schofield, Fabiana Paola Corcione, Elisabetta Marini, Greg Humphrey, et al. 2016. « Phylogenetic and Ecological Factors Impact the Gut Microbiota of Two Neotropical Primate Species ». *Oecologia* 180 (3): 717-33. <https://doi.org/10.1007/s00442-015-3507-z>.
- Argüello-García, Raúl, David Leitsch, Tina Skinner-Adams, et M. Guadalupe Ortega-Pierres. 2020. « Drug Resistance in Giardia: Mechanisms and Alternative Treatments for Giardiasis ». In *Advances in Parasitology*, 107:201-82. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.apar.2019.11.003>.
- Arroyo-Rodríguez, Víctor, et Pedro Amarico D. Dias. 2010. « Effects of Habitat Fragmentation and Disturbance on Howler Monkeys: A Review ». *American Journal of Primatology* 72 (1): 1-16. <https://doi.org/10.1002/ajp.20753>.
- Barbosa, Alynne da Silva, Alcides Pissinatti, Laís Verdán Dib, Mayara Perlingeiro de Siqueira, Matheus Lessa Cardozo, Ana Beatriz Monteiro Fonseca, Anderson de Barros Oliveira, et al. 2015. « *Balantidium coli* and Other Gastrointestinal Parasites in Captives Non-Human Primates of the Rio de Janeiro, Brazil ». *Journal of Medical Primatology* 44 (1): 18-26. <https://doi.org/10.1111/jmp.12140>.
- Beck, Relja, Hein Sprong, Ingeborg Bata, Snjezana Lucinger, Edoardo Pozio, et Simone M. Cacciò. 2011. « Prevalence and Molecular Typing of *Giardia Spp.* in Captive Mammals at the Zoo of Zagreb, Croatia ». *Veterinary Parasitology* 175 (1-2): 40-46. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2010.09.026>.
- Berrilli, Federica, Rossella D'Alfonso, Annunziata Giangaspero, Marianna Marangi, Olga Brandonisio, Yolande Kaboré, Christoph Glé, Cristina Cianfanelli, Renato Lauro, et David Di Cave. 2012. « *Giardia duodenalis* Genotypes and *Cryptosporidium* Species in Humans and Domestic Animals in Côte d'Ivoire: Occurrence and Evidence for Environmental Contamination ». *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 106 (3): 191-95. <https://doi.org/10.1016/j.trstmh.2011.12.005>.
- Bicca-Marques, Julio César. 1992. « Drinking Behavior in the Black Howler Monkey (*Alouatta Caraya*) ». *Folia Primatologica* 58 (2): 107-11. <https://doi.org/10.1159/000156616>.
- Bonilla Moheno, Martha. 2002. « Prevalencia de parásitos gastroentéricos en primates (*Alouatta pigra* y *Ateles geoffroyi yucatanensis*) localizados en hábitat conservado y fragmentado de Quintana Roo, México ». Ciudad de Mexico: Universidad Nacional Autonoma de Mexico.
- Borges, João Carlos Gomes, Danielle Dos Santos Lima, Beatriz Mafalda Calera, Miriam Marmontel, Edson Moura Da Silva, André Lucas De Oliveira Moreira, et Leucio Câmara Alves. 2018. « *Cryptosporidium Spp.* and *Giardia Sp.* in Neotropical River Otters ( *Lontra Longicaudis* ) and Giant Otters ( *Pteronura Brasiliensis* ) in Northern Brazil ». *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 98 (8): 2153-57. <https://doi.org/10.1017/S0025315417001709>.
- Brividoro, Melina V., Martin M. Kowalewski, Clara J. Scarry, et Luciana I. Oklander. 2019. « Patterns of Sleeping Site and Sleeping Tree Selection by Black-and-Gold Howler Monkeys (*Alouatta Caraya*) in Northern Argentina ». *International Journal of Primatology* 40 (3): 374-92. <https://doi.org/10.1007/s10764-019-00094-x>.
- Brynildsrud, O., K. R. Tysnes, L. J. Robertson, et J. J. Debenham. 2018. « *Giardia Duodenalis* in Primates: Classification and Host Specificity Based on Phylogenetic Analysis of Sequence Data ». *Zoonoses and Public Health* 65 (6): 637-47. <https://doi.org/10.1111/zph.12470>.
- Cacciò, Simone M., Marco Lalle, et Staffan G. Svärd. 2018. « Host Specificity in the *Giardia Duodenalis* Species Complex ». *Infection, Genetics and Evolution* 66 (décembre): 335-45. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2017.12.001>.

