



HAL
open science

Analyse systématique des rations décrites chez les espèces du genre *Gorilla*

Thomas Fernandez Anssoux

► **To cite this version:**

Thomas Fernandez Anssoux. Analyse systématique des rations décrites chez les espèces du genre *Gorilla*. Sciences du Vivant [q-bio]. 2024. dumas-04889106

HAL Id: dumas-04889106

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04889106v1>

Submitted on 15 Jan 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

CAMPUS VÉTÉRINAIRE DE LYON

Année 2024 - Thèse n° 129

**ANALYSE SYSTÉMATIQUE DES RATIONS DÉCRITES
CHEZ LES ESPÈCES DU GENRE *GORILLA***

THESE

Présentée à l'Université Claude Bernard Lyon 1
(Médecine – Pharmacie)

Et soutenue publiquement le 10 décembre 2024
Pour obtenir le titre de Docteur Vétérinaire

Par

FERNANDEZ ANSSOUX Thomas

CAMPUS VÉTÉRINAIRE DE LYON

Année 2024 - Thèse n° 129

**ANALYSE SYSTÉMATIQUE DES RATIONS DÉCRITES
CHEZ LES ESPÈCES DU GENRE *GORILLA***

THESE

Présentée à l'Université Claude Bernard Lyon 1
(Médecine – Pharmacie)

Et soutenue publiquement le 10 décembre 2024
Pour obtenir le titre de Docteur Vétérinaire

Par

FERNANDEZ ANSSOUX Thomas

Liste des enseignants (29/08/2024)

Mme	ABITBOL	Marie	Professeur
M.	ALVES-DE-OLIVEIRA	Laurent	Maitre de conférences
Mme	ARCANGIOLI	Marie-Anne	Professeur
Mme	AYRAL	Florence	Maitre de conférences
Mme	BECKER	Claire	Professeur
Mme	BELLUCO	Sara	Maitre de conférences
Mme	BENAMOU-SMITH	Agnès	Maitre de conférences
M.	BENOIT	Etienne	Professeur
M.	BERNY	Philippe	Professeur
Mme	BLONDEL	Margaux	Maitre de conférences
M.	BOURGOIN	Gilles	Maitre de conférences
Mme	BRASSARD	Colline	Maitre de conférences (stagiaire)
M.	BRUTO	Maxime	Maitre de conférences
M.	BRUYERE	Pierre	Maitre de conférences
M.	BUFF	Samuel	Professeur
M.	BURONFOSSE	Thierry	Professeur
M.	CACHON	Thibaut	Maitre de conférences
M.	CADORÉ	Jean-Luc	Professeur
Mme	CALLAIT-CARDINAL	Marie-Pierre	Professeur
Mme	CANNON	Leah	Maitre de conférences (stagiaire)
M.	CHABANNE	Luc	Professeur
Mme	CHALVET-MONFRAY	Karine	Professeur
M.	CHANOIT	Guillaume	Professeur
M.	CHETOT	Thomas	Maitre de conférences
Mme	DE BOYER DES ROCHES	Alice	Professeur
Mme	DELIGNETTE-MULLER	Marie-Laure	Professeur
Mme	DJELOUADJI	Zorée	Professeur
Mme	ESCRIOU	Catherine	Maitre de conférences
M.	FRIKHA	Mohamed-Ridha	Maitre de conférences
M.	GALIA	Wessam	Maitre de conférences
M.	GILLET	Benoit	Maitre de conférences
Mme	GILOT-FROMONT	Emmanuelle	Professeur
M.	GONTHIER	Alain	Maitre de conférences
Mme	GREZEL	Delphine	Maitre de conférences
Mme	HUGONNARD	Marine	Maitre de conférences
Mme	JEANNIN	Anne	Inspecteur en santé publique vétérinaire
Mme	JOSSON-SCHRAMME	Anne	Chargée d'enseignement contractuelle
M.	JUNOT	Stéphane	Professeur
M.	KODJO	Angeli	Professeur
Mme	KRAFFT	Emilie	Maitre de conférences
Mme	LAABERKI	Maria-Halima	Maitre de conférences
Mme	LAMBERT	Véronique	Maitre de conférences
Mme	LE GRAND	Dominique	Professeur
Mme	LEBLOND	Agnès	Professeur
Mme	LEDOUX	Dorothee	Maitre de conférences
M.	LEFEBVRE	Sébastien	Maitre de conférences
Mme	LEFRANC-POHL	Anne-Cécile	Maitre de conférences
M.	LEGROS	Vincent	Maitre de conférences
M.	LEPAGE	Olivier	Professeur
Mme	LOUZIER	Vanessa	Professeur
M.	LURIER	Thibaut	Maitre de conférences
M.	MAGNIN	Mathieu	Maitre de conférences
M.	MARCHAL	Thierry	Professeur
Mme	MOSCA	Marion	Maitre de conférences
M.	MOUNIER	Luc	Professeur
Mme	PEROZ	Carole	Maitre de conférences
M.	PIN	Didier	Professeur
Mme	PONCE	Frédérique	Professeur
Mme	PORTIER	Karine	Professeur
Mme	POUZOT-NEVORET	Céline	Professeur
Mme	PROUILLAC	Caroline	Professeur
M.	RACHED	Antoine	Maitre de conférences
Mme	REMY	Denise	Professeur
Mme	RENE MARTELLET	Magalie	Maitre de conférences
M.	ROGER	Thierry	Professeur
M.	SAWAYA	Serge	Maitre de conférences
M.	SCHRAMME	Michael	Professeur
Mme	SERGENTET	Delphine	Professeur
Mme	STORCK	Fanny	Professeur
M.	TORTEREAU	Antonin	Maitre de conférences
Mme	VICTONI	Tatiana	Maitre de conférences
M.	ZENNER	Lionel	Professeur

Remerciements au jury

À Monsieur le Professeur Etienne BENOIT,

De VetAgro Sup, campus vétérinaire de Marcy l'Etoile,

Pour votre disponibilité et pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury,

Mes hommages respectueux.

À Monsieur le Docteur Sébastien LEFEBVRE,

De VetAgro Sup, campus vétérinaire de Marcy l'Etoile,

Pour votre investissement, votre disponibilité, votre patience et votre bienveillance dans la réflexion et l'écriture de cette thèse.

Mes remerciements les plus sincères.

À Monsieur le Docteur Antoine RACHED,

De VetAgro Sup, campus vétérinaire de Marcy l'Etoile,

Pour votre temps et votre disponibilité,

Mes remerciements les plus sincères.

Table des matières

Liste des annexes.....	11
Liste des figures.....	13
Liste des tableaux.....	15
Liste des abréviations.....	17
Introduction.....	19
Partie 1 : Etude bibliographique.....	21
I. Présentation générale des gorilles.....	21
1. Classification et taxonomie.....	21
a. Le genre <i>Gorilla</i>	21
b. Espèces et sous-espèces de gorille.....	21
2. Répartition géographique et habitat.....	22
a. Les gorilles de l'Ouest (<i>Gorilla gorilla</i>).....	22
b. Les gorilles de l'Est (<i>Gorilla beringei</i>).....	23
3. Ecologie.....	23
4. Menaces et conservation.....	24
II. Etude de la nutrition des gorilles.....	25
1. Régime alimentaire en milieu naturel.....	25
a. Composition du régime alimentaire en milieu naturel.....	25
(1) Régime alimentaire des gorilles de l'Ouest en milieu naturel (<i>Gorilla gorilla</i>).....	25
(2) Régime alimentaire des gorilles de l'Est en milieu naturel (<i>Gorilla beringei</i>).....	26
b. Variations de la composition de la ration liées à l'environnement.....	28
(1) Variations de la composition de la ration liées à l'habitat.....	28
(2) Variations de la composition de la ration liées à la saison.....	28
c. Comportements alimentaires.....	29
2. Régime alimentaire en parc zoologique.....	30
a. Importance du régime alimentaire en captivité.....	30
b. Composition du régime alimentaire en parc zoologique.....	30
(1) Recommandations nutritionnelles.....	30
(i) Sources des recommandations nutritionnelles.....	30
(ii) Apport énergétique de la ration.....	31
(iii) Apport en macronutriments et micronutriments.....	32
(iv) Composition de la ration en captivité.....	34
(v) Techniques de distribution de la ration.....	36

(vi)	Points de vigilance pour l'élaboration et la distribution de la ration	37
(vii)	Nutrition du nouveau-né	38
(2)	Mise en place dans les parcs zoologiques	38
(3)	Différences entre le régime en captivité et à l'état naturel	40
3.	Lien entre santé et nutrition	40
a.	Obésité	41
(1)	Prévalence de l'obésité.....	41
(2)	Cause de l'obésité et lien avec la nutrition	42
b.	Affections cardiaques.....	43
(1)	Prévalence et étiologie des affections cardiaques	43
(2)	Causes des affections cardiaques et lien avec la nutrition	44
c.	Diabète	45
d.	Affections digestives	46
e.	Affections bucco-dentaires.....	46
f.	Affections comportementales.....	47
(1)	Régurgitation/réingestion.....	47
(2)	Autres affections.....	49
g.	Carences	49
	Partie 2 : Analyse des rations décrites dans la bibliographie.....	51
I.	Méthode d'analyse	51
1.	Elaboration de la base de données	51
a.	Sélection des études	51
b.	Base de données.....	52
(1)	Construction du tableur.....	52
(2)	Rations incluses dans l'étude	53
(3)	Ajout des analyses nutritionnelles de certains aliments	55
2.	Exploitation de la base de données.....	55
a.	Ecriture du programme	55
b.	Estimation des informations manquantes	56
c.	Affichage des résultats	56
II.	Résultats de l'analyse de la base de données.....	56
1.	Comparaison des méthodes de calcul des analyses nutritionnelles.....	56
a.	Informations générales	56
b.	Résultats par nutriment en fonction de la méthode de calcul	57
(1)	Comparaison du NDF.....	58

(2)	Comparaison de l'Acid Detergent Fiber (ADF)	58
(3)	Comparaison des protéines	58
(4)	Comparaison des lipides.....	59
c.	Interprétation et discussion sur la comparaison de la méthode de calcul	59
(1)	Analyse générale des données	59
(2)	Comparaison des nutriments en fonction de la méthode de calcul.....	60
2.	Comparaison entre milieu naturel et captivité.....	61
a.	Informations générales	61
b.	Résultats par nutriments en fonction du milieu de vie.....	63
(1)	Comparaison des fibres	63
(2)	Comparaison des protéines	64
(3)	Comparaison des lipides.....	65
c.	Interprétation et discussion sur les milieux de vie	65
(1)	Analyse générale.....	65
(2)	Comparaison par nutriment en fonction des milieux de vie	65
(i)	Comparaison des fibres	65
(ii)	Comparaison des protéines.....	66
(iii)	Comparaison des lipides.....	67
(iv)	Comparaison des autres nutriments	67
3.	Comparaison interspécifique.....	68
a.	Informations générales	68
b.	Résultats par nutriment en fonction de la sous-espèce.....	69
(1)	Comparaison des fibres	69
(2)	Comparaison des protéines	70
c.	Interprétation et discussion sur la comparaison des sous-espèces.....	70
(1)	Visualisation générale	70
(2)	Comparaison par nutriment en fonction des sous-espèces	70
4.	Comparaison en fonction de l'effet sur la santé de la ration	71
a.	Informations générales	71
b.	Résultats par nutriments en fonction de l'effet sur la santé	71
(1)	Comparaison des fibres	71
(2)	Comparaison des protéines	72
(3)	Comparaison des lipides.....	72
(4)	Comparaison des autres nutriments.....	72
c.	Interprétation et discussion en fonction de l'effet sur la santé.....	73

5.	Analyse par date de parution de l'étude	74
a.	En milieu naturel.....	74
b.	En captivité	74
c.	Interprétation et discussion sur l'évolution chronologique	74
6.	Limites et biais de l'étude	75
a.	Limites générales.....	75
b.	Biais spécifiques à chaque comparaison	76
(1)	Biais spécifiques à la comparaison par méthode de calcul.....	76
(2)	Biais spécifiques à la comparaison entre milieu naturel et captivité.....	77
(3)	Biais spécifiques à la comparaison entre les sous-espèces	78
(4)	Biais spécifiques à la comparaison par effet sur la santé	78
(5)	Biais spécifiques à l'évolution en fonction de la date	79
	Conclusion.....	81
	Bibliographie	83
	Annexes	91

Liste des annexes

Annexe 1 : Extrait du feuillet « Etudes » de la base de données.....	91
Annexe 2 : Liste des études incluses dans la base de données.....	92
Annexe 3 : Extrait du code R ayant permis l'analyse de la base de données	93

Liste des figures

Figure 1 : Répartition géographique des gorilles. Revised Regional Action Plan for the Conservation of the Cross River Gorilla (<i>Gorilla gorilla diehli</i>) 2014–2019 (Dunn et al., 2014)	22
Figure 2. Proportion des différentes catégories d'aliments dans les régimes alimentaires des gorilles. Résultat du sondage dans 37 zoos nord-américains (Popovich et Dierenfeld, 1997)	38
Figure 3. Proportion des différentes catégories d'aliment dans les régimes alimentaires des gorilles dans 6 zoos. D'après Hampe, 1999.	39
Figure 4. Répartition des rations incluses par date de parution de l'étude.	54
Figure 5. Comparaison des pourcentages en matière sèche de protéines et de NDF pour l'ensemble des rations de la base de données en fonction de la méthode de calcul.	57
Figure 6. Comparaison des pourcentages en matière sèche de protéines et de NDF pour l'ensemble des rations de la base de données en fonction du milieu de vie.	62
Figure 7. Pourcentages en matière sèche de NDF en fonction du milieu de vie pour l'ensemble des rations de la base de données.	63
Figure 8. Pourcentages en matière sèche de protéines en fonction du milieu de vie pour l'ensemble des rations de la base de données.	64
Figure 9. Pourcentages en matière sèche de lipides en fonction du milieu de vie pour l'ensemble des rations de la base de données.	65
Figure 10. Comparaison des pourcentages en matière sèche de protéines et de NDF uniquement pour les rations en milieu naturel en fonction de la sous-espèce.....	68
Figure 11. Pourcentages en matière sèche de protéines en fonction de la sous-espèce uniquement pour les rations en milieu naturel.....	70
Figure 12. Pourcentage d'humidité en fonction de l'effet sur la santé uniquement pour les rations en parc zoologique.....	72

Liste des tableaux

Tableau I. Proportion des différents aliments dans le régime alimentaire de <i>Gorilla gorilla gorilla</i> (adapté d'après Robbins et al., 2022, Sabater Pí, 1977, Lodwick et Salmi, 2019, et Remis, 1997).	26
Tableau II. Proportion des différents aliments dans le régime alimentaire de <i>Gorilla beringei beringei</i> (adapté d'après Watts, 1984, McNeilage, 2001, et Rothman et al., 2007).	27
Tableau III. Recommandations nutritionnelles chez le gorille sur matière sèche (NRC, 2003).	33
Tableau IV. Comparaison des exemples de diètes proposées dans les manuels d'entretien des gorilles (adapté d'après Abelló et al., 2024 et AZA Gorilla SSP, 2017).	35
Tableau V. Ration recommandée en utilisant les aliments les plus utilisés en zoo et les recommandations du Gorilla SSP Draft Husbandry Manual (2008) (Smith et al., 2014).	36
Tableau VI. Mots-clés utilisés pour la pré-sélection des études.	51

Liste des abréviations

ADF : Acid Detergent Fiber

AZA : Association of Zoos and Aquariums

CITES : Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction

EAZA : European Association of Zoos and Aquariums

NDF : Neutral Detergent Fiber

NRC : National Research Council

R/R : Régurgitation-réingestion

UICN : Union Internationale sur la Conservation de la Nature

INTRODUCTION

Les gorilles, membres de la famille des Hominidés, sont parmi les plus proches parents génétiques de l'homme. Répartis en deux espèces distinctes – *Gorilla gorilla* et *Gorilla beringei* – et plusieurs sous-espèces, ces grands primates occupent une vaste zone géographique en Afrique. Malheureusement, les menaces qui pèsent sur les gorilles sont nombreuses. En effet, toutes les espèces de gorilles sont aujourd'hui classées comme étant en danger critique d'extinction par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), en raison de divers facteurs tels que la destruction de leur habitat, le braconnage et les maladies. La situation géopolitique et social de certains pays dans lesquels se trouvent leur habitat constitue un frein important aux recherches réalisées sur les gorilles en milieu naturel.

Leur classification taxonomique, leur répartition géographique, et leur écologie ont malgré tout été beaucoup étudiées. Les recherches sur leur nutrition ont également été nombreuses, mais les études qui s'intéressent spécifiquement aux rations des gorilles sont rendues difficiles par l'habitat de ces derniers, la distance importante parcourue chaque jour par ceux-ci, et la nécessité de conserver une certaine distance avec les animaux pour éviter toute habituation.

Son statut d'animal menacé et emblématique du combat pour la biodiversité a valu au gorille une place importante en parc zoologique. Les rations en captivité ont donc également été sujettes à de nombreuses études, dans un milieu où il est plus simple d'observer les gorilles de manière exhaustive.

Cette thèse se concentre sur l'analyse de l'ensemble des rations décrites dans la littérature, pour toutes les espèces et sous-espèces du genre *Gorilla*.

Dans une première partie, nous étudierons la bibliographie disponible sur l'écologie et la nutrition des gorilles en milieu naturel et en captivité, et sur les liens entre alimentation et santé chez le gorille.

Dans une deuxième partie, nous nous intéresserons à l'analyse des rations décrites, en se concentrant en particulier sur les comparaisons entre milieu naturel et captivité, entre les sous-espèces de gorilles, et en fonction de l'effet des rations sur la santé.

PARTIE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Présentation générale des gorilles

1. Classification et taxonomie

a. Le genre *Gorilla*

Le genre *Gorilla* a été décrit pour la première fois en 1852 par Isidore Geoffroy Saint-Hilaire, et appartient à l'ordre des primates. Il est l'un des quatre genres de la famille des Hominidés, qui comprend également les genres *Homo* (humains), *Pan* (chimpanzés et bonobos), et *Pongo* (orangs-outans). Il appartient à la sous-famille des Homininés, avec les genres *Pan* et *Homo*. Le genre *Gorilla* est donc, après les chimpanzés et les bonobos, le genre qui est génétiquement le plus proche de l'Homme (Scally et al., 2012).

b. Espèces et sous-espèces de gorille

La taxonomie du genre *Gorilla* a été plusieurs fois modifiée au cours du XX^{ème} siècle. On distingue actuellement deux espèces, le gorille de l'Ouest (*Gorilla gorilla*) et le gorille de l'Est (*Gorilla beringei*). Ces deux espèces sont aujourd'hui séparées géographiquement. Morphologiquement, les gorilles de l'Ouest sont bruns à noirs, avec souvent une zone de poil roux sur la tête, alors que les gorilles de l'Est sont noirs. Les gorilles de l'Est possèdent une mâchoire plus large et des dents plus longues que ceux de l'Ouest. Parmi les gorilles de l'Ouest, on distingue les gorilles des plaines de l'Ouest (*Gorilla gorilla gorilla*) et les gorilles de la rivière Cross (*Gorilla gorilla diehli*). Ces deux sous-espèces se distinguent notamment par des différences de morphologie crânienne. Parmi les gorilles de l'Est, on distingue les gorilles des plaines de l'Est (*Gorilla beringei graueri*) et les gorilles des montagnes (*Gorilla beringei beringei*). Ces deux sous-espèces se distinguent également par des différences de morphologie crânienne, et par la longueur des poils sur le dessus du crâne (Groves, 2018).

2. Répartition géographique et habitat

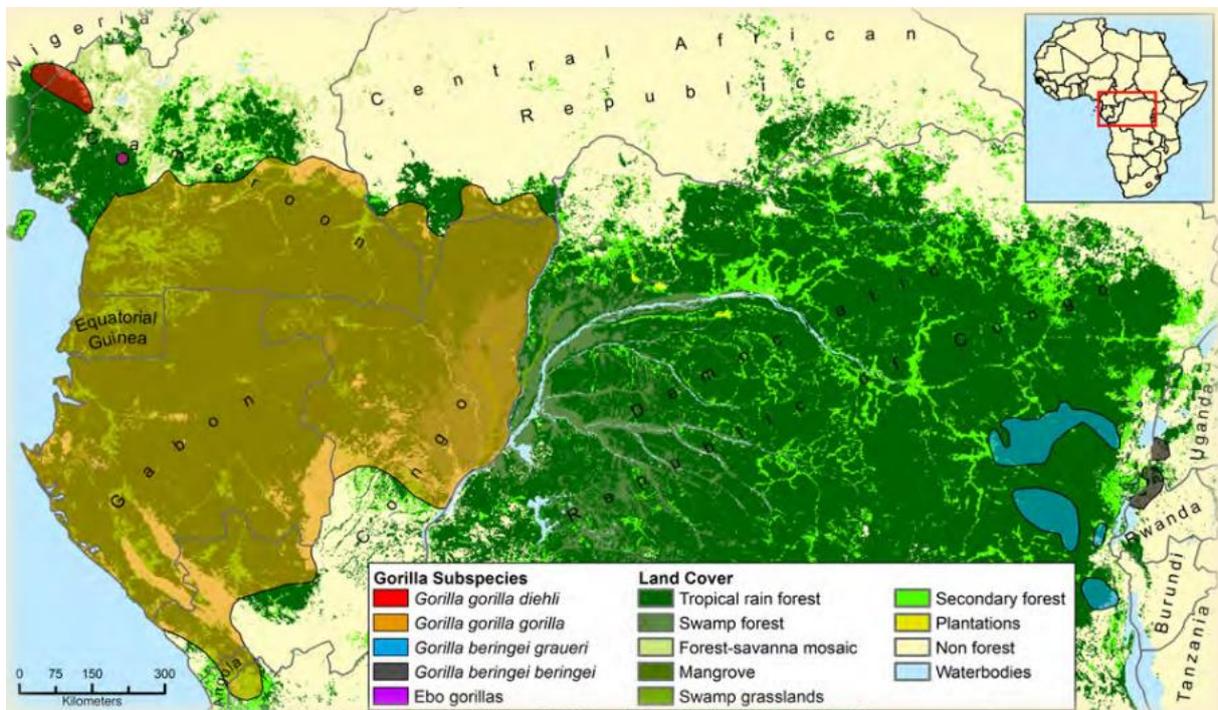


Figure 1 : Répartition géographique des gorilles. Revised Regional Action Plan for the Conservation of the Cross River Gorilla (*Gorilla gorilla diehli*) 2014–2019 (Dunn et al., 2014)

a. Les gorilles de l'Ouest (*Gorilla gorilla*)

Les gorilles de l'Ouest occupent un large territoire de plus de 700 000km², principalement au Gabon, en République du Congo, au Cameroun et en Guinée Equatoriale. Leur aire de répartition est en majorité située sous 500 mètres d'altitude, avec un maximum à 1900 mètres (IUCN, 2016).

Les gorilles de plaines de l'Ouest (*Gorilla gorilla gorilla*) occupent une grande majorité de ce territoire (figure 1). Leur habitat est composé de forêt tropicale de basse altitude, de forêt et de prairie marécageuses. Leur population est estimée en 2015 entre 150 000 et 200 000 individus (Sop et al., 2015).

Les gorilles de la rivière Cross (*Gorilla gorilla diehli*) occupent la région située au sud de la frontière entre le Nigéria et le Cameroun (figure 1). Leur habitat est

composé de forêt tropicale et subtropicale, dans des zones montagneuses et peu fréquentées par l'Homme. Il est occasionnellement observé dans des zones de basse altitude qui connectent ces territoires montagneux entre eux (Bergl et al., 2012). Leur population est estimée en 2014 à environ 300 individus (Dunn et al., 2014).

b. Les gorilles de l'Est (*Gorilla beringei*)

L'aire de répartition des gorilles de l'Est s'étend principalement à l'Est de la République Démocratique du Congo, au Rwanda et en Ouganda avec une altitude comprise entre 600 et 3800 mètres (IUCN, 2018).

Les gorilles des plaines de l'Est (*Gorilla beringei graueri*) occupent des forêts tropicales de basse altitude, des forêts transitionnelles, et des forêts d'afromontane, à des altitudes allant de 600 à 2900 mètres, ce qui en fait la sous-espèce de gorille avec les plus grandes variations d'altitude dans son habitat (Williamson et al., 2013). En 2016, leur population est estimée à 3800 individus (Plumptre et al., 2016).

Les gorilles des montagnes (*Gorilla beringei beringei*) occupent des forêts transitionnelles, des forêts d'afromontane et parfois des prairies alpines, à des altitudes généralement supérieures à 1400 mètres (IUCN, 2018). Leur population est estimée à environ 1000 individus (Hickey et al., 2019).

3. Ecologie

Les gorilles sont des animaux diurnes et semi-terrestres. Ce sont des animaux sociaux, vivant dans des groupes composés d'au moins un mâle dominant (communément nommé 'dos argenté'), de plusieurs femelles et de leur juvéniles. Alors que les gorilles de l'Ouest ne comprennent jamais plus d'un mâle adulte, les groupes de gorilles de l'Est sont dans 40 à 45 % des cas multimâles (Robbins et Robbins, 2018). Des mâles solitaires sont aussi régulièrement observés. Les différences d'organisation sociales entre les gorilles de l'Est et de l'Ouest sont encore peu connues, mais il semble que les groupes de gorilles de l'Ouest sont plus sujets aux scissions et aux regroupements que ceux des gorilles de l'Est (Doran et McNeilage,

1998). La taille moyenne des groupes est d'environ 10 individus, mais varie selon les sous-espèces (Plumptre et al., 2016).

Les gorilles construisent chaque nuit des nids, qui peuvent être terrestres ou arboricoles (Brugière et Sakom, 2001). Le budget-temps des gorilles se répartit principalement, dans l'ordre, entre les comportements alimentaires, le repos, les déplacements et les comportements sociaux, et est influencé notamment par le sexe et le poids de l'animal, la structure du groupe social, le type de végétation dans l'environnement et la quantité de nourriture à disposition (Watts, 1988).

4. Menaces et conservation

Toutes les espèces de gorilles sont classées en danger critique d'extinction par la liste rouge de l'UICN, depuis 2007 pour les gorilles de l'Ouest, et depuis 2016 pour les gorilles de l'Est. Selon l'UICN, les principales menaces qui pèsent sur les deux espèces de gorilles sont le braconnage, les maladies, la dégradation de leur habitat et le changement climatique. Le contexte politico-militaire et la présence de nombreux groupes armés rebelles dans les forêts de la République Démocratique du Congo ajoutent des menaces sur les gorilles de l'Est, rendant encore plus difficiles les actions de conservation et de recherche (Maisels et al., 2018, IUCN, 2018).

La diminution des populations des gorilles de l'Ouest est estimée à 19,7 % entre 2005 et 2013 (Strindberg et al. 2018). Pour les gorilles de l'Est, la population de gorilles des montagnes est estimée en légère croissance (Hickey et al., 2019). La population des gorilles des plaines de l'Est, qui représente une grande majorité des individus de l'espèce, est au contraire en forte diminution, passant de 16 900 à 3800 (Plumptre, 2016). Dans l'ensemble, la diminution de la population des gorilles de l'Est est estimée à 80 % sur trois générations de gorilles (IUCN, 2018).

Les deux espèces de gorilles sont inscrites sur l'annexe 1 de la Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (CITES), ce qui implique l'interdiction de leur commerce international. Elles sont également inscrites dans la classe A de la Convention Africaine pour la conservation de la nature et des ressources naturelles, interdisant leur chasse, leur capture, leur abattage et leur collecte. Néanmoins, l'UICN souligne que ce cadre légal est respecté de manière variable selon les Etats et les régions.

Pour les gorilles de l'Est, la totalité du territoire des gorilles des montagnes, et un quart du territoire des gorilles des plaines de l'Est sont situés dans des zones protégées. Pour les gorilles de l'Ouest, environ 14 % de leur territoire est situé dans des zones protégées (Strindberg et al., 2018).

Selon l'UICN, les efforts de conservation doivent s'adapter à l'évaluation du contexte économique, sociétal et politique, et se poursuivre sur le long terme. L'organisation a établi des plans et recommandations pour chacune des espèces de gorilles.

II. Etude de la nutrition des gorilles

1. Régime alimentaire en milieu naturel

Les gorilles sont folivores à frugivores. Leur régime alimentaire dépend de l'espèce, de la sous-espèce, du groupe de gorille étudié, de leur habitat et de la période de l'année (Robbins et al., 2022). Historiquement, les gorilles de l'Est, et en particulier les gorilles des montagnes (*Gorilla beringei beringei*) ont été beaucoup plus étudiés. Cela s'explique par leur répartition géographique restreinte, dans des zones protégées, et leur plus grande habitude à la présence des humains : les populations des montagnes des Virunga et de la forêt impénétrable de Bwindi sont principalement concernées (Robbins et al., 2022)

a. Composition du régime alimentaire en milieu naturel

(1) Régime alimentaire des gorilles de l'Ouest en milieu naturel (*Gorilla gorilla*)

Les gorilles des plaines de l'Ouest sont folivores à frugivores. Leur régime alimentaire est composé de fruits, de végétations herbacées (feuilles, herbes, tiges, moelle, racines, écorces, pousses), et occasionnellement des insectes, des invertébrés et du bois mort (Sabater Pí, 1977).

Tableau I. Proportion des différents aliments dans le régime alimentaire de *Gorilla gorilla gorilla* (adapté d'après Robbins et al., 2022, Sabater Pí, 1977, Lodwick et Salmi, 2019, et Remis, 1997).

	Robbins, 2022	Sabater Pí, 1977	Lodwick et Salmi, 2019	Remis, 1997
Feuilles et herbes	52	34	54	36
Fruits (dont graines)	41	40	35	51
Moelle	/	21	/	/
Termites	/	/	6	/
Ecorce	/	/	/	12
Autre	7	5	5	/

L'étude de Robbins s'est intéressée à la population de gorilles de Loango, celle de Sabater Pí à la population du Rio Muni, celle de Lodwick et Salmi à la population de Mondika, et celle de Remis à la population de Bai Hokou.

Les gorilles des plaines de l'Ouest consomment une grande diversité de plantes et de fruits, entre 106 et 239 selon les études (Lodwick et Salmi, 2019, Remis, 1997). La diversité est particulièrement importante parmi les fruits consommés : parmi les ingrédients retrouvés dans leur régime alimentaire, 42 % à 57 % sont des fruits (Lodwick et Salmi, 2019, Robbins et al., 2022). Les principales espèces présentes dans le régime alimentaire des gorilles de l'Ouest varient selon les sites étudiés (Robbins et al., 2022)

Les gorilles de la rivière Cross (*Gorilla gorilla diehli*) ont un régime alimentaire proche de celui des gorilles des plaines de l'Ouest. Les espèces consommées diffèrent cependant selon les habitats des populations de gorilles (Etiendem et Tagg, 2013)

(2) Régime alimentaire des gorilles de l'Est en milieu naturel (*Gorilla beringei*)

Les gorilles des montagnes sont folivores. Leur régime alimentaire est composé de végétation herbacée (feuilles, herbes, tiges, moelle, racines, écorces, pousses), et occasionnellement de fruits, de bois, de feuilles mortes et de graines.

Tableau II. Proportion des différents aliments dans le régime alimentaire de *Gorilla beringei beringei* (adapté d'après Watts, 1984, McNeilage, 2001, et Rothman et al., 2007).