- Cardenas-Saldarriaga, Guillermo Alonso, Felipe Gomez-Montoya, et Alvaro Botero-Botero. 2009. « Prevalencia de parasitos intestinales de monos aulladores (*Alouatta seniculus*) en la reserva natural la Montana del Ocaso, Quindio, Colombia ». In . Bogota. <https://www.calameo.com/read/0002042349cd8ac14beed>.
- Chapman, Colin A., Thomas R. Gillespie, et Tony L. Goldberg. 2005. « Primates and the Ecology of Their Infectious Diseases: How Will Anthropogenic Change Affect Host-Parasite Interactions? » *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews* 14 (4): 134-44. <https://doi.org/10.1002/evan.20068>.
- Chinchilla Carmona, Misael, Olga Guerrero Bermúdez, Gustavo A. Gutiérrez-Espeleta, Ronald Sánchez Porras, et Beatriz Rodríguez Ortiz. 2014. « Parasitos intestinales en monos congo *Alouatta palliata* (Primates: Cebidae) de Costa Rica ». *Revista de Biología Tropical* 53 (3-4): 437. <https://doi.org/10.15517/rbt.v53i3-4.14612>.
- Clayton, Jonathan B., Pajau Vangay, Hu Huang, Tonya Ward, Benjamin M. Hillmann, Gabriel A. Al-Ghalith, Dominic A. Travis, et al. 2016. « Captivity Humanizes the Primate Microbiome ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113 (37): 10376-81. <https://doi.org/10.1073/pnas.1521835113>.
- Climate-Data.org. s.d. « Climat Puerto Iguazú: Tableau climatique ». Consulté le 12 novembre 2020. <https://fr.climate-data.org/amerique-du-sud/argentine/misiones/puerto-iguazu-19689/>.
- Cristóbal-Azkarate, Jurgi, Blanca Hervier, Sira Vegas-Carrillo, David Osorio-Sarabia, Ernesto Rodríguez-Luna, et Joaquim J. Veà. 2010. « Parasitic Infections of Three Mexican Howler Monkey Groups (*Alouatta Palliata Mexicana*) Living in Forest Fragments in Mexico ». *Primates* 51 (3): 231-39. <https://doi.org/10.1007/s10329-010-0193-7>.
- Cristóbal-Azkarate, Jurgi, Bernardo Urbani, et Norberto Asensio. 2015. « Interactions of Howler Monkeys with Other Vertebrates: A Review ». In *Howler Monkeys*, édité par Martín M. Kowalewski, Paul A. Garber, Liliana Cortés-Ortiz, Bernardo Urbani, et Dionisios Youlatos, 141-64. New York, NY: Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1960-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1960-4_6).
- David, Erica Boarato, Mariella Patti, Silvana Torossian Coradi, Teresa Cristina Goulart Oliveira-Sequeira, Paulo Eduardo Martins Ribolla, et Semiramis Guimaraes. 2014. « Molecular typing of *Giardia duodenalis* isolates from nonhuman primates housed in a brazilian zoo. » *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo* 56 (1): 49-54. <https://doi.org/10.1590/S0036-46652014000100007>.
- Debenham, John J., Kristoffer Tysnes, Sandhya Khunger, et Lucy J. Robertson. 2017. « Occurrence of *Giardia*, *Cryptosporidium*, and *Entamoeba* in Wild Rhesus Macaques (*Macaca Mulatta*) Living in Urban and Semi-Rural North-West India ». *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife* 6 (1): 29-34. <https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2016.12.002>.
- Delgado, Alicia. 2005. « Estudio de patrones de uso de sitios de defecacion y su posible relacion con infestaciones parasitarias en dos grupos de monos aulladores negros y dorados (*Alouatta caraya*) en el Nordeste Argentino. » Estacion Biologica Corrientes - Museo Argentino de Ciencias Naturales.
- Dias, Pedro Américo D., et Ariadna Rangel-Negrín. 2015. « Diets of Howler Monkeys ». In *Howler Monkeys*, édité par Martín M. Kowalewski, Paul A. Garber, Liliana Cortés-Ortiz, Bernardo Urbani, et Dionisios Youlatos, 21-56. New York, NY: Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1960-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1960-4_2).
- Eckert, Katherine A., Nina E. Hahn, Andrew Genz, Dawn M. Kitchen, Michael D. Stuart, Gary A. Averbeck, Bert E. Stromberg, et Hal Markowitz. 2006. « Coprological Surveys of *Alouatta Pigra* at Two Sites in Belize ». *International Journal of Primatology* 27 (1): 227-38. <https://doi.org/10.1007/s10764-005-9010-3>.
- Espinosa-Gómez, Fabiola, Sergio Gómez-Rosales, Ian R. Wallis, Domingo Canales-Espinosa, et Laura Hernández-Salazar. 2013. « Digestive Strategies and Food Choice in Mantled Howler Monkeys *Alouatta Palliata Mexicana*: Bases of Their Dietary Flexibility ». *Journal of Comparative Physiology. B, Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology* 183 (8): 1089-1100. <https://doi.org/10.1007/s00360-013-0769-9>.
- FAO, et ITPS, éd. 2015. *Status of the World's Soil Resources: Main Report*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils.