	Watts, 1984	McNeilage, 2001	Rothman et al., 2007
Feuilles et herbes	67,70	58-70	68,4
Tiges	24,96	5-30	5,5
Moelle	2,44	5-6	6,4
Racines	1,65	4-10	< 0,1
Ecorces	1,38	/	0,5
Fleurs	1,13	/	< 0,1
Pousses	/	0-2	/
Fruits (dont graines)	0,25	/	15,3
Bois en décomposition	0,04	/	3,9

Les études de Watts et de McNeilage se sont intéressées à la population des Virungas, et l'étude de Rothman et al. à celle de Bwindi. On remarque que celle-ci est plus frugivore.

Les gorilles des plaines de l'Est (*Gorilla beringei graueri*), consomment plus de fruits que les gorilles des montagnes (Yamagiwa et al., 2005). Leur consommation de fruits évolue entre 3,0 et 29,6 % selon le mois de l'année (Van der Hoek et al., 2021). Le reste de leur régime alimentaire est composé de feuilles, d'herbes, de tiges, de moelles, de racines et d'écorces. Leur régime alimentaire est donc plus proche de celui des gorilles de l'Ouest.

Les gorilles de l'Est consomment une grande diversité de plantes et de fruits, mais celle-ci reste plus faible que pour les gorilles de l'Ouest. Quelques espèces de plantes présentes en grande quantité dans l'environnement, mais qui diffèrent selon les groupes observés, représentent la majeure partie de leur régime alimentaire

(McNeilage, 2001). *Myrianthus holstii* est ainsi présente dans 20 % des échantillons fécaux d'un groupe de gorilles de Bwindi (Stanford et Nkurunungi, 2003). Selon une autre étude, les principaux aliments des gorilles de Bwindi sont les suivants : *Urera* spp. 19,2 %, *Ipomoea* spp. 8,8 %, et *Myrianthus* spp. 8,6 % (Rothman et al., 2007). *Galium* spp. représente 34,96 % de la biomasse ingérée par la population de gorille des Virungas (McNeilage, 2001). Une autre étude établit la proportion de *Galium* ingéré à 35,7 %, avec *Carduus* spp. à 31,5 % (Watts, 1984).

b. Variations de la composition de la ration liées à l'environnement

(1) Variations de la composition de la ration liées à l'habitat

Les deux espèces de gorilles occupent des habitats situés à des altitudes variées ce qui cause des différences environnementales marquées. Les gorilles de l'Est, et en particulier les gorilles des montagnes, occupent des habitats de plus haute altitude que les gorilles de l'Ouest. L'habitat des gorilles de l'Ouest possède une densité de végétation herbacée plus faible, une densité plus élevée d'arbres fruitiers et une plus grande diversité de plantes (Lodwick et Salmi, 2019). Ces différences environnementales pourraient être un facteur explicatif des différences observées dans les régimes alimentaires. Les gorilles des montagnes consomment moins de fruits, mais une grande proportion de leur alimentation est composée de quelques espèces d'herbes et de feuilles disponibles en quantité abondante (Ganas et al., 2009). Les gorilles de l'Ouest consomment plus de fruits et une plus grande diversité d'espèces (Remis, 1997). Les gorilles des plaines de l'Est consomment une diversité d'espèces intermédiaire par rapport aux autres sous-espèces (Rogers et al., 2004). Les gorilles de l'Ouest consomment également des espèces présentes en petite quantité dans leur environnement, ce qui constitue une autre différence par rapport aux gorilles de l'Est qui privilégient les espèces présentes en grande quantité (Rogers et al., 2004). L'altitude et les caractéristiques de l'habitat entraînent également des différences intraspécifiques de régimes alimentaires, ce qui a été montré chez le gorille des plaines de l'Est : la proportion de fruits présente dans l'alimentation diffère selon l'altitude et l'habitat de la population étudiée (Van der Hoek et al., 2021).

(2) Variations de la composition de la ration liées à la saison

Les gorilles de l'Ouest, frugivores, ont une consommation de fruits qui évoluent fortement selon la période de l'année et la disponibilité des fruits. La consommation de fruit des gorilles de l'Ouest évolue sur l'année et est positivement corrélée à la quantité de fruits disponibles (Robbins et al., 2022). Selon les régions étudiées, les périodes de disponibilité des fruits peuvent être semestriel, annuel ou biennal, ce qui provoque des variations de la proportion et des espèces de fruits contenus dans le régime alimentaire des gorilles (Etiendem et Tagg, 2013). Le temps passé par les gorilles de l'Ouest à se nourrir de fruits évolue entre 0 et 70 % du temps d'alimentation, selon les périodes de l'année (Masi et al., 2009, Robbins et al., 2022). Cette variation annuelle est également présente chez les gorilles des plaines de l'Est vivant en basse altitude, avec une consommation de fruits augmentée durant la saison humide de septembre à décembre (Van der Hoek et al., 2021). Chez les gorilles des montagnes, les variations saisonnières de régimes alimentaires sont très peu présentes (Watts, 1998). Seule la consommation de jeunes pousses de bambou semble varier selon la période de l'année (McNeilage, 2001).

c. Comportements alimentaires

Le temps consacré à l'alimentation a été estimé entre 45 et 55 % chez le gorille des montagnes (Harcourt et Stewart, 1984, Remis, 1994). Chez le gorille de l'Ouest, il a été estimé entre 54 et 72 % (Watts, 1988, Magliocca et Gautier-Hion, 2002, Masi et al., 2009). Le temps passé à s'alimenter est donc majoritaire dans le budget temps des gorilles. Chez les gorilles de l'Ouest, lors de la saison des fruits, le temps passé à s'alimenter diminue et le temps passé à se déplacer augmente, ce qui est probablement lié à la recherche des arbres fruitiers (Masi et al., 2015).

Les gorilles de l'Ouest se déplacent plus loin à la recherche de nourriture, ce qui résulte en des aires de répartition plus étendues (Lodwick et Salmi, 2019). La distance moyenne parcourue par jour a été mesurée entre 1470 et 2083 mètres chez les gorilles de l'Ouest (Cipolletta, 2004) et entre 550 et 1032 mètres chez les gorilles de l'Est (Ganas et Robbin, 2005). Cela pourrait être un des facteurs explicatifs des groupes de plus petite taille chez les gorilles de l'Ouest (Tutin, 1996).

Les comportements alimentaires apparaissent donc fortement liés au régime alimentaire des gorilles, qui eux-mêmes dépendent de l'habitat et de la disponibilité des différentes ressources. Les populations plus frugivores se déplacent ainsi sur de

plus grandes distances à la recherche de fruits, avec un temps consacré aux déplacements plus important (Etiendem et Tagg, 2013).

2. Régime alimentaire en parc zoologique

a. Importance du régime alimentaire en captivité

Les gorilles présents en captivité sont exclusivement des gorilles des plaines de l'Ouest et leur population s'élevait en 2019 à environ 800 individus répertoriés sur ZIMS (logiciel utilisé par les parcs zoologiques). Contrairement au milieu naturel où les gorilles ont accès à un grand nombre d'aliments librement, la nourriture proposée en captivité est contrôlée et limitée, ce qui nécessite qu'elle soit adaptée au besoin des gorilles. Plusieurs contraintes complexifient la création de ces régimes alimentaires, notamment les connaissances limitées sur la diète à l'état naturel, les différences nutritionnelles entre les aliments disponibles en parc zoologique et à l'état naturel, et les limites économiques et pratiques liées à la captivité (taille des enclos limités notamment). L'objectif étant de satisfaire malgré ces contraintes les besoins nutritionnels des individus, tout en reproduisant au mieux les comportements alimentaires de l'espèce à l'état naturel.

b. Composition du régime alimentaire en parc zoologique

(1) Recommandations nutritionnelles

(i) Sources des recommandations nutritionnelles

La composition des régimes alimentaires des gorilles captifs évolue rapidement avec l'avancée des connaissances scientifiques sur le sujet. Plusieurs documents de référence permettent aux parcs zoologiques de disposer d'informations récentes et d'uniformiser la gestion de la nutrition des gorilles en captivité.

Les besoins nutritionnels des gorilles utilisés comme référence aujourd'hui proviennent du « Nutrient Requirements of Nonhuman Primates » publié par le « National Research Council » (abrégé NRC) en 2003. Il s'agit d'un document de 300 pages qui synthétise les connaissances de l'époque en matière de nutrition des gorilles. Il propose un tableau synthétique des besoins en nutriment.

L'association nord-américaine des zoos et aquariums (AZA) a publié en 2017, via le groupe de travail « AZA Ape Taxon Advisory Group (TAG) », en association avec l' « AZA Gorilla Species Survival Plan (SSP) © Program » le « Gorilla Care Manual » à destination des zoos. Il regroupe les connaissances sur tous les aspects de la captivité des gorilles, et consacre un chapitre à leur nutrition, en proposant des recommandations nutritionnelles, des rations, et des méthodes de suivi nutritionnel.

L'association européenne des zoos et aquariums (EAZA) a publié en 2024 la troisième édition des « Best Practice Guidelines » (BPG) pour le taxon *Gorilla* (Abelló et al., 2024). Il s'agit d'un document général sur tous les aspects du maintien en captivité des gorilles à destination des parcs. Une section y est consacrée à la nutrition, en prenant en compte la composition de la diète, la distribution de celle-ci et la gestion des situations particulières (souci de santé, stade physiologique spéciaux).

(ii) Apport énergétique de la ration

Plusieurs méthodes ont été proposées pour estimer l'énergie métabolisable nécessaire aux gorilles. La première est l'équation suivante $ME \text{ (kcal)} = 100 \times PV^{0,75}$ où PV est le Poids Vif en kilogramme (proposée par King en 1978). Cette méthode a été utilisée en parcs zoologiques et semble permettre un maintien du poids des animaux (AZA Gorilla SSP, 2017). Une deuxième méthode se base sur 4,5 % de la masse corporelle, à partir d'une ration proposée composée de 50 % de légumes, 15 % de végétaux (feuilles, jeunes pousses), et 15 % de biscuits pour primates à haute teneur en fibre (Abelló et al., 2024). Cette deuxième méthode est linéaire et ne prend donc pas en compte l'exposant 0,75 de l'équation proposée par King, et ne donne pas d'information sur la teneur énergétique de la ration proposée.

Ces deux méthodes nécessitent de connaître la masse corporelle des gorilles. Soit les zoos disposent d'une méthode de mesure directe, ce qui permet également un suivi dans le temps, soit il est possible d'utiliser des valeurs moyennes, possiblement complétées par des assertions visuelles. Le poids moyen d'un individu mâle adulte en captivité est estimé de 150 kg, et celui d'une femelle adulte de 100 kg (Popovich et Dierenfeld, 1997). On obtiendrait ainsi 3162 kcal en moyenne pour les femelles et 4286 kcal en moyenne pour les mâles avec la première méthode. La seconde méthode donnerait en moyenne 4,5 kg de ration-type pour les femelles et 6,75 kg pour les mâles.

D'autres éléments peuvent influencer sur le besoin énergétique quotidien des gorilles. Un niveau d'activité plus élevé augmentera un besoin énergétique plus élevé et inversement (AZA Gorilla SSP, 2017). Une ration sans biscuit pour primates et avec un niveau de fibre plus élevé entraîne une forte augmentation du besoin calorique : un lien avec la plus faible digestibilité de la ration est suspecté (Less et al., 2014b). Un effet de nivellement des protéines, mis en évidence chez d'autres primates, est suspecté : l'animal régulerait plutôt l'apport en protéine que l'apport énergétique, entraînant une augmentation de ce dernier lorsque la teneur en protéine de l'alimentation est plus faible.

Le statut physiologique exerce également une influence. La croissance, la gestation et la lactation entraînent une augmentation du besoin énergétique. Pour la gestation, il est recommandé d'augmenter la quantité distribuée à partir du deuxième trimestre entre 14 et 20 %, bien que beaucoup d'institutions augmentent entre 30 et 50 % (Abelló et al., 2024). Il a été montré que l'assimilation était plus efficace chez les femelles en gestation chez un autre primate (Kemnitz et al., 1984) ce qui explique la non-augmentation durant le premier trimestre. Il faut également adapter l'augmentation à chaque individu et à sa condition corporelle, et réduire l'augmentation chez les individus obèses (AZA Gorilla SSP, 2017). La lactation est considérée comme étant le stade physiologique le plus demandant en énergie (AZA Gorilla SSP, 2017). Il a été proposé d'ajouter 484 kcal par jour à la ration, sans modification de celle-ci (NRC, 2003). Il est également possible d'augmenter légèrement la proportion des aliments denses en énergie (biscuits pour primates) pour assurer un apport en minéraux suffisant (Abelló et al., 2024). Encore une fois, il faut adapter cette augmentation à chaque individu en prenant en compte sa condition corporelle. Enfin, durant la croissance, il est recommandé d'augmenter la quantité distribuée en conservant la même ration à partir d'un an d'âge. La quantité totale peut être de 6,5 % de la masse corporelle au lieu de 4,5 %.

Les températures extérieures à la zone de thermoneutralité des gorilles entraîne une augmentation du besoin énergétique (NRC, 2003). Néanmoins, il est considéré que les infrastructures d'accueil des gorilles permettent d'éviter l'exposition aux températures extrêmes (AZA Gorilla SSP, 2017).

(iii) Apport en macronutriments et micronutriments

Plusieurs études ont permis d'estimer les apports en macro et micronutriments des gorilles à l'état sauvage. Leur analyse approfondie se fera dans la deuxième partie de ce travail. Les données présentées dans le tableau III sont issues des recommandations nutritionnelles établies en 2003 pour les primates non-humains par le NRC.

Tableau III. Recommandations nutritionnelles chez le gorille sur matière sèche (NRC, 2003).

Nutrient	Concentration
Crude protein, %	15-22 ^b
Essential n-3 fatty acids, %	0.5
Essential n-6 fatty acids, %	2
NDF, %	10-30 ^c
ADF, %	5-15 ^c
Ca, %	0.8
Total P, %	0.6 ^d
Non-phytate P, %	0.4
Mg, %	0.08
K, %	0.4
Na, %	0.2
Cl, %	0.2
Fe, mg·kg ⁻¹	100 ^e
Cu, mg·kg ⁻¹	20
Mn, mg·kg ⁻¹	20
Zn, mg·kg ⁻¹	100
I, mg·kg ⁻¹	0.35
Se, mg·kg ⁻¹	0.3
Trivalent Cr, mg·kg ⁻¹	0.2
Vitamin A, IU·kg ⁻¹	8,000
Vitamin D ₃ , IU·kg ⁻¹	2,500 ^f
Vitamin E, mg·kg ⁻¹	100 ^g
Vitamin K, mg·kg ⁻¹	0.5 ^h
Thiamin, mg·kg ⁻¹	3.0
Riboflavin, mg·kg ⁻¹	4.0
Pantothenic acid, mg·kg ⁻¹	12.0
Available niacin, mg·kg ⁻¹	25.0 ⁱ
Vitamin B ₆ , mg·kg ⁻¹	4.0
Biotin, mg·kg ⁻¹	0.2
Folacin, mg·kg ⁻¹	4.0
Vitamin B ₁₂ , mg·kg ⁻¹	0.03
Vitamin C, mg·kg ⁻¹	200 ^j
Choline, mg·kg ⁻¹	750

Une attention particulière doit néanmoins être apportée à la biodisponibilité de chacun de ces nutriments, en particulier le zinc, le phosphore et la vitamine B8. Il est également recommandé pour les zoos avec des taux d'ensoleillement plus faibles, ainsi que pour les jeunes animaux qui ont un accès limité à l'extérieur, d'évaluer la nécessité d'une complémentation supplémentaire en vitamine D (AZA Gorilla SSP, 2017). Il s'agit de plus de recommandations communes à tous les primates non-humains, et non spécifiques des gorilles, il est donc important d'également prendre en compte les données sur les rations consommées à l'état naturel par ceux-ci.

Ces besoins nutritionnels dépendent également du statut physiologique. Il est ainsi recommandé d'accorder une attention particulière aux apports en

micronutriments chez l'animal en croissance et chez la femelle en gestation et en lactation. Chez cette dernière, le ratio calcium/phosphore doit être supérieur à 2/1, avec l'ajout de supplémentation en calcium si ce n'est pas le cas. Les autres supplémentations en minéraux, en particulier en fer et en vitamines, peuvent être réalisées de manière prophylactique, sous la supervision d'un nutritionniste afin d'éviter tout excès (Abelló et al., 2024).

(iv) Composition de la ration en captivité

Différentes approches ont été proposées selon les auteurs pour obtenir des rations adaptées aux gorilles présents en captivité, dont certaines sont présentées ci-dessous. Celles-ci répondent à plusieurs recommandations qui doivent être commune à toutes les rations.

La proportion de légume doit être augmentée, et celle des fruits diminuée (Abelló et al., 2024). En effet, augmenter la proportion d'aliment plus fibreux, moins calorique et moins sucré a un effet bénéfique sur la satiété (Remis et Dierenfeld, 2004). Cela peut être complété par du fourrage ou de la luzerne (Abelló et al., 2024). Il est recommandé de supprimer totalement les fruits chez les animaux obèses (AZA Gorilla SSP, 2017). L'apport de branchage de manière régulière est considéré comme essentiel (Abelló et al., 2024). De la même manière, les aliments industriels doivent être sélectionnés avec un apport en fibre haut (Neutral Detergent Fiber (NDF) supérieur à 25 %), et un apport en matière grasse faible (avec lipide <8 %) (Abelló et al., 2024).

Au contraire, certains aliments ne doivent pas être proposés aux gorilles. Bien que frugivores à l'état sauvage, les fruits à disposition en parc zoologique sont issus de la culture pour l'Homme, et leur composition diffère fortement de ceux consommés par les gorilles à l'état naturel, avec des sucres rapides présents en quantité plus importante, et des taux de protéines et de fibres plus faibles. La composition en macronutriments de ces fruits sauvages est considérée comme étant plus proche des légumes cultivés (Ofstedal and Allen, 1997, Schwitzer and Kaumanns, 2003). La réduction de leur proportion pourrait permettre une diminution de la prévalence de certaines maladies comme le diabète, les problèmes dentaires ou l'obésité (Less et al., 2014b).

Les produits d'origine animale, bien que traditionnellement souvent utilisé dans la ration des gorilles en captivité, doivent être proscrits. Il s'agit de la viande, des œufs, du poisson et des produits laitiers. Ils contiennent en effet une quantité de graisse saturé trop élevée par rapport au régime alimentaire des gorilles (Reiner et al., 2014).

Les aliments présents dans la ration doivent dans l'idéal être issus de filières éco-responsables et locales, et une analyse nutritionnelle devrait être réalisée régulièrement (AZA Gorilla SSP, 2017).

Le guide de bonne pratique de l'EAZA propose trois rations dont celle présentée dans le tableau IV pour cinq gorilles adultes, mise en comparaison avec celle proposée par l'AZA dans son 'Care Manual'.

Tableau IV. Comparaison des exemples de diètes proposées dans les manuels d'entretien des gorilles (adapté d'après Abelló et al., 2024 et AZA Gorilla SSP, 2017).

Catégorie d'aliment	Proportion recommandée (1) (%)	Proportion recommandée (2) (%)
Biscuits pour primate à haute teneur en fibre	0,7	15
Légume-racine	12	4
Légumes riches en eau	47	17
Légumes feuillus	41	57
Branchages	0,1	/

(1) EAZA Gorilla BPG, 2024

(2) AZA Gorilla SSP Care Manual, 2017

Chaque catégorie correspond à un groupe d'aliment. La ration permet ainsi une certaine flexibilité et une plus grande diversité dans les aliments proposés. On observe dans les deux propositions une proportion importante de légumes, et l'absence de fruits. Il y a également des disparités importantes de certains aliments, notamment les biscuits pour primates.

Smith et al. proposent une ration en s'appuyant sur les aliments les plus communément distribués en parc zoologique, présentée dans le tableau V.

Tableau V. Ration recommandée en utilisant les aliments les plus utilisés en zoo et les recommandations du Gorilla SSP Draft Husbandry Manual (2008) (Smith et al., 2014).

Aliment	Quantité (g)
Pomme	78
Banane	185
Orange	89
Laitue	3014
Patate	212
Brocolis	432
Céleri	36
Concombre	216
Oignon	108
Poivron	117
Biscuit pour primate à haute teneur en fibre	529
Graine de tournesol	69

Le tableau V illustre comment utiliser les recommandations pour créer une ration adaptée. Chaque parc peut ainsi créer sa propre version selon ses propres contraintes et nécessités.

(v) Techniques de distribution de la ration

Comme vu précédemment, les gorilles sauvages passent la majorité de leur temps à se nourrir. Il est important que les gorilles en captivité se rapprochent de ce comportement, de manière à respecter de leur comportement naturel.

Il est recommandé de réaliser plusieurs petits repas dans la journée, au minimum trois (AZA Gorilla SSP, 2017), voire quatre (Abelló et al., 2024). Pour reproduire au mieux les conditions naturelles et limiter la compétition entre les individus, la nourriture doit être répartie dans l'aire d'exploration. Les techniques de mise à disposition de la nourriture doivent varier au maximum, et les enrichissements doivent être réalisés aussi régulièrement que possible : la nourriture peut être cachée,

mise à disposition dans des boîtes fermées ou dans des structures peu accessibles, distribuée dans des glaçons... Le mouvement doit être encouragé au maximum, tout comme l'exploration de l'environnement (AZA Gorilla SSP, 2017). Il est également recommandé de distribuer les aliments denses en énergie en ciblant les individus concernés pour mieux contrôler les apports énergétiques (AZA Gorilla SSP, 2017).

Cependant les aliments ne doivent pas être trop petits, au risque que les gorilles perdent leur intérêt pour la nourriture (Hemphill et McGrew, 1988). Des auteurs recommandent également de distribuer la nourriture entière, pour permettre aux gorilles d'imiter au mieux leurs comportements alimentaires naturels et pour augmenter le temps passé à s'alimenter (Plowman et al., 2009). Pour conserver l'intérêt des gorilles, les aliments peuvent être proposés selon des modalités différentes : coupés différemment, cuits (à limiter car cela augmente la proportion de sucres rapides) ou crus, accompagnés d'épices (éviter le sel), ou d'autres condiments pour modifier leur goût (AZA Gorilla SSP, 2017)

(vi) Points de vigilance pour l'élaboration et la distribution de la ration

Plusieurs éléments sont à surveiller en particulier lorsque l'on suit ces recommandations nutritionnelles.

L'ingestion totale de la ration est un point important. Il faut éviter que certains individus ignorent des aliments de la ration ou consomment l'entièreté d'un groupe d'aliments prévu pour l'ensemble du groupe, entraînant des déséquilibres. De même, il faut s'assurer que les plantes sont consommées dans leur totalité et non en partie. Par exemple, les gorilles ont tendance à consommer uniquement les feuilles de la luzerne cultivée alors que la majorité des fibres se trouve dans le reste de la plante (AZA Gorilla SSP, 2017). Les gorilles ont tendance à consommer, lorsqu'ils ont le choix, les aliments pauvres en fibres et en protéines et riches en sucres rapides et en énergie (Remis, 2002) : cela doit être pris en compte dans la distribution de la nourriture de manière à s'assurer que chaque individu consomme une ration équilibrée.

L'élaboration de la ration et le choix des ingrédients doivent également respecter la réglementation locale en matière d'alimentation d'animaux de parcs zoologiques, tout comme les critères d'hygiène qui y sont associés.

Il est enfin recommandé une observation approfondie des espèces végétales mises à disposition des gorilles, et en particulier des fourrages, afin d'éliminer tout risque de toxicité et tout danger physique (épines par exemple). Certaines espèces, bien que non réputées comme toxiques, peuvent causer des soucis digestifs à certains individus et doivent alors être retirées (AZA Gorilla SSP, 2017).

(vii) Nutrition du nouveau-né

Il est recommandé d'utiliser des formules de lait infantile destinées à l'Homme, ou à base de lait de soja en cas d'allergie. La nourriture solide peut être introduite dès l'âge de six semaines, mais le lait infantile humain doit rester la nourriture principale la première année, et peut être proposé jusqu'à deux à trois ans d'âge (Abelló et al., 2024).

(2) Mise en place dans les parcs zoologiques

Un sondage réalisé auprès de 37 zoos nord-américains (Popovich et Dierenfeld, 1997) a mis en évidence les proportions d'aliments présentées dans la figure 2.

	% Fruit	% Vegetables	% Greens / Browse	% Commercial Products	% Cereals, Nuts & Seeds	% Animal
Adult male	27.9	26.9	24.6	14.7	3.1	2.6
Adult female	26.6	27.6	27.6	11.0	3.6	3.0
Juvenile	27.3	25.2	25.3	11.0	3.0	8.0

Figure 2. Proportion des différentes catégories d'aliments dans les régimes alimentaires des gorilles. Résultat du sondage dans 37 zoos nord-américains (Popovich et Dierenfeld, 1997)

On peut noter la part non négligeable de produits d'origine animal, tout comme la proportion importante de fruits. Cette étude a également recensé les aliments les plus donnés dans chaque catégorie (fruits, légumes, céréales, biscuits) ainsi que la fréquence des produits d'origine animale distribués dans chaque zoo. L'étude conclut également à une grande variabilité des rations offertes aux gorilles, avec la proportion de fruits variant de 10 à 51 % ou celle des végétaux verts feuillus de 0 à 60 %, et donc un manque d'uniformité entre les différentes institutions.

En ce qui concerne l'apport énergétique, le total calorique moyen pour un mâle adulte était de 7100 kcal et de 5600 kcal pour une femelle adulte. En utilisant les équations proposées par l'AZA Gorilla SSP, on trouve 4286 kcal pour les mâles et 3162 kcal pour les femelles, soit un total respectivement 66 % et 78 % inférieur. La ration proposée en moyenne aux gorilles était donc beaucoup trop calorique par rapport aux recommandations actuelles. Ces résultats sont en accord avec ceux présentés dans la figure 3, datant de la même période (1999). On peut y observer une grande variabilité de la proportion de fruits et de légumes.

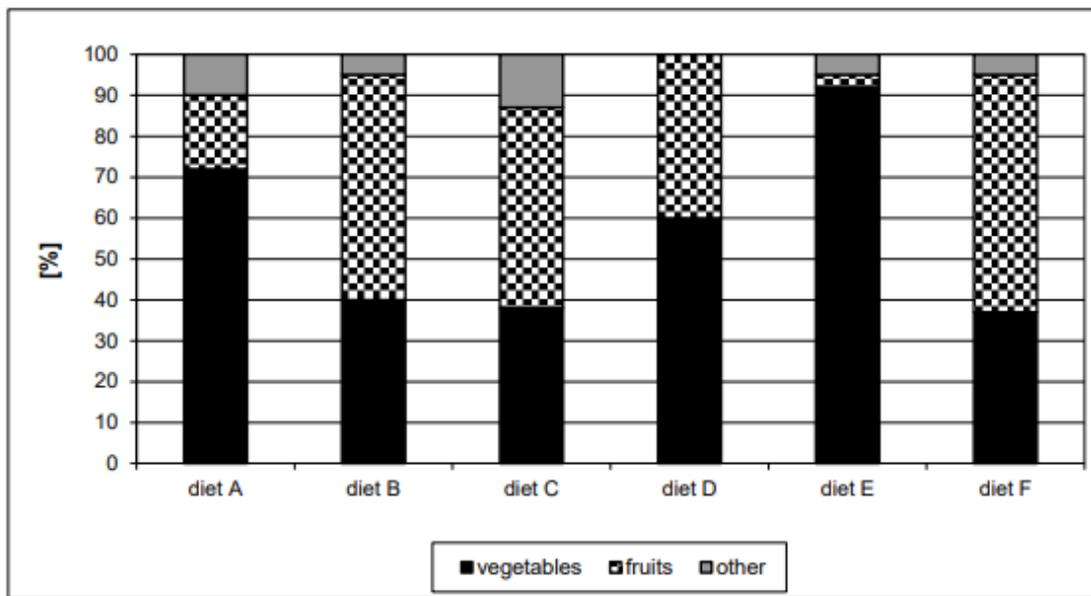


Figure 3. Proportion des différentes catégories d'aliment dans les régimes alimentaires des gorilles dans 6 zoos. D'après Hampe, 1999.

On peut également noter que les deux études montrent des proportions de fruits bien supérieures aux recommandations, qui suggèrent la suppression des fruits ou leur maintien seulement comme enrichissement (AZA Gorilla SSP, 2017 ; Abelló et al., 2024).

En résumé, ces deux études montrent une proportion de fruits trop élevée, une utilisation fréquente de produits d'origine animale, et un apport énergétique trop important.

Un nouveau sondage a été réalisé auprès de 24 zoos nord-américains en 2010 (Smith et al., 2014). Celui-ci montre une forte diminution des produits d'origine animale,

avec une diminution de 50 % de l'utilisation d'œuf et de 40 % de celle du lait. Le yaourt reste utilisé par 50 % des institutions, mais la viande n'est plus utilisée. Le niveau de fibre ingéré reste plus bas que celui mesuré dans la nature, mais significativement plus haut que celui de l'étude de 1997. L'apport calorique est en diminution de 33 %, mais reste 25 % au-dessus des valeurs recommandées. L'utilisation de feuillage et de branchage se fait dans 83 % des zoos interrogés, mais seulement une à trois fois par semaine (Smith et al., 2014).

(3) Différences entre le régime en captivité et à l'état naturel

Il est important de prendre en compte aussi bien la composition du régime alimentaire que l'analyse nutritionnelle des aliments qui le composent. Ainsi, malgré la proportion moins élevée de fruits en captivité, ceux-ci ont généralement un taux de fibres beaucoup plus faible et de sucres rapides plus élevé que ceux mangés par les gorilles à l'état sauvage, ce qui entraîne un déséquilibre en macronutriments. Une étude menée en 1997 montre que les régimes alimentaires en captivité contiennent seulement 20 à 50 % de la quantité de NDF consommée par les gorilles à l'état sauvage (Popovich et Dierenfeld, 1997). En 2010, la teneur en NDF est en moyenne de 49,85 % pour les gorilles sauvages, contre 18,74 % pour les mâles et 17,57 % pour les femelles en captivité (Lodwick et Salmi, 2019).

La quantité totale ingérée par les gorilles est plus élevée à l'état sauvage : entre 15 et 18 kg, bien que cette quantité soit difficile à évaluer précisément (Rothman et al., 2008), contre entre 3 et 7 kg la plupart du temps en captivité (Less et al., 2014a). La digestibilité de la ration proposée en captivité, estimée à 50 % en milieu naturel (Calvert, 1985), serait également plus élevée (Popovich et Dierenfeld, 1997). 63 % des zoos conservent la même ration toute l'année, et ne réalisent donc pas d'évolution saisonnière comme ce qui se produit dans la nature (Smith et al., 2014).

En résumé, les rations proposées en captivité sont : moins riches en fibre, de masse totale moins importante, plus digestibles et en majorité similaires durant toute l'année.

3. Lien entre santé et nutrition

a. Obésité

(1) Prévalence de l'obésité

L'obésité est régulièrement citée comme un problème récurrent chez les gorilles en captivité (AZA Gorilla SSP, 2017 ; Abelló et al., 2024). Il n'existe cependant pas d'étude, à la connaissance de l'auteur, qui a comparé la prévalence de l'obésité en captivité et en milieu naturel, notamment à cause de l'absence de notes d'état corporel établies pour le gorille : les études existantes ont seulement comparé la masse corporelle des gorilles à l'état sauvage et en captivité.

Leigh (1994) a comparé le poids des gorilles mâles et femelles à l'état sauvage et en captivité. Il a obtenu un poids moyen de 162,7 kg pour les mâles sauvages contre 155,7 kg pour les mâles en captivité. Il a obtenu un poids moyen de 78,9 kg pour les femelles sauvages contre 80,9 kg pour les femelles en captivité. Il en conclut l'absence de différence significative chez le gorille entre les animaux captifs et sauvages. Il souligne cependant la faible taille de l'échantillon d'animaux sauvages comme une limite de l'étude (Leigh, 1994).