- Farret, Matheus Hilliard, Vinícius Da Rosa Fanfa, Aleksandro Schafer da Silva, et Silvia Gonzalez Monteiro. 2010. « Protozoários gastrointestinais em Tayassu pecari mantidos em cativeiro no Brasil ». *Semina: Ciências Agrárias* 31 (4): 1041. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2010v31n4p1041>.
- Feng, Y., et L. Xiao. 2011. « Zoonotic Potential and Molecular Epidemiology of Giardia Species and Giardiasis ». *Clinical Microbiology Reviews* 24 (1): 110-40. <https://doi.org/10.1128/CMR.00033-10>.
- Frankel, Jeffrey S., Elizabeth K. Mallott, Lydia M. Hopper, Stephen R. Ross, et Katherine R. Amato. 2019. « The Effect of Captivity on the Primate Gut Microbiome Varies with Host Dietary Niche ». *American Journal of Primatology* 81 (12). <https://doi.org/10.1002/ajp.23061>.
- Gamble, Kathryn C. 2018. « Chapter 13 - Primates ». In *Exotic Animal Formulary (Fifth Edition)*, édité par James W. Carpenter et Christopher J. Marion, 575-615. W.B. Saunders. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-44450-7.00013-8>.
- Garber, Paul A., et Martín M. Kowalewski. 2015. « New Challenges in the Study of Howler Monkey Behavioral Ecology and Conservation: Where We Are and Where We Need to Go ». In *Howler Monkeys*, édité par Martín M. Kowalewski, Paul A. Garber, Liliana Cortés-Ortiz, Bernardo Urbani, et Dionisios Youlatos, 413-28. New York, NY: Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1960-4\\_15](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1960-4_15).
- Genoy-Puerto, Alexander, Renata Carolina Fernandes Santos, Thaís Guimarães-Luiz, Angélica María Sánchez-Sarmiento, Rogério Loesch Zacariotti, José Luiz Catão-Dias, et Eliana Reiko Matushima. 2016. « Epizootic Amebiasis Outbreak in Wild Black Howler Monkeys (*Alouatta caraya*) in a Wildlife Facility during Captivity Prior to Translocation - Recommendations to Wildlife Management Programs ». *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science* 53 (3): 260-69. <https://doi.org/10.11606/issn.1678-4456.bjvras.2016.108441>.
- Gilbert, K. A. 1995. « Endoparasitic Infection in Red Howling Monkeys (*Alouatta seniculus*) in the Central Amazonian Basin: A Cost of Sociality? », 1.
- Graczyk, Thaddeus K., John Bosco-Nizeyi, B. Ssebide, R. C. Andrew Thompson, Carolyn Read, et Michael R. Cranfield. 2002. « Anthropozoonotic *Giardia duodenalis* Genotype (Assemblage) a Infections in Habitats of Free-Ranging Human-Habituated Gorillas, Uganda ». *The Journal of Parasitology* 88 (5): 905-9. [https://doi.org/10.1645/0022-3395\(2002\)088\[0905:AGDGAA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1645/0022-3395(2002)088[0905:AGDGAA]2.0.CO;2).
- Graczyk, Thaddeus K., et Michael R. Cranfield. 2003. « Coprophagy and Intestinal Parasites: Implications to Human-habituated Mountain Gorillas (*Gorilla gorilla beringei*) of the Virunga Mountains and Bwindi Impenetrable Forest ». *Primate Conservation*, n° 19: 58-64.
- Hahn, Alicia. 2019. « Primates ». In *Zoo and Wild Mammal Formulary*, First edition, 81-118. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119515098.ch8>.
- IUCN. 2015. « *Alouatta caraya*: Bicca-Marques, J., Alves, S.L., Boubli, J., Cornejo, F.M., Cortes-Ortiz, L., Jerusalinsky, L., Ludwig, G., Martins, V., de Melo, F.R., Messias, M., Miranda, J., Rumiz, D.I., Rímoli, J., Talebi, M., Wallace, R., Da Cunha, R. & Do Valle, R.R.: The IUCN Red List of Threatened Species 2020: E.T41545A17924308 ». International Union for Conservation of Nature. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-2.RLTS.T41545A17924308.en>.
- Itagaki, Tadashi, Shizuka Kinoshita, Mikiko Aoki, Naoyuki Itoh, Hideharu Saeki, Naoto Sato, Junya Uetsuki, Shinji Izumiyama, Kenji Yagita, et Takuro Endo. 2005. « Genotyping of *Giardia intestinalis* from Domestic and Wild Animals in Japan Using Glutamate Dehydrogenase Gene Sequencing ». *Veterinary Parasitology* 133 (4): 283-87. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2005.05.061>.
- Johnston, Amanda R., Thomas R. Gillespie, Innocent B. Rwego, Traci L. Tranby McLachlan, Angela D. Kent, et Tony L. Goldberg. 2010. « Molecular Epidemiology of Cross-Species *Giardia duodenalis* Transmission in Western Uganda ». Édité par Michael J. Lehane. *PLoS Neglected Tropical Diseases* 4 (5): e683. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0000683>.