Smith et al. (2014) ont réalisé une analyse statistique de toute la littérature disponible sur la masse corporelle des gorilles sauvages et captifs, en incluant en tout six études sur le poids des gorilles sauvages et captifs. Ils ont obtenu un poids moyen de 157 kg pour les mâles sauvages contre 170,6 kg pour les mâles en captivité. Ils ont obtenu un poids moyen de 79,6 kg pour les femelles sauvages contre 86,1 kg pour les femelles en captivité. La différence de poids était significativement plus élevée pour les femelles en captivité. Chez les mâles, malgré un poids moyen plus élevé en captivité, la différence n'était pas significative à cause d'une variabilité importante des mesures. Les données de l'étude de 2014, issues d'un sondage réalisé en 2010 auprès de 24 zoos américains, représentent 47 % de la population de gorilles nord-américaine. Le poids moyen des mâles était de 181,4 kg, plus élevé mais sans différence significative avec le poids des mâles sauvages ; celui des femelles de 104,7 kg, significativement plus élevée que les animaux sauvages (Smith et al., 2014). Ces résultats semblent indiquer une masse corporelle plus élevée chez les gorilles captifs, ce qui serait en faveur d'une prévalence plus importante d'obésité.

Le poids seul n'est cependant pas un indicateur idéal pour évaluer l'état d'embonpoint. Zihlman et McFarland (2000) ont ainsi évalués la proportion de masse

graisseuse entre 20 et 44 % selon les animaux, et ont observé chez une femelle obèse une masse musculaire deux fois plus faible et une masse grasseuse deux fois plus élevée (Zihlman et McFarland, 2000).

Le développement d'un indicateur plus fiable de l'état corporel des gorilles reste donc nécessaire. Chez les gorilles obèses, la graisse semble d'abord se déposer en région abdominale, puis sur l'ensemble du corps. L'évaluation visuelle de l'état d'embonpoint peut cependant être compliquée par les variations de volume de l'abdomen des gorilles en lien avec leur capacité importante de fermentation des fibres. La méthode idéale serait donc de combiner une mesure régulière du poids avec des estimations visuelles de l'état corporel et d'ajuster ce suivi à chaque individu (AZA Gorilla SSP, 2017).

(2) Cause de l'obésité et lien avec la nutrition

Plusieurs facteurs sont impliqués dans la prévalence de l'obésité en captivité. Popovich et Dierenfeld (1997), ont évalué que les rations proposées en parc zoologique contenaient deux fois la quantité de matière grasse et entre un cinquième et la moitié de la quantité de fibre par rapport aux rations à l'état sauvage. Le poids total de la ration des animaux adultes était de 4,2 kg pour les femelles et 7 kg pour les mâles, soit moins que la quantité estimée dans la nature, pour un apport calorique de 5600 kcal pour les femelles et 7100 kcal pour les mâles (Popovich et Dierenfeld, 1997). La densité énergétique des rations proposées en captivité est donc plus élevée.

L'apport énergétique total, comme vu précédemment, est également plus élevé que les besoins estimés des gorilles. En 2014, Smith et al. mesurent une diminution de 33 % de l'apport calorique des rations, qui reste 25 % au-dessus des recommandations de l'époque (Smith et al., 2014). Il faut également noter que les valeurs caloriques des ingrédients utilisées pour l'estimation de la densité énergétique des rations sont issues d'études chez l'Homme, et sous-estiment peut-être leur apport énergétique chez le gorille, notamment au vu de leur meilleure capacité de digestion des fibres (Popovich et Dierenfeld, 1997).

Less et al. soulignent que la forte proportion de sucres simples et la faible proportion de fibres sont associées, chez l'Homme, à l'insulinorésistance et à l'obésité. Comme vu précédemment, la proportion de sucre simple est plus élevée dans les

rations en captivité, et la proportion de fibre plus faible. Les auteurs ont alors choisi trois biomarqueurs : les triglycérides, la leptine et l'adiponectine. Ceux-ci étant corrélés à l'obésité chez l'Homme, et dépendant de la quantité de fibre ingérée, ils proposent de mesurer leur évolution lors d'un changement de ration chez le gorille. Les résultats sont mitigés, avec une augmentation de la leptine et des triglycérides lors de l'ajout d'amidon, mais une diminution de l'adiponectine, et aucun changement lors de l'ajout de fibres à la ration. Ces résultats sont néanmoins potentiellement faussés par le gain de poids des gorilles lors de l'ajout d'amidon (Less et al., 2014b).

Un autre facteur explicatif pourrait être le niveau d'activité plus faible des gorilles en captivité, entraînant un besoin calorique plus faible et donc un déséquilibre plus important avec l'apport énergétique de la ration. En effet, les gorilles en captivité passent moins de temps à la recherche de nourriture que leurs homologues sauvages (AZA Gorilla SSP, 2017). À l'état sauvage, le budget-temps consacré à l'alimentation est estimé entre 54 et 72 %, comme vu précédemment, contre entre 12 et 17 % pour les déplacements et 0 et 28 % pour le repos (Watts, 1988, Magliocca et Gautier-Hion, 2002, Masi et al., 2009). En captivité, le temps consacré au repos est estimé entre 33 et 76 %, et le temps consacré à l'alimentation entre 9 et 36 % (Less et al., 2014a). Les niveaux d'activité sont donc plus bas en parc zoologique. Ce niveau d'activité est cependant potentiellement affecté par la densité énergétique de la ration, les variations de poids des gorilles et les conditions d'hébergement (Less et al., 2014a). Les types d'enrichissement et les méthodes de distribution de la ration ont également un effet sur le niveau d'activité des gorilles (Charmoy et al., 2015).

L'obésité semble donc être un problème répandu chez les gorilles captifs, malgré l'absence d'étude évaluant sa prévalence. Les facteurs explicatifs pourraient être un apport énergétique trop élevé, un déséquilibre des rations en faveur des sucres simples et en défaveur des fibres, et un niveau d'activité trop faible.

b. Affections cardiaques

(1) Prévalence et étiologie des affections cardiaques

Les affections cardiaques sont une des causes de décès les plus communes chez les gorilles en captivité. 41 % des décès de gorilles adultes seraient d'origine cardiovasculaire, et ce chiffre serait de 70 % chez les individus de plus de 30 ans

(Meehan et Lowenstine, 1994, cité dans Junge et al., 1998). Strong et al. ont réalisé une étude sur 151 décès de gorilles de zoos européens. Selon leurs résultats, les affections cardiaques représentent la deuxième cause de décès, pour 15 % de la mortalité totale. Cette proportion est plus élevée chez les adultes entre 15 et 35 ans, où elle représente 22 % des décès, et continue à augmenter chez les plus de 35 ans, où elle représente 27 % des décès. Les mâles ont un risque 8,77 fois plus élevé de développer une maladie cardiaque. (Strong et al., 2017).

Les différentes étiologies rapportées des affections cardiaques chez le gorille comprennent la myocardiopathie fibrosante idiopathique, la dissection aortique, l'insuffisance cardiaque congestive (Kenny et al., 1994 ; Schulman et al., 1995 ; Miller et al., 1999). La cardiomyopathie fibrosante est l'entité la plus commune (Miller et Fowler, 2011).

(2) Causes des affections cardiaques et lien avec la nutrition

Certains auteurs proposent un lien entre une ration riche en lipides et en énergie, un niveau de cholestérol élevé et le développement d'affections cardiaques, en s'appuyant sur le lien établi chez l'Homme (Popovich et Dierenfeld, 1997). Les niveaux de cholestérol mesurés chez les gorilles en captivité sont en effet plus élevés que chez les gorilles sauvages : entre 242 et 311 mg/dL en captivité (McGuire et al., 1989, ISIS, 2002, Edes et al., 2020a), et entre 127 et 179 mg/dL à l'état sauvage (Schmidt et al., 2006). Une étude a également montré que l'ajout d'amidon à la ration pouvait réduire le niveau de cholestérol sanguin (Less et al., 2014b). Cependant, aucun lien n'a été établi chez le gorille entre des marqueurs lipidiques et le risque de développement de maladie cardiaque, et seul l'âge et le sexe ont été reconnus comme marqueurs prédictifs des affections cardiaques (Edes et al., 2020b). Une autre étude a également établi une corrélation entre des niveaux de cholestérol plus bas, une forte proportion de masse grasseuse, et l'incidence de maladies cardiaques, mais uniquement chez les mâles gorilles (Dennis et al., 2019).

Une piste intéressante à explorer dans le futur serait le lien entre le microbiote intestinal, directement lié à la diète des gorilles, et les maladies cardiaques. Il a en effet été montré un lien entre ce microbiote intestinal et le métabolisme du cholestérol (Kriaa et al., 2019), ainsi que des différences significatives entre les microbiotes des

gorilles sains et les microbiotes des gorilles atteints d'une affection cardiaque (Krynak et al., 2017).

Une étude suggère un lien entre l'insuffisance en vitamine D et la forte prévalence des affections cardiaques chez les gorilles (Mulders et al., 2024). Cette étude discute également des autres liens possibles entre nutrition et pathologies cardiaques chez les grands singes.

Less et al. notent qu'une forte proportion de sucres simples est associée aux maladies cardiaques chez l'Homme, mais aucune étude, à la connaissance de l'auteur, n'a exploré ce lien chez le gorille. Ils notent également le lien entre insulino-résistance et maladie cardiaque chez l'Homme, en soulignant l'influence de la ration sur l'insulino-résistance chez le gorille et la nécessité de futures études pour comprendre le lien avec les affections cardiaques (Less et al., 2014b).

A l'heure actuelle, aucun lien n'a donc été établi entre la ration des gorilles en captivité et les affections cardiaques, bien que de nombreuses pistes soient suspectées, et qu'un lien indirect, via l'obésité, ait été observé dans certaines études.

c. Diabète

L'obésité, une alimentation riche en calories et un manque d'exercice sont des facteurs de risques du diabète chez l'Homme. Ces éléments sont souvent présents chez les primates en captivité, ce qui a conduit certains auteurs à suspecter la présence d'une « épidémie de diabète chez les primates captifs » : Kuhar et al. ont ainsi montré que 30 % des zoos recensaient au moins un primate diabétique. Ce chiffre est probablement sous-estimé étant donné les limites des techniques diagnostiques (Kuhar et al., 2013).

Aucune étude ne s'est intéressée à la prévalence du diabète chez les gorilles. Le guide des bonnes pratiques de l'EAZA note cependant que le diabète serait présent de manière importante dans la population de gorilles, et que la réduction de la proportion de fruit pourrait aider à gérer ce problème de santé (Abelló et al., 2024).

Less et al. se sont intéressés à l'état d'insulinorésistance, qui peut mener au diabète, et à l'impact de la ration sur celui-ci. Ils ont montré que l'ajout d'amidon, tout comme le retrait des biscuits pour primates, permettait de réduire les niveaux d'insuline

mais pas de glucose sanguin. Les auteurs soulignent le lien étroit entre insuline, diabète et affections cardiovasculaires chez l'Homme et la nécessité de futures études pour comprendre l'impact de la ration sur ces maladies (Less et al., 2014b).

d. Affections digestives

Les affections d'origine digestive représentent la première cause de mortalité chez les gorilles en captivité, représentant 23 % des morts pour tout âge et tout sexe confondu. Parmi elles, on retrouve 87 % d'entérite, de colite et de péritonite (Strong et al., 2017). Chez les gorilles sauvages, le pourcentage de mort attribuable à une cause digestive a été estimé à 8 % (Muhangi et al., 2021). Les affections digestives affectent donc plus les gorilles captifs que sauvages.

La colite ulcéraire est une entité pathologique majeure chez le gorille, pour laquelle aucune étiologie n'a été formellement établie. La physiopathologie n'est pas clairement connue non plus, et les causes supposées sont l'alimentation, l'activité, la génétique, l'auto-immunité et le microbiote intestinal (Lankester et al., 2008, Morey-Matamalas et al., 2021).

Certains auteurs proposent ainsi qu'augmenter la proportion de fibre et de légume dans la ration réduirait l'incidence des affections intestinales, en s'appuyant encore une fois sur les données chez l'Homme (Popovich et Dierenfeld, 1997). Le guide d'entretien nord-américain reprend ces éléments, en proposant d'augmenter la proportion de fibre (AZA Gorilla SSP, 2017). Cependant, aucune étude n'a été menée à l'heure actuelle sur le lien entre la ration et l'incidence des affections digestives.

e. Affections bucco-dentaires

Les études menées à l'état sauvage ont mesuré une prévalence des affections dentaires variable : 7, 28, et 100 % (Muhangi et al., 2021 ; Elgart, 2010 ; Lovell, 1990). Ces résultats peuvent s'expliquer par des différences de méthodologies, les mêmes lésions n'étant pas forcément comptabilisées, avec par exemple des seuils d'érosions dentaires différents selon les observateurs et les études. La prévalence des affections dentaires n'a pas été évaluée en captivité. Elles ne représentent qu'une part très faible des causes de mortalité (Strong et al., 2017). Il s'agit d'affections strictement dentaires

(érosion, malocclusion, carie) ou parodontales (infection, régression) (Muhangi et al., 2021 ; Scheels, 2023).

Une étude rétrospective menée sur 27 ans au zoo de Milwaukee propose la ration comme une cause des affections dentaires. L'amélioration de cette dernière et la suppression des « friandises » a permis une disparition des caries. Le phénomène de régurgitation-réingestion (R/R) est également cité comme un facteur contribuant à l'apparition des affections bucco-dentaires, avec un parallèle sur le lien démontré chez l'Homme entre les reflux gastriques et les affections bucco-dentaires (Scheels, 2023). Une autre étude note que les différences d'alimentation entre gorilles captifs et sauvages jouent probablement un rôle, les aliments fibreux et difficiles à mâcher permettant de réduire l'accumulation de plaque dentaire (Huff, 2010). Cependant, il y a une absence d'étude, à la connaissance de l'auteur, sur la prévalence en captivité et sur le lien direct avec la ration.

f. Affections comportementales

(1) Régurgitation/réingestion

La régurgitation-réingestion (R/R) est un comportement anormal du gorille, qui consiste à l'expulsion rétrograde volontaire du contenu alimentaire depuis l'œsophage ou l'estomac, après sa consommation, suivie d'une nouvelle ingestion. La régurgitation qui le compose est à différencier du vomissement car elle est volontaire. Ce comportement est considéré anormal chez les gorilles captifs, et il n'a jamais été à ce jour observé ni à l'état sauvage, ni en réserve naturelle (Hill, 2018). La physiopathologie et l'origine de ce comportement sont encore mal comprises, mais il peut être classifié comme un stéréotype (Abelló et al., 2024).

La première mesure de la prévalence de ce comportement date de 1985 et est de 68 % chez les gorilles nord-américains (Akers et Shildkraut, 1985). Elle a été estimée à 60 % en 2014 (Less et al., 2014a). Récemment, en 2018, elle a été mesurée sur l'ensemble des gorilles nord-américains, à 60 % (Tennant et al., 2021). La prévalence de ce comportement apparaît relativement stable, sans diminution notable sur les dernières décennies.

Son impact sur la santé est encore mal connu. Les aliments seraient la plupart du temps régurgités avant d'atteindre le jus gastrique, mais, lorsque ce n'est pas le

cas, pourraient également provoquer des lésions comme une irritation de l'œsophage ou des muqueuses buccales. Ce comportement a ainsi été cité comme facteur contribuant aux affections bucco-dentaires (Scheels, 2023).

L'ennui, le manque d'espace, le stress et les facteurs nutritionnels sont soupçonnés d'être des causes de R/R (Abelló et al., 2024). Parmi les facteurs nutritionnels, la réduction de la proportion de fruit, tout comme l'ajout de feuillage, semble réduire la prévalence du comportement, sans l'éliminer totalement (Lukas, 1999). Le retrait du lait dans la ration permet également une forte diminution de la R/R (Lukas et al., 1999). Le retrait des biscuits commerciaux et la réduction des fruits permet également une diminution du R/R (Less et al., 2014a). Enfin, une ration sans biscuit, sans fruit, sans produits animaux, et avec une forte proportion de feuillage, permet une forte réduction voire une disparition des comportements de R/R (Ruempler, 1992). Une autre étude a montré une réduction de la R/R lors de la diminution des sucres et de l'augmentation des fibres (Cabana et al., 2018).

La distribution de la nourriture est également importante : les comportements de R/R ayant lieu principalement en post-prandial, il est supposé un lien avec la privation de nourriture. Les gorilles ayant accès en permanence à la nourriture à l'état sauvage, il est recommandé de répartir au maximum les repas sur les journées, pour que le temps passé à s'alimenter soit le plus élevé possible (Lukas, 1999). Le changement de ration effectué par Ruempler en 1992 et ayant mené à l'élimination de ce comportement impliquait le passage à une grande quantité d'aliment, ce qui a augmenté le temps passé par les gorilles à s'alimenter (Ruempler, 1992).

L'influence de ces différents éléments nutritionnels pourrait s'expliquer par leur impact sur : le temps plus faible passé par les gorilles à s'alimenter en captivité, la satiété plus faible de la ration liée à la proportion moins importante de fibre, et la présence d'aliment plus appétent, incitant les gorilles à les consommer de nouveau (Lukas, 1999 ; Abelló et al., 2024).

La R/R est donc un comportement stéréotypé très présent chez les gorilles captifs. Certains liens avec la ration sont soupçonnés : les axes d'amélioration sont la réduction des produits animaux et des fruits, l'augmentation des fibres et du temps passé à s'alimenter. De futures études permettront une meilleure compréhension des différentes causes et des mécanismes à l'origine de ce comportement.

(2) Autres affections

On retrouve tout d'abord les comportements anormaux alimentaires, comme la R/R, vu ci-dessus, et la coprophagie. La coprophagie est observée dans la nature, mais est beaucoup plus présente en captivité (Abelló et al., 2024). Sa prévalence a été mesurée à 24 % (Tennant et al., 2022). Il a été suggéré que l'augmentation des fibres et du temps passé à la recherche de nourriture pourraient réduire la prévalence de la coprophagie (AZA Gorilla SSP, 2017). Une étude qui a étudié l'impact du feuillage dans la ration et du temps passé à s'alimenter n'a cependant pas observé de conséquence sur la coprophagie (Fuller et al., 2017). Une autre étude a observé une augmentation de la fréquence de coprophagie lors du retrait des biscuits commerciaux et de la réduction des fruits et de l'amidon (Less et al., 2014a). Le lien entre coprophagie et ration n'est donc que peu compris pour le moment.

Parmi les comportements anormaux non-alimentaires, on retrouve les stéréotypies (suçage de doigt, mouvements répétitifs du haut du corps), et les problèmes sociaux (agressivité, mauvais entretien des nourrissons). La ration peut être impliquée pour plusieurs raisons. La réduction de quantité de nourriture donnée à chaque animal peut mener à des tensions dans le groupe et à des agressions (Abelló et al., 2024). L'augmentation du temps passé à s'alimenter permet une augmentation des temps de contact sans agressivité (Fuller et al., 2017).

La ration doit dans l'idéal permettre de s'approcher au mieux du budget-temps des gorilles à l'état sauvage, de manière à conserver leur comportement naturel sans provoquer de comportements indésirables.

g. Carences

Peu de carences ont été rapportées formellement chez le gorille. Une étude a montré une carence en protéine d'origine inconnue chez une colonie de gorilles, solutionnée par un complément en protéine à visée humaine (Mundy et al., 1998).

La synthèse de vitamine D dépend de l'apport alimentaire et de l'exposition aux UV. La carence en vitamine D peut avoir de graves conséquences sur le système ostéo-articulaire. Il est recommandé un supplément en vitamine ou la mise en place

de tube UV selon les conditions et les besoins spécifiques de chaque institution et de chaque individu (Abelló et al., 2024).

Un auteur suggère une carence en vitamine B ou E chez un animal décédé, malgré des apports théoriques suffisants (JAMA, 1955).

Aucune carence ne semble donc à l'heure actuelle affecter les gorilles à grande échelle.

PARTIE 2 : ANALYSE DES RATIONS DECRITES

DANS LA BIBLIOGRAPHIE

I. Méthode d'analyse

1. Elaboration de la base de données

a. Sélection des études

L'objectif de cette phase de sélection était de réunir de manière exhaustive les études incluant au moins une description de ration d'une espèce du genre *Gorilla*, aussi bien en captivité qu'à l'état sauvage. Étant donné que des études assez variées pouvaient contenir des rations, les mots-clés utilisés ont été assez nombreux, ils sont listés ci-dessous. Les recherches ont été effectuées avec Google Scholar.

Tableau VI. Mots-clés utilisés pour la pré-sélection des études.

Gorilla + <i>Grauer</i> + <i>Diehli</i> +	nutrition	nutritional
	ecology	alimentation
	diet	dietary
	food	feeding
	nutrient	fruit
	leave	insect
	protein	fibres

Les termes de gauche ont été associés à ceux de droite pour la recherche, de manière à former toutes les combinaisons possibles. Les résultats étaient ensuite parcourus pour ne conserver que les études qui concernaient ou qui évoquaient la nutrition des gorilles.

Les études ainsi sélectionnées étaient ensuite étudiées de manière à déterminer celles qui décrivaient une ration. Cette description pouvait consister en une liste d'ingrédient (en pourcentage, en matière totale ou en matière sèche) ou une analyse nutritionnelle de la ration totale (au minimum deux macronutriments). Au total, 65 études avaient été présélectionnées, et 22 d'entre elles contenaient au minimum une ration et ont été conservées.

b. Base de données

(1) Construction du tableur

Le tableur a été conçu pour pouvoir réaliser l'analyse des données avec R dans un second temps. Il est composé de cinq feuilles (Etude, Ration, Ingrédient, Quantité Ingrédient, et Analyse Ration). Chaque étude, ration et ingrédient est associé à un identifiant à quatre chiffres (respectivement E-XXXX, R-XXXX, I-XXXX).

La première feuille contient les titres des études, leur identifiant, leur auteur, leur date de publication, l'espèce concernée, le lieu de l'étude, le type d'étude (en parc zoologique ou dans la nature) et des notes supplémentaires au besoin. Un extrait du premier feuillet est disponible en Annexe 1.

La deuxième feuille contient les titres des rations, leur identifiant, l'identifiant de l'étude dont elles sont tirées, la méthode de calcul de ration utilisé, l'effet positif ou négatif sur certains critères, le nombre d'individus concernés, la composition du groupe, le poids moyen des individus, la quantité totale de la ration, la méthode de calcul de cette dernière et des notes supplémentaires au besoin. Certaines informations non disponibles sont alors indiquées « NA ». L'effet global positif ou négatif sur la santé a été défini selon les critères suivants : le temps passé à s'alimenter, la proportion de R/R, et le pourcentage de coprophagie. Si l'effet était positif pour au moins deux de ces critères, l'effet global était positif, et inversement, si l'effet était négatif pour au moins deux de ces critères, l'effet global était négatif. Les méthodes choisies pour définir chaque critère comme positif étaient les suivantes : régurgitation/réingestion inférieure à deux fois par jour ou à 1 % du temps, temps passé à s'alimenter supérieur à 30 %, coprophagie inférieure à 0,2 %. Ces valeurs ont été choisies de manière à créer deux groupes (rations à effet globalement positif

et rations à effet globalement négatif) de taille semblable, pour pouvoir réaliser une analyse statistique correcte.

La troisième feuille contient les noms des ingrédients, leur identifiant, leur description, la source de leur analyse nutritionnelle, puis leur analyse nutritionnelle. Celle-ci est reportée en pourcentage de matière sèche pour les macronutriments (sauf pour l'humidité, en pourcentage total). L'unité est indiquée dans le titre de la colonne pour les micronutriments. Les données sont tirées de manière brute des études, les catégories de nutriments sont reportées telles quelles, et aucune estimation n'a été réalisée à ce stade (voir ci-dessous). Certains noms d'ingrédients (« Fruits » par exemple) sont communs à plusieurs études tandis que d'autres, plus spécifiques (« Watery vegetable E-0007 » par exemple), ont l'identifiant de leur étude dans leur nom. Cet ajout a été réalisé lorsque l'ingrédient est trop spécifique, ou associé à une composition précise décrite dans l'étude. Celle-ci est alors présentée dans la colonne adjacente (« Description »).

La quatrième feuille contient la quantité de chaque ingrédient, associée aux identifiants de l'étude, de la ration, et de l'ingrédient. Celle-ci est exprimée soit en pourcentage de la ration, soit en masse de l'ingrédient, dans deux colonnes distinctes.

La cinquième feuille contient l'analyse nutritionnelle de chaque ration, sa source, et l'identifiant de la ration. Encore une fois, les données sont tirées de manière brute des études, les catégories de nutriments sont reportées telles quelles, et aucune estimation n'a été réalisée à ce stade.

(2) Rations incluses dans l'étude

Parmi les 22 études sélectionnées, 54 rations ont été reportées. La moyenne est de 2,45 rations par étude, et la médiane est de deux. L'étude avec le plus de rations en contient huit. C'est la seule étude qui contient plus de quatre rations. Sept études, au contraire, ne contiennent qu'une seule ration. Ces rations ont été mesurées entre 1977 et 2024, avec une répartition illustrée par la figure 4 ci-dessous, qui permet d'observer une répartition hétérogène, plutôt stable dans le temps.

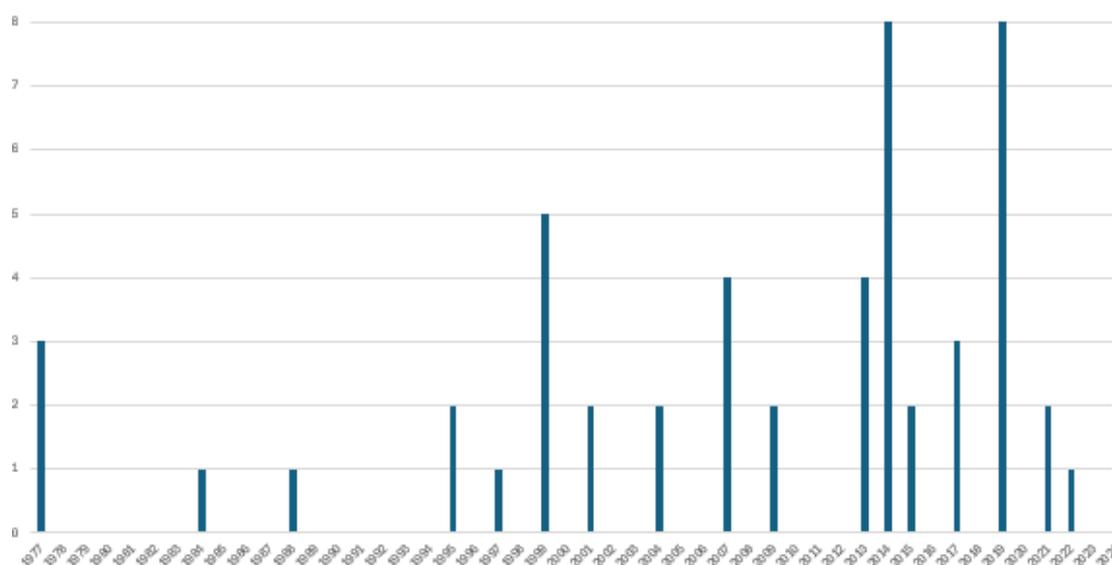


Figure 4. Répartition des rations incluses par date de parution de l'étude.

En ce qui concerne les espèces, 11 rations issues de sept études concernent les gorilles de l'Est (*Gorilla beringei*) dont neuf pour le gorille des montagnes et deux pour le gorille des plaines de l'Est. Quarante rations issues de 16 études concernent les gorilles de l'Ouest (*Gorilla gorilla*), toutes chez le gorille des plaines de l'Ouest, aucune chez le gorille de la rivière Cross.

Trente-et-une rations issues de neuf études proviennent de parcs zoologiques. Vingt-trois rations issues de 13 études proviennent du milieu naturel.

Les méthodes de calcul utilisées pour les rations sont variées. Pour les études provenant de parc zoologique, il s'agit, la plupart du temps, de ration distribuée aux animaux, sauf pour une étude où il s'agit de la ration réellement ingérée. Pour les études réalisées en milieu naturel, plusieurs méthodes sont utilisées, parfois combinées : estimation du temps de consommation de chaque aliment, estimation de la masse ingérée de chaque aliment, estimation de la quantité de chaque aliment dans les fécès.

Quinze gorilles sont inclus en moyenne par étude. Cela cache certaines disparités, avec notamment une ration estimée pour 150-180 gorilles (Sabater Pi, 1977), mais 20 rations qui concernent cinq gorilles ou moins. Dix-huit rations concernent uniquement un type d'individu (mâle, femelle, juvénile), alors que 36

rations concernent des groupes qui mélangent au moins deux types d'individus (mâle, femelle, juvénile).

La liste complète des rations incluses dans la base de données est présentée en Annexe 2.

(3) Ajout des analyses nutritionnelles de certains aliments

Cent quarante-deux ingrédients ont été listés dans le tableur. Trente-sept ingrédients sont utilisés dans plusieurs études, 105 sont spécifiques à leur étude. La grande majorité des analyses nutritionnelles des ingrédients n'était pas renseignée. Etant donné que certaines analyses nutritionnelles de ration étaient présentées directement dans les études, l'analyse nutritionnelle des ingrédients qui les composent n'était pas nécessaire, permettant de diminuer la quantité d'information manquante. Pour ces 48 ingrédients, l'analyse nutritionnelle présentée dans l'étude était donc reportée dans le tableur et sourcée comme provenant de l'étude.

Pour les analyses nutritionnelles restantes, plusieurs bases de données ont été utilisées. Pour deux ingrédients commerciaux, les sites Internet du fabricant ont été consultés (Mazuri, 2024 ; Lab Diet, 2024). Trente-huit analyses nutritionnelles ont été extraites d'une base de données d'aliment pour parc zoologique (zodietnavigator 2). Dix-huit analyses nutritionnelles ont été complétées avec des études réalisées dans le milieu naturel du gorille (Calvert, 1985 ; Rogers et al., 1990 ; Rothman et al., 2006b ; Deblauwe et Janssens 2008 ; Robbins et al., 2022).

2. Exploitation de la base de données

a. Ecriture du programme

L'analyse de la base de données se fait grâce à un programme R via le logiciel RStudio. Celui-ci reçoit en entrée le tableur Excel contenant l'ensemble des informations, puis construit plusieurs tableaux contenant les différents groupes de rations étudiées (réalisées en milieu naturel, en parc zoologique). Il calcule les analyses nutritionnelles des rations manquantes. Il affiche ensuite les graphiques demandés, associés à leur analyse statistique. Les tests statistiques choisis sont le test de Wilcoxon-Mann-Whitney pour les comparaisons de nutriments, et le test de

Pearson pour les évolutions en fonction de la date. Un extrait du code R est disponible en Annexe 3.

b. Estimation des informations manquantes

Deux méthodes de calcul sont utilisées pour estimer les analyses nutritionnelles manquantes des rations. La première additionne le pourcentage de chaque ingrédient selon la proportion de cet ingrédient dans la ration. Cette première méthode ne prend pas en compte les ingrédients pour lesquels l'analyse nutritionnelle n'est pas disponible. Ainsi, si seulement 90 % des ingrédients sont disponibles, l'analyse nutritionnelle ne comprendra que 90 % des nutriments.

La deuxième méthode utilise la même technique, mais applique un facteur correctif correspondant au pourcentage d'ingrédient manquant. Ainsi, si seulement 90 % des ingrédients sont disponibles, toutes les valeurs de nutriments seront divisées par 0,9 afin d'obtenir une meilleure estimation.

c. Affichage des résultats

Les résultats sont toujours affichés en pourcentage de matière sèche, sauf pour l'humidité, en pourcentage de matière brute, l'énergie totale, en kcal, et la masse brute totale de la ration, en kilogramme.