- Kane, John, et Rebecca L Smith. 2019. « *Bertiella mucronata* infection in Paraguayan howler monkeys: differences between urban and natural environments ». <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.28544.38408>.
- Kowalewski, Martin, et Thomas Gillespie. 2018. « Disturbance-tolerant primates as sentinels for global health and biodiversity conservation ». In *Primateology, Biocultural Diversity and Sustainable Development in Tropical Forests*, 270-81.
- Kowalewski, Martin M., et Thomas R. Gillespie. 2009. « Ecological and Anthropogenic Influences on Patterns of Parasitism in Free-Ranging Primates: A Meta-Analysis of the Genus *Alouatta* ». In *South American Primates*, édité par Paul A. Garber, Alejandro Estrada, Júlio César Bicca-Marques, Eckhard W. Heymann, et Karen B. Strier, 433-61. New York, NY: Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-78705-3\\_17](https://doi.org/10.1007/978-0-387-78705-3_17).
- Kowalewski, Martin M., et Mariana Raño. 2017. « Howler Monkey (*Alouatta*) ». In *The International Encyclopedia of Primatology*, édité par Michele Bezanson, Katherine C MacKinnon, Erin Riley, Christina J Campbell, K.A.I Anna Nekaris, Alejandro Estrada, Anthony F Di Fiore, et al., 1-3. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781119179313.wbprim0184>.
- Kowalewski, Martin M., Johanna S. Salzer, Joseph C. Deutsch, Mariana Raño, Mark S. Kuhlenschmidt, et Thomas R. Gillespie. 2011. « Black and Gold Howler Monkeys (*Alouatta Caraya*) as Sentinels of Ecosystem Health: Patterns of Zoonotic Protozoa Infection Relative to Degree of Human–Primate Contact ». *American Journal of Primatology* 73 (1): 75-83. <https://doi.org/10.1002/ajp.20803>.
- Kowalewski, Martín M., et Gabriel E. Zunino. 1999. « Impact of Deforestation on a Population of *Alouatta Caraya* in Northern Argentina ». *Folia Primatologica* 70 (3): 163-66. <https://doi.org/10.1159/000021689>.
- Kowalewski, Martin, et Gabriel E. Zunino. 2005. « The Parasite Behavior Hypothesis and the Use of Sleeping Sites by Black Howler Monkeys (*Alouatta Caraya*) in a Discontinuous Forest ». *Neotropical Primates* 13 (1): 22. <https://doi.org/10.1896/1413-4705.13.1.22>.
- Lara, Valéria, et Adriano Carregaro. 2009. « Gastrointestinal Protozoa in Captive Howler Monkeys (*Alouatta Sp.*) ». *ResearchGate, Ciencia Animal Brasileira*, . <https://doi.org/10.5216/cab.v10i2.1382>.
- Levecke, Bruno, Pierre Dorny, Thomas Geurden, Francis Vercammen, et Jozef Vercruyse. 2007. « Gastrointestinal Protozoa in Non-Human Primates of Four Zoological Gardens in Belgium ». *Veterinary Parasitology* 148 (3-4): 236-46. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2007.06.020>.
- Mann, Allison E., Florent Mazel, Matthew A. Lemay, Evan Morien, Vincent Billy, Martin Kowalewski, Anthony Di Fiore, et al. 2020. « Biodiversity of Protists and Nematodes in the Wild Nonhuman Primate Gut ». *The ISME Journal* 14 (2): 609-22. <https://doi.org/10.1038/s41396-019-0551-4>.
- Martínez-Díaz, Rafael Alberto, José Sansano-Maestre, María del Carmen Martínez-Herrero, Francisco Ponce-Gordo, et María Teresa Gómez-Muñoz. 2011. « Occurrence and Genetic Characterization of *Giardia Duodenalis* from Captive Nonhuman Primates by Multi-Locus Sequence Analysis ». *Parasitology Research* 109 (3): 539-44. <https://doi.org/10.1007/s00436-011-2281-z>.
- Martinez-Mota, R., C. Valdespino, M. A. Sánchez-Ramos, et J. C. Serio-Silva. 2007. « Effects of Forest Fragmentation on the Physiological Stress Response of Black Howler Monkeys ». *Animal Conservation* 10 (3): 374-79. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2007.00122.x>.
- Martinez-Mota, Rodolfo. s. d. « THE EFFECTS OF HABITAT DISTURBANCE, HOST TRAITS, AND HOST PHYSIOLOGY ON PATTERNS OF GASTROINTESTINAL PARASITE INFECTION IN BLACK HOWLER MONKEYS (*ALOUATTA PIGRA*) », 193.
- Martínez-Mota, Rodolfo, Martín M. Kowalewski, et Thomas R. Gillespie. 2015. « Ecological Determinants of Parasitism in Howler Monkeys ». In *Howler Monkeys*, édité par Martín M. Kowalewski, Paul A. Garber, Liliana Cortés-Ortiz, Bernardo Urbani, et Dionisios Youlatos, 259-85. New York, NY: Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1957-4\\_10](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1957-4_10).