Les graphiques sont soit des nuages de points, soit des graphiques de type boxplot. Seules les rations pour lesquelles les données sont disponibles sont affichées sur chaque graphique. Les protéines étant le nutriment pour lequel le plus de données sont disponibles, elles sont souvent utilisées en abscisse pour permettre une meilleure visualisation des informations.

II. Résultats de l'analyse de la base de données

1. Comparaison des méthodes de calcul des analyses nutritionnelles

a. Informations générales

Nous nous intéressons ici à la comparaison entre les deux méthodes de calcul des analyses nutritionnelles évoquées précédemment, et entre ces analyses dites « calculées », et les analyses nutritionnelles directement issues des études. L'objectif de ces comparaisons étant d'établir la validité de nos méthodes de calcul, et de confirmer qu'il n'y a pas, a priori, de différences significatives entre les rations calculées et non calculées.

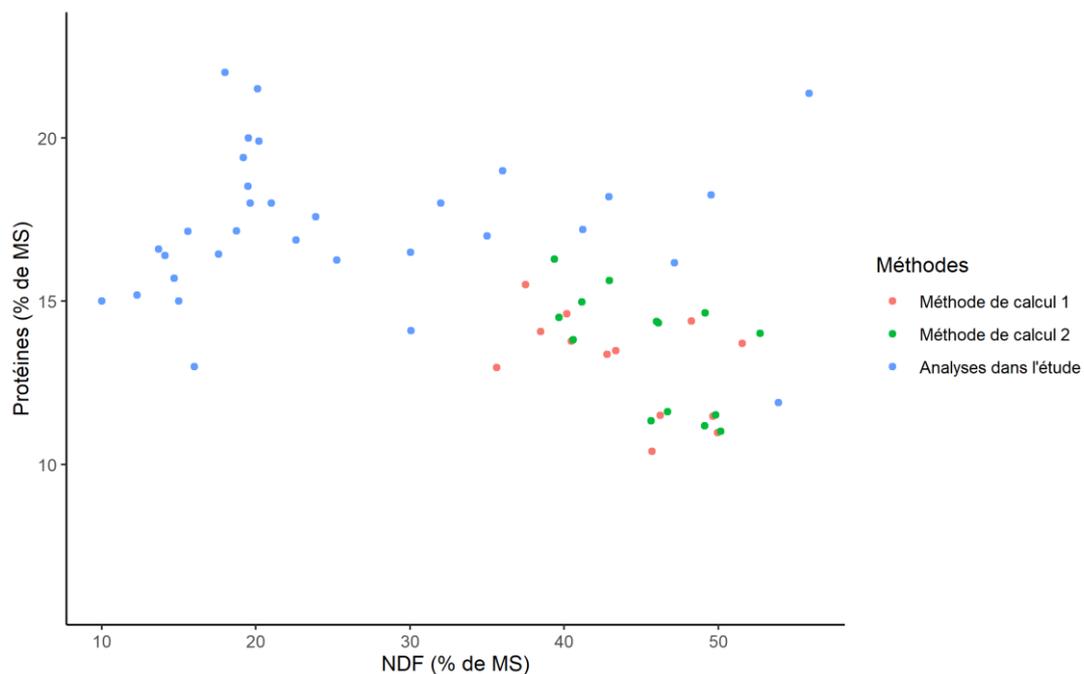


Figure 5. Comparaison des pourcentages en matière sèche de protéines et de NDF pour l'ensemble des rations de la base de données en fonction de la méthode d'obtention de l'analyse nutritionnelle.

La figure 5 présente l'ensemble des rations pour lesquelles le pourcentage de protéines et de NDF sont disponibles. Dans cette partie, les résultats sont présentés pour deux groupes de données : d'abord pour l'ensemble des rations, puis uniquement pour les rations en milieu nature. A chaque fois les deux méthodes de calcul seront comparées entre elles, et avec les analyses issues des études.

b. Résultats par nutriment en fonction de la méthode de calcul

(1) Comparaison du NDF

Lorsque la comparaison est réalisée sur l'ensemble des rations de la base de données, le pourcentage de matière sèche de NDF n'est pas significativement différent entre les deux méthodes de calcul ($p\text{-value} = 0,272$), mais il est significativement plus haut pour les rations calculées par rapport aux analyses issues des études (entre la première méthode et les études : $p\text{-value} < 0,001$; entre la deuxième méthode et les études : $p\text{-value} < 0,001$).

Lorsque la comparaison est réalisée uniquement sur les rations issues du milieu naturel, le pourcentage de matière sèche de NDF n'est pas significativement différent entre les deux méthodes de calcul ($p\text{-value} = 0,272$), ni entre les analyses calculées et issues des études (entre la première méthode et les études : $p\text{-value} = 0,110$; entre la deuxième méthode et les études : $p\text{-value} = 0,259$).

(2) Comparaison de l'Acid Detergent Fiber (ADF)

Lorsque la comparaison est réalisée sur l'ensemble des rations de la base de données, le pourcentage de matière sèche d'ADF n'est pas significativement différent entre les deux méthodes de calcul ($p\text{-value} = 0,130$), mais il est significativement plus haut pour les rations calculées par rapport aux analyses issues des études (entre la première méthode et les études : $p\text{-value} = 0,007$; entre la deuxième méthode et les études : $p\text{-value} = 0,005$).

Lorsque la comparaison est réalisée uniquement sur les rations issues du milieu naturel, le pourcentage de matière sèche d'ADF n'est pas significativement différent entre les deux méthodes de calcul ($p\text{-value} = 0,130$), ni entre les analyses calculées et issues des études (entre la première méthode et les études : $p\text{-value} = 0,115$; entre la deuxième méthode et les études : $p\text{-value} = 0,167$).

(3) Comparaison des protéines

Lorsque la comparaison est réalisée sur l'ensemble des rations de la base de données, le pourcentage de matière sèche de protéines n'est pas significativement différent entre les deux méthodes de calcul ($p\text{-value} = 0,141$), mais il est significativement plus haut pour les rations calculées par rapport aux analyses issues

des études (entre la première méthode et les études : p-value < 0,001 ; entre la deuxième méthode et les études : p-value < 0,001).

Lorsque la comparaison est réalisée uniquement sur les rations issues du milieu naturel, le pourcentage de matière sèche de protéines n'est pas significativement différent entre les deux méthodes de calcul (p-value = 0,141), ni entre les analyses calculées et issues des études (entre la première méthode et les études : p-value = 0,208 ; entre la deuxième méthode et les études : p-value = 0,232).

(4) Comparaison des lipides

Lorsque la comparaison est réalisée sur l'ensemble des rations de la base de données, le pourcentage de matière sèche de lipides n'est pas significativement différent entre les deux méthodes de calcul (p-value = 0,486), mais il est significativement plus haut pour les rations calculées par rapport aux analyses issues des études (entre la première méthode et les études : p-value = 0,004 ; entre la deuxième méthode et les études : p-value = 0,004).

Lorsque la comparaison est réalisée uniquement sur les rations issues du milieu naturel, le pourcentage de matière sèche de lipide n'est pas significativement différent entre les deux méthodes de calcul (p-value = 0,486), ni entre les analyses calculées et issues des études (entre la première méthode et les études : p-value = 0,533 ; entre la deuxième méthode et les études : p-value = 0,533).

c. Interprétation et discussion sur la comparaison de la méthode de calcul

(1) Analyse générale des données

La visualisation générale des données permet de se rendre compte de plusieurs choses. Premièrement, la quantité de rations obtenues par le calcul n'est pas négligeable. Il y a en effet 15 rations sur 54 qui sont calculées. Sur le graphique NDF/protéine présentant l'ensemble des rations, les rations calculées semblent se situer dans une zone distincte, regroupées entre elles.

Quant à la comparaison des deux méthodes de calcul, leurs résultats semblent assez proches, légèrement supérieurs pour la deuxième méthode (calculus_bis), pour les deux nutriments présentés.

Il faut surtout souligner que l'ensemble des rations calculées sont des rations en milieu naturel (15 rations sur 15). Parmi les rations non calculées, huit proviennent de milieu naturel contre 31 de parc zoologique. C'est pour cette raison que les résultats sont également présentés uniquement pour les rations en milieu naturel, de manière à pouvoir comparer des groupes de mêmes caractéristiques.

(2) Comparaison des nutriments en fonction de la méthode de calcul

Lorsque l'on s'intéresse à la comparaison entre les rations calculées et non calculées sur l'ensemble des rations, des différences significatives sont présentes pour le NDF, l'ADF, les protéines et les lipides. Le NDF et l'ADF sont significativement plus hauts pour les rations calculées, alors que les protéines et lipides sont significativement plus bas. Ces différences s'expliquent par la surreprésentation des rations en milieu naturel dans les rations calculées, dont nous verrons les différences avec les rations de parc zoologique ci-dessous.

Lorsque l'on restreint l'analyse aux rations issues du milieu naturel, de manière à pouvoir comparer deux groupes de caractéristiques similaires, on n'observe plus aucune différence significative entre les valeurs calculées et non calculées, pour le NDF, l'ADF, les protéines et les lipides. Cependant, les deux méthodes de calcul offrent systématiquement des valeurs moyennes inférieures aux rations analysées, bien que les différences ne soient pas significatives. Il y a trois hypothèses majeures qui pourraient contribuer à ces différences. Premièrement les proportions différentes de sous-espèces dans les deux groupes : cinq rations non calculées sur huit proviennent de la sous-espèce « Beringei » contre quatre sur 15 pour les rations calculées ; nous verrons les différences entre les sous-espèces ci-dessous. Deuxièmement le faible échantillon de rations non calculées provenant du milieu naturel : seulement huit rations provenant de cinq études, il y a donc une variabilité naturelle des données plus importante, peut-être que ces études-là ont des valeurs plus élevées que la moyenne. Enfin, les bases de données utilisées pour les calculs, ont peut-être des valeurs nutritionnelles plus faibles que les aliments réellement

consommés par les gorilles. Les données proviennent notamment d'études sur les valeurs nutritionnelles des aliments consommés par les gorilles en milieu naturel, mais on ne peut exclure des variations entre les lieux de mesure.

En ce qui concerne la comparaison entre les deux méthodes de calcul, aucune différence significative n'est mise en évidence pour les quatre macronutriments étudiés. Les valeurs moyennes obtenues par la deuxième méthode sont cependant systématiquement plus élevées que celles obtenues par la première méthode, et donc plus proches de la valeur moyenne pour les rations non calculées. Cette différence est plus marquée pour le NDF, l'ADF et les protéines. Cette différence est logique au vu de la méthode de calcul, étant donné que la deuxième méthode utilise le même mode de calcul que la première méthode, en ajustant le résultat de manière à utiliser uniquement les aliments dont l'analyse nutritionnelle est connue, et en éliminant les aliments dont l'analyse nutritionnelle est inconnue. Comme remarqué sur la visualisation générale, les deux méthodes offrent des résultats proches, qui ne sont pas significativement différents, mais la deuxième méthode est légèrement plus proche des valeurs non calculées, elle sera donc retenue pour la suite des analyses.

2. Comparaison entre milieu naturel et captivité

a. Informations générales

Nous nous intéressons maintenant à la comparaison des rations entre celles issues du milieu naturel et celles issues de parcs zoologiques. Les comparaisons sont d'abord réalisées uniquement pour les rations dont les analyses sont issues des études, de manière à essayer d'obtenir un résultat significatif en ayant le minimum de biais liés au calcul, puis sur l'ensemble des rations, pour avoir un échantillon statistique plus important.

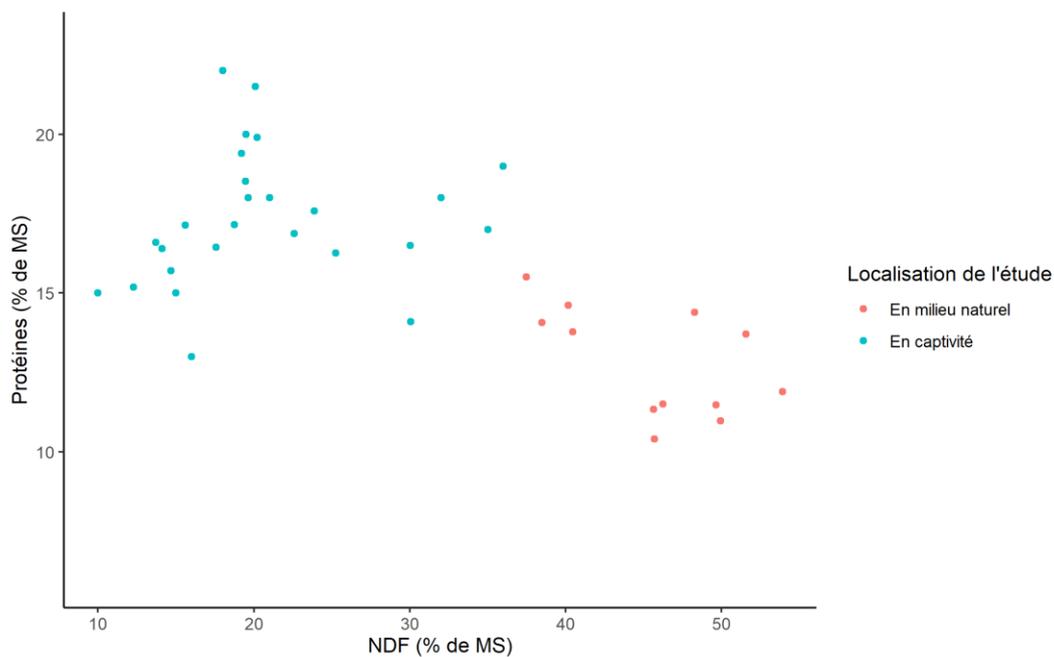


Figure 6. Comparaison des pourcentages en matière sèche de protéines et de NDF pour l'ensemble des rations de la base de données en fonction du milieu de vie.

La figure 6 présente les rations pour lesquelles les pourcentages de protéines et de NDF sont disponibles. Dans cette partie, les résultats sont présentés pour deux groupes de données : d'abord uniquement pour les rations dont les analyses sont issues des études, puis pour l'ensemble des rations. À chaque fois les rations sont comparées en fonction du milieu de vie des animaux : entre milieu naturel et parc zoologique.

b. Résultats par nutriments en fonction du milieu de vie

(1) Comparaison des fibres

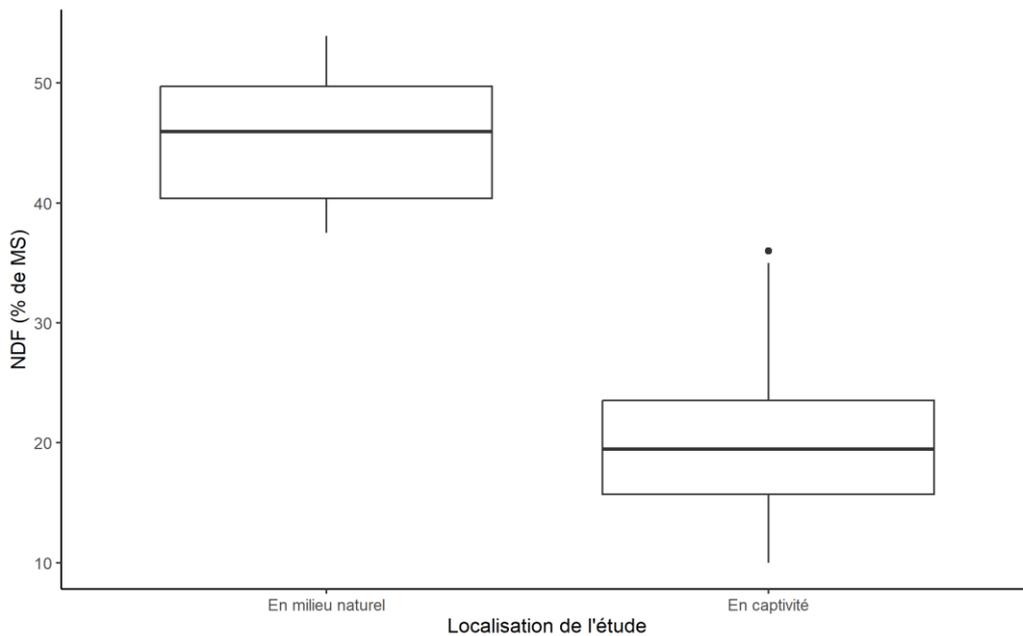


Figure 7. Pourcentages en matière sèche de NDF en fonction du milieu de vie pour l'ensemble des rations de la base de données.