- Martínez-Mota, Rodolfo, Gilberto Pozo-Montuy, Yadira M. Bonilla Sánchez, et Thomas R. Gillespie. 2018. « Effects of anthropogenic stress on the presence of parasites in a threatened population of black howler monkeys (*Alouatta pigra*) ». *Therya* 9 (2): 161-69. <https://doi.org/10.12933/therya-18-572>.
- Milozzi, Carola, Gabriela Bruno, Elisa Cundom, Marta D. Mudry, et Graciela T. Navone. 2012. « Intestinal parasites of *Alouatta caraya* (Primates, Ceboidea): preliminary study in semi-captivity and in the wild in Argentina ». *Mastozoología neotropical*, décembre. <https://www.biodiversitylibrary.org/part/113762>.
- Montoya, Carolina, Nelfi Oyola, Martha Ocampo, Diana Polanco, Sandra Ríos, Paola Molina, et Lina A. Gutiérrez. 2013. « Evaluation of intestinal parasitism in red howler monkeys (*Alouatta seniculus*) under rehabilitation at the CAVR-Ecosantafé, Jericó, Colombia ». *Revista Lasallista de Investigación* 10 (2): 25-34.
- Nishi, Letícia, Rosângela Bergamasco, Max Jean de Ornelas Toledo, Dina Lúcia Morais Falavigna, Mônica Lúcia Gomes, Lúcio Tadeu Mota, et Ana Lúcia Falavigna-Guilherme. 2009. « *Giardia* Spp. and *Cryptosporidium* Spp. in the Ivaí Indigenous Land, Brazil ». *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* 9 (5): 543-47. <https://doi.org/10.1089/vbz.2008.0021>.
- Nunn, Charles L., Sonia M. Altizer, Wes Sechrest, et Andrew A. Cunningham. 2005. « Latitudinal Gradients of Parasite Species Richness in Primates ». *Diversity and Distributions* 11 (3): 249-56. <https://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2005.00160.x>.
- Oklander, Luciana Ines, Martin M. Kowalewski, et Daniel Corach. 2010. « Genetic Consequences of Habitat Fragmentation in Black-and-Gold Howler (*Alouatta Caraya*) Populations from Northern Argentina ». *International Journal of Primatology* 31 (5): 813-32. <https://doi.org/10.1007/s10764-010-9430-6>.
- Olson, M. E., H. Ceri, et D. W. Morck. 2000. « *Giardia* Vaccination ». *Parasitology Today* 16 (5): 213-17. [https://doi.org/10.1016/S0169-4758\(99\)01623-3](https://doi.org/10.1016/S0169-4758(99)01623-3).
- Olson, Merle E., et Andre G. Buret. 2008. « Enteric Protozoans: *Giardia* and Giardiasis ». In *Parasitic Diseases of Wild Mammals*, 399-416. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470377000.ch16b>.
- Pastor-Nieto, Rosalía. 2015. « Health and Welfare of Howler Monkeys in Captivity ». In *Howler Monkeys*, édité par Martín M. Kowalewski, Paul A. Garber, Liliana Cortés-Ortiz, Bernardo Urbani, et Dionisios Youlatos, 313-55. New York, NY: Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1960-4\\_12](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1960-4_12).
- Pérez-Gómez, Gabriela, et Ana Rocha. 2018. *CRYPTOSPORIDIUM PARVUM Y GIARDIA DUODENALIS EN AVES SILVESTRES DE UN RÍO URBANO CRYPTOSPORIDIUM PARVUM AND GIARDIA DUODENALIS IN WILD BIRDS OF AN URBAN RIVER*.
- Plutzer, Judit, Jerry Ongerth, et Panagiotis Karanis. 2010. « *Giardia* Taxonomy, Phylogeny and Epidemiology: Facts and Open Questions ». *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 213 (5): 321-33. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2010.06.005>.
- Rangel-Negrín, Ariadna, Alejandro Coyohua-Fuentes, Roberto Chavira, Domingo Canales-Espinosa, et Pedro Américo D. Dias. 2014. « Primates Living Outside Protected Habitats Are More Stressed: The Case of Black Howler Monkeys in the Yucatán Peninsula ». *PLoS ONE* 9 (11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112329>.
- Rivero, Maria Romina, Carlos De Angelo, Pablo Nuñez, Martín Salas, Carlos E. Motta, Alicia Chiaretta, Oscar D. Salomón, et Song Liang. 2017. « Environmental and Socio-Demographic Individual, Family and Neighborhood Factors Associated with Children Intestinal Parasitoses at Iguazú, in the Subtropical Northern Border of Argentina ». Édité par Ricardo J. Soares Magalhaes. *PLOS Neglected Tropical Diseases* 11 (11): e0006098. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0006098>.
- Robertson, Lucy J., C. Graham Clark, John J. Debenham, J.P. Dubey, Martin Kváč, Junqiang Li, Francisco Ponce-Gordo, et al. 2019. « Are Molecular Tools Clarifying or Confusing Our Understanding of the Public Health Threat from Zoonotic Enteric Protozoa in Wildlife? ». *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife* 9 (août): 323-41. <https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2019.01.010>.

- Rondón, Silvia, Mario Ortiz, Cielo León, Nelson Galvis, Andrés Link, et Camila González. 2017. « Seasonality, Richness and Prevalence of Intestinal Parasites of Three Neotropical Primates (*Alouatta Seniculus*, *Ateles Hybridus* and *Cebus Versicolor*) in a Fragmented Forest in Colombia ». *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife* 6 (3): 202-8. <https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2017.07.006>.
- Sánchez-Sarmiento, Angélica María, Ticiana Zwarg, Renata Carolina Fernandes-Santos, Thaís Guimarães-Luiz, Alexander Genoy-Puerto, et Eliana Reiko Matushima. 2015. « Hematological Parameters and the Variations Resulting from Stress of *Alouatta Caraya* during a Wildlife Rescue Program in Brazil: Hematology Primates Stress Captivity ». *American Journal of Primatology* 77 (3): 246-53. <https://doi.org/10.1002/ajp.22327>.
- Santos, Renata Carolina Fernandes. 2011. « Importância de mamíferos neotropicais na epidemiologia de protozooses: diagnóstico, caracterização molecular e aspectos ecológicos da infecção por *Giardia* e *Cryptosporidium* ». Mestrado em Patologia Experimental e Comparada, São Paulo: Universidade de São Paulo. <https://doi.org/10.11606/D.10.2011.tde-05102012-150543>.
- Schwitzer, Christoph, S.Y. Polowinsky, et C. Solman. 2008. « Fruits as foods - Common misconceptions about frugivory ». *5th European Zoo Nutrition Conference*, janvier.
- Sestak, K., C. K. Merritt, J. Borda, E. Saylor, S. R. Schwamberger, F. Cogswell, E. S. Didier, et al. 2003. « Infectious Agent and Immune Response Characteristics of Chronic Enterocolitis in Captive Rhesus Macaques ». *Infection and Immunity* 71 (7): 4079-86. <https://doi.org/10.1128/IAI.71.7.4079-4086.2003>.
- Soares, Rodrigo Martins, Sílvio Luís Pereira de Souza, Luciane Holsback Silveira, Mikaela Renata Funada, Leonardo José Richtzenhain, et Solange M. Gennari. 2011. « Genotyping of Potentially Zoonotic *Giardia Duodenalis* from Exotic and Wild Animals Kept in Captivity in Brazil ». *Veterinary Parasitology* 180 (3): 344-48. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.03.049>.
- Solarczyk, Piotr, et Anna C. Majewska. 2011. « Prevalence and Multilocus Genotyping of *Giardia* from Animals at the Zoo of Poznan, Poland ». *Wiadomosci Parazytologiczne* 57 (3): 169-73.
- Stoner, Kathryn E. 1996. « Prevalence and Intensity of Intestinal Parasites in Mantled Howling Monkeys (*Alouatta palliata*) in Northeastern Costa Rica: Implications for Conservation Biology ». In *Conservation Biology*, 10:539-46. 2.
- Stoner, Kathryn E., et Ana M. González Di Pierro. 2006. « Intestinal Parasitic Infections in *Alouatta Pigra* in Tropical Rainforest in Lacandona, Chiapas, Mexico: Implications for Behavioral Ecology and Conservation ». In *New Perspectives in the Study of Mesoamerican Primates: Distribution, Ecology, Behavior, and Conservation*, édité par Alejandro Estrada, Paul A. Garber, Mary S. M. Pavelka, et LeAndra Luecke, 215-40. *Developments in Primatology: Progress and Prospects*. Boston, MA: Springer US. [https://doi.org/10.1007/0-387-25872-8\\_10](https://doi.org/10.1007/0-387-25872-8_10).
- Stuart, Michael D., Lisa L. Greenspan, Kenneth E. Glander, et Margaret R. Clarke. 1990. « A Coprological Survey of Parasites of Wild Mantled Howling Monkeys, *Alouatta palliata palliata* ». *Journal of Wildlife Diseases* 26 (4): 547-49. <https://doi.org/10.7589/0090-3558-26.4.547>.
- Stuart, Michael, Vickie Pendergast, Susan Rumpf, Suzanne Pierberg, Lisa Greenspan, Kenneth Glander, et Margaret Clarke. 1998. « Parasites of Wild Howlers (*Alouatta* Spp.) ». *International Journal of Primatology* 19 (3): 493-512. <https://doi.org/10.1023/A:1020312506375>.
- Suresh, K., et H. V. Smith. 2004. « Tropical Organisms in Asia/Africa/South America ». In *Waterborne Zoonoses: Identification, Causes, and Control*, édité par Joseph A. Cotruvo, 93-99. *Emerging Issues in Water and Infectious Disease Series*. London: IWA Publ.
- Thompson, R.C.A., et A. Ash. 2019. « Molecular Epidemiology of *Giardia* and *Cryptosporidium* Infections – What’s New? ». *Infection, Genetics and Evolution* 75 (novembre): 103951. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2019.103951>.
- Thompson, R.C.A., A.J. Lymbery, et A. Smith. 2010. « Parasites, Emerging Disease and Wildlife Conservation ». *International Journal for Parasitology* 40 (10): 1163-70. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2010.04.009>.

- Thompson, R.C.A., et P.T. Monis. 2004. « Variation in Giardia: Implications for Taxonomy and Epidemiology ». In *Advances in Parasitology*, 58:69-137. Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0065-308X\(04\)58002-8](https://doi.org/10.1016/S0065-308X(04)58002-8).
- Urbani, Bernardo, Dionisios Youlatos, et Martín M. Kowalewski. 2020. « Postural Behavior of Howler Monkeys (*Alouatta Palliata*, *A. Macconnelli*, and *A. Caraya*) during Sleep: An Assessment across the Genus Range ». *Primate Biology* 7 (2): 25-33. <https://doi.org/10.5194/pb-7-25-2020>.
- Vitazkova, Sylvia K., et Susan E. Wade. 2006. « Parasites of Free-Ranging Black Howler Monkeys (*Alouatta Pigra*) from Belize and Mexico ». *American Journal of Primatology* 68 (11): 1089-97. <https://doi.org/10.1002/ajp.20309>.
- Vitazkova, Sylvia K., et Susan E. Wade. 2007. « Effects of Ecology on the Gastrointestinal Parasites of *Alouatta Pigra* ». *International Journal of Primatology* 28 (6): 1327-43. <https://doi.org/10.1007/s10764-007-9229-2>.
- Volotão, A.C.C., J.C. Souza Júnior, C. Grassini, J.M. Peralta, et O. Fernandes. 2008. « Genotyping of *Giardia Duodenalis* from Southern Brown Howler Monkeys (*Alouatta Clamitans*) from Brazil ». *Veterinary Parasitology* 158 (1-2): 133-37. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2008.07.003>.
- Wilson, Don E., et DeeAnn M. Reeder. 2005. « Mammal Species of the World. A taxonomic and Geographic Reference (3rd ed) - *Alouatta* ». 2005. <https://www.departments.bucknell.edu/biology/resources/msw3/browse.asp?s=y&id=12100374>.
- Zanette, Régis A., Aleksandro S. da Silva, Fabiane Lunardi, Janio M. Santurio, et Silvia G. Monteiro. 2008. « Occurrence of Gastrointestinal Protozoa in *Didelphis Albiventris* (Opossum) in the Central Region of Rio Grande Do Sul State ». *Parasitology International* 57 (2): 217-18. <https://doi.org/10.1016/j.parint.2007.10.001>.
- Zhang, Xueping, Liqin Wang, Xinting Lan, Jiaming Dan, Zhihua Ren, Suizhong Cao, Lihong Shen, et al. 2020. « Occurrence and Multilocus Genotyping of *Giardia Duodenalis* in Captive Non-Human Primates from 12 Zoos in China ». Édité par Hesham M. Al-Mekhlafi. *PLOS ONE* 15 (2): e0228673. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228673>.



Vu: L'enseignant Rapporteur

De l'Ecole Nationale Vétérinaire,  
Agroalimentaire et de l'Alimentation  
Oniris



Claude GUINTARD

Vu: La Directrice Générale

De l'Ecole Nationale Vétérinaire,  
Agroalimentaire et de l'Alimentation  
Oniris

Laurence Deflesselle  
Par ordre et par délégation  
Sandy LECOQ-ESPALLARGAS



Nantes, le 18/11/20

Vu: Le Président de la Thèse

Professeur



**Professeur Stéphane PLOTEAU**  
Professeur des Universités - Praticien Hospitalier  
Laboratoire d'Anatomie - Faculté de Médecine  
Service de gynécologie-obstétrique  
Centre Fédératif de Pelvi-Périnéologie  
CHU de Nantes

Vu: Le Doyen de la Faculté de  
Médecine de Nantes

Professeur Pascale JOLLIET

**Vu et permis d'imprimer**

NOM : BAR  
Prénom : Amandine





# LA GIARDIOSE CHEZ LES SINGES HURLEURS EN AMERIQUE LATINE : PROPOSITION DE MESURES DE GESTION A PARTIR D'UN EXEMPLE

## RESUME

*Giardia duodenalis* est un parasite d'intérêt quant à la santé humaine et animale dans le monde. Les singes hurleurs (genre *Alouatta*), des primates vivant en Amérique latine, semblent particulièrement touchés, et d'autant plus en captivité. La population de singes hurleurs étant en déclin, des programmes de conservation sont mis en œuvre. Ainsi, des centres de réhabilitation accueillent des singes hurleurs afin de les réintégrer dans leur environnement naturel.

Cette étude réalise dans un premier temps une revue bibliographique de la giardiose chez les singes hurleurs en Amérique latine. Des données sur le protozoaire *Giardia duodenalis* et sur l'hôte d'intérêt, le genre *Alouatta*, sont abordées. Puis une étude clinique et épidémiologique de la giardiose chez ces primates est réalisée.

Dans une deuxième partie, le cas d'un foyer de giardiose chez des singes hurleurs, détenus dans le refuge et centre de réhabilitation *Güirá Oga* en Argentine, est étudié. Les conditions favorisant la survie du protozoaire et les récurrences fréquentes chez ces singes sont mises en évidence et des propositions de mesures de gestion sont élaborées.

## MOTS CLES

- *Giardia duodenalis*
- Protozoaire
- Parasitisme digestif
- *Alouatta*
- Primates
- Epidémiologie
- Etude clinique
- Gestion sanitaire
- Conservation des espèces
- Argentine

## JURY

Président : Monsieur Stéphane PLOTEAU Professeur à la Faculté de Médecine de Nantes.

Rapporteur : Monsieur Claude GUINTARD, Maître de conférences à ONIRIS

Assesseur : Madame Nadine RAVINET, Maître de conférences à ONIRIS

Membres invités : Monsieur Bruno POLACK, Maître de conférences à l'ENVA

Monsieur Patrick BOURDEAU, Professeur à ONIRIS

## ADRESSE DE L'AUTEUR

22 impasse ferme de la rive  
76290 Montivilliers