Lorsque la comparaison est réalisée uniquement sur les analyses nutritionnelles issues des études, il n'y a pas de différence significative entre les pourcentages en matière sèche de NDF et d'ADF entre le milieu naturel et les parcs zoologiques (pour le NDF : p-value = 0,074 ; pour l'ADF : p-value = 0,229).

Lorsque la comparaison est réalisée sur l'ensemble des rations, le pourcentage en matière sèche de NDF est significativement plus faible en parc zoologique (figure 7, p-value < 0,001). Le pourcentage en matière sèche d'ADF est également significativement plus faible en parc zoologique (p-value < 0,001).

(2) Comparaison des protéines

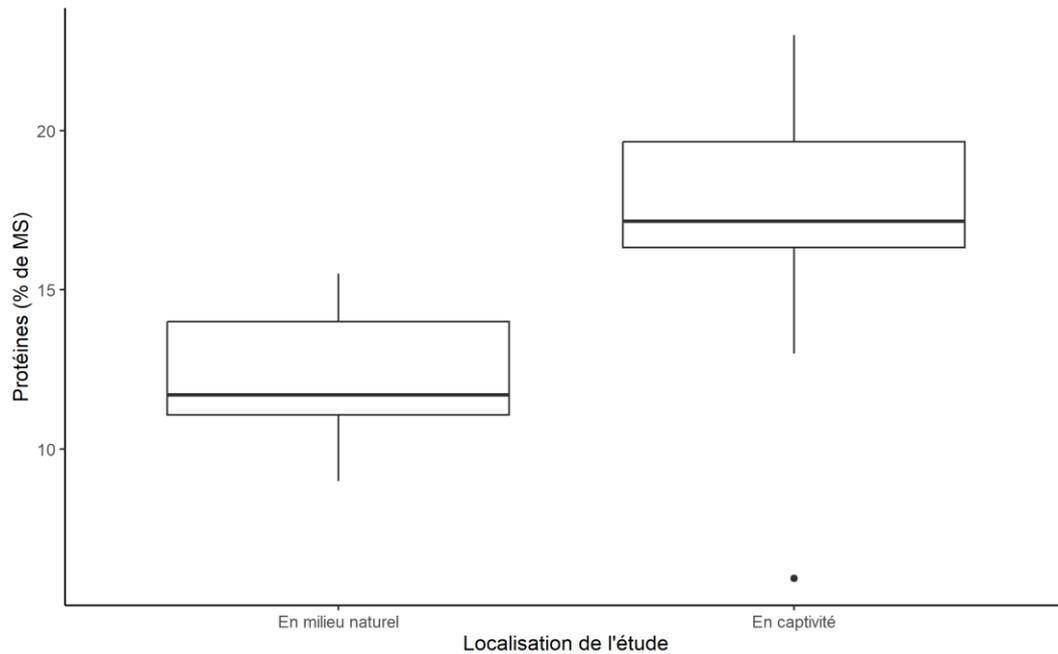


Figure 8. Pourcentages en matière sèche de protéines en fonction du milieu de vie pour l'ensemble des rations de la base de données.

Lorsque la comparaison est réalisée uniquement sur les analyses nutritionnelles issues des études, le pourcentage en matière sèche de protéines est significativement plus élevé en parc zoologique (p -value = 0,009). De même, lorsque la comparaison est réalisée sur l'ensemble des rations, le pourcentage en matière sèche de protéines est significativement plus élevé en parc zoologique (figure 8, p -value < 0,001).

(3) Comparaison des lipides

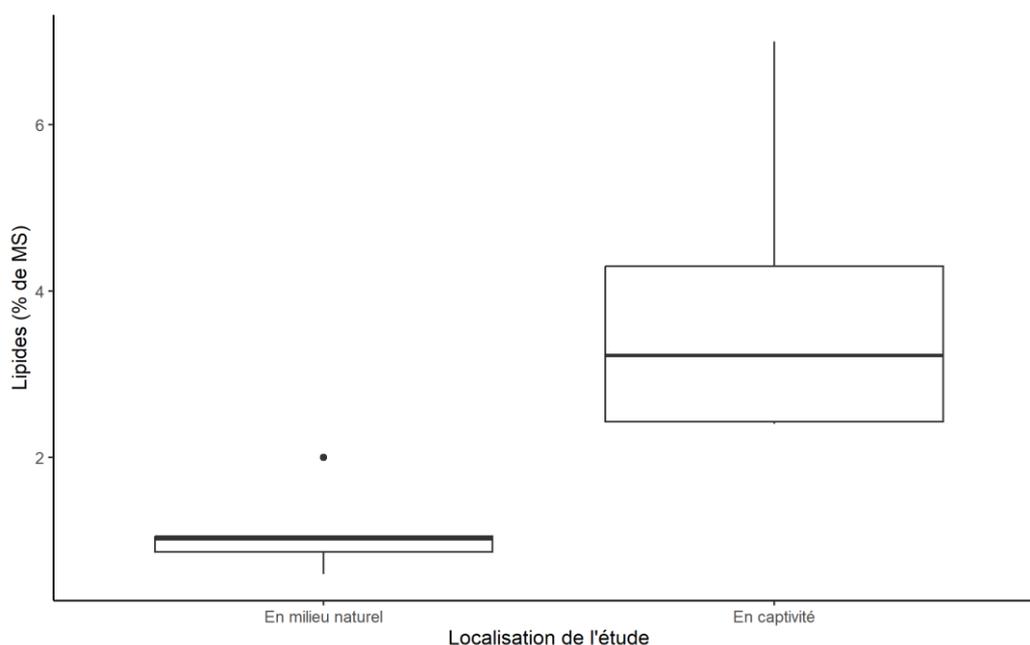


Figure 9. Pourcentages en matière sèche de lipides en fonction du milieu de vie pour l'ensemble des rations de la base de données.

Lorsque la comparaison est réalisée uniquement sur les analyses nutritionnelles issues des études, le pourcentage en matière sèche de lipides est significativement plus élevé en parc zoologique (p -value = 0,029). De même, lorsque la comparaison est réalisée sur l'ensemble des rations, le pourcentage en matière sèche de lipides est significativement plus élevé en parc zoologique (figure 9, p -value < 0,001).

c. Interprétation et discussion sur les milieux de vie

(1) Analyse générale

La visualisation des données montre une bonne répartition entre les deux groupes étudiés, avec un nombre satisfaisant de rations. On semble percevoir une différence marquée pour le NDF (figure 6).

(2) Comparaison par nutriment en fonction des milieux de vie

(i) Comparaison des fibres

Lorsque l'on conserve uniquement les rations non calculées, on observe une proportion d'ADF et de NDF plus importante en milieu naturel, mais pas significativement différente. Cela s'explique par le faible nombre de rations non

calculées réalisées chez les gorilles des plaines en milieu naturel (trois rations). Si l'on complète l'analyse avec les rations calculées, on obtient de nouveau une proportion plus élevée de NDF et d'ADF en milieu naturel, cette fois-ci significativement différente. La valeur moyenne de NDF est ainsi supérieure à 45 % en milieu naturel et inférieure à 20 % en parc zoologique (figure 7). La valeur moyenne d'ADF est supérieure à 25 % en milieu naturel et inférieure à 10 % en parc zoologique. Cette proportion de fibre nettement inférieure en parc zoologique a été plusieurs fois soulignée dans la littérature (voir paragraphe I. B. 2- b- (3)). Les résultats obtenus ici confirment cette différence.

Les causes fréquemment citées de ce régime pauvre en fibre sont les différences de composition des rations (plus de fruits en parc zoologique, moins de feuillages), et les différences nutritionnelles des aliments (les fruits donnés en captivité étant plus pauvres en fibre) (Popovich et Dierenfeld, 1997, Smith et al., 2020).

Les conséquences d'une alimentation peu riche en fibre chez le gorille sont une augmentation de la densité énergétique de la ration, des désordres digestifs, et une suspicion de désordres comportementaux et d'affections cardiaques (voir paragraphe 1. B. 3-).

(ii) Comparaison des protéines

Que ce soit uniquement pour les rations calculées ou sur l'ensemble des rations, la proportion de protéines en captivité est significativement plus élevée qu'en milieu naturel (figure 8). La valeur moyenne en captivité est proche de 17 %, contre 12 % en milieu naturel.

Ce résultat est peu cité dans la littérature. Les causes possibles sont la présence en captivité, notamment pour les études les plus anciennes, de produits animaux riches en protéines (œuf, lait, viande, yaourt) en proportion non négligeable, ayant pour effet d'augmenter la teneur en protéine de la ration. Les biscuits pour primates, généralement aux alentours de 25-30 % de protéines, sont également plus riches en protéine que les aliments consommés dans la nature par les gorilles (Calvert, 1985 ; Rogers et al., 1990 ; Rothman et al., 2006b ; Deblauwe et Janssens 2008 ; Robbins et al., 2022, Mazuri, 2024 ; Lab Diet, 2024).

Les conséquences d'une alimentation trop riche en protéine n'ont, à la connaissance de l'auteur, pas été étudiées chez le gorille.

(iii) Comparaison des lipides

Lorsque l'on conserve uniquement les rations non calculées, on observe une proportion de lipides plus faible en milieu naturel, mais pas significativement différente. Cela s'explique, comme pour les fibres, par le faible nombre de rations non calculées réalisées chez les gorilles des plaines en milieu naturel (trois rations). Si l'on complète l'analyse avec les rations calculées, on obtient de nouveau une proportion plus faible en milieu naturel, cette fois-ci significativement différente (figure 9). Le pourcentage de lipides dans les rations en captivité est, en moyenne, environ trois fois plus élevé qu'en milieu naturel.

Les causes de cette valeur élevée de lipides en parc zoologique sont, encore une fois, la présence de produits d'origine animale (œuf, lait, viande, yaourt), riches notamment en acides gras saturés. On peut également citer certains oléagineux (cacahuète, noisette, amande), dont le pourcentage de lipide dépasse parfois les 40 %, et qui sont régulièrement présents, bien qu'en petite quantité, dans les rations de parc zoologique, souvent en tant que friandise. Les biscuits pour primates, entre 5 et 8 % de lipides, sont également une source d'augmentation du pourcentage total en parc zoologique. De manière plus anecdotique, certaines graines (graines de lin, graines de tournesol), sont également riches en lipides et parfois utilisées dans les rations (Calvert, 1985 ; Rogers et al., 1990 ; Rothman et al., 2006b ; Deblauwe et Janssens 2008 ; Robbins et al., 2022, Mazuri, 2024 ; Lab Diet, 2024).

Les conséquences d'une alimentation trop riche en lipide sont l'augmentation de la densité énergétique de la ration, le risque d'obésité, et une suspicion d'affections cardiaques (voir I.B.3-).

(iv) Comparaison des autres nutriments

Les autres résultats ne contiennent pas suffisamment de données pour réaliser d'analyse statistique. On semble remarquer une quantité totale de la ration plus élevée en milieu naturel mais les données en milieu naturel ne proviennent que d'une seule étude. L'énergie totale des rations semble être plus faible en parc zoologique, mais

encore une fois les données en milieu naturel ne proviennent que d'une seule étude, et cela est à mettre en relation avec les différences de besoins énergétique et avec les budget-temps des gorilles, ce qui n'est pas étudié ici.

L'ENA, l'amidon et le sucre manquent de données soit en milieu naturel, soit en parc zoologique, pour être interprétés. Cela provient du fait que l'ENA est très rarement mesurée dans les rations en captivité, et qu'au contraire, les sucres simples et l'amidon ne sont jamais présents dans les analyses nutritionnelles des aliments en milieu naturel. Le phosphore semble être présent en plus faible quantité dans la nature, mais les données ne proviennent que d'une seule étude. L'humidité semble plus élevée en milieu naturel, ce qui pourrait s'expliquer par l'absence de biscuits pour primates, mais la différence n'est pas significative.

3. Comparaison interspécifique

a. Informations générales

Nous allons maintenant comparer les rations entre les espèces et sous-espèces de gorilles, en particulier les gorilles des plaines de l'Ouest (*Gorilla gorilla gorilla*) et les gorilles des montagnes (*Gorilla beringei beringei*).

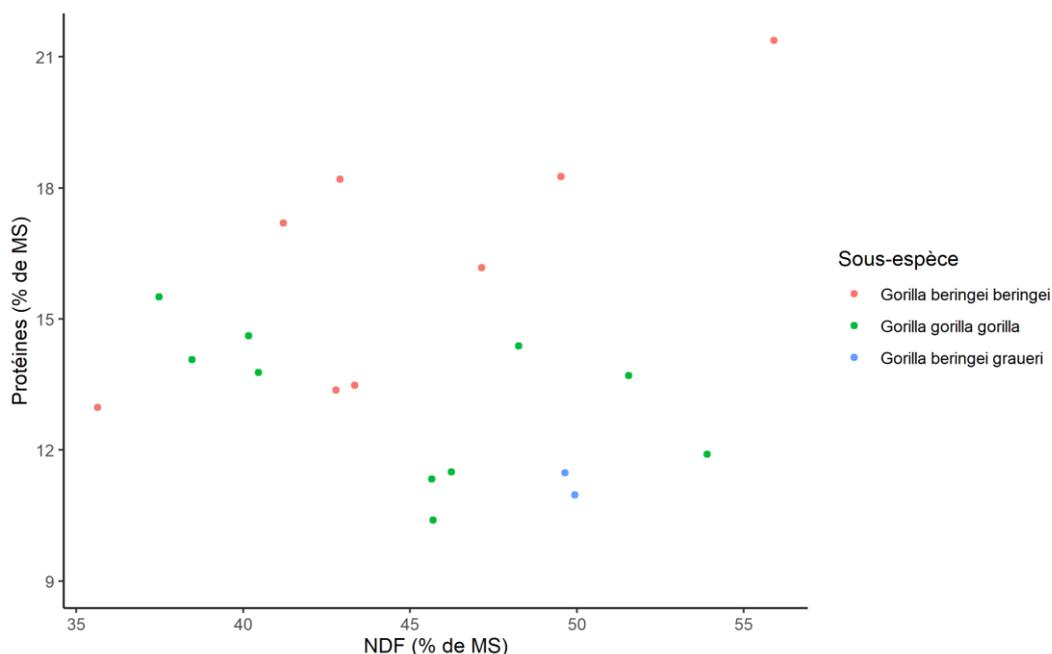


Figure 10. Comparaison des pourcentages en matière sèche de protéines et de NDF uniquement pour les rations en milieu naturel en fonction de la sous-espèce.

La figure 10 présente les rations réalisées en milieu naturel pour lesquelles les pourcentages de protéines et de NDF sont disponibles, et permet d'illustrer le nombre de rations présentes dans l'étude pour chaque sous-espèce de gorille. Dans cette partie, les résultats sont présentés uniquement pour les rations en milieu naturel. En effet, une seule sous-espèce étant présente en captivité (gorille des plaines de l'Ouest), il n'était pas possible de prendre en compte ce groupe de ration sans fausser la comparaison. À chaque fois, les rations sont comparées en fonction de la sous-espèce.

b. Résultats par nutriment en fonction de la sous-espèce

(1) Comparaison des fibres

Lorsque l'on s'intéresse uniquement aux rations en milieu naturel, il n'y a pas de différence significative du pourcentage de matière sèche de NDF ou d'ADF entre les gorilles des plaines de l'Ouest et les gorilles des montagnes (pour le NDF : p-value = 0,775 ; pour l'ADF : p-value = 0,596).

(2) Comparaison des protéines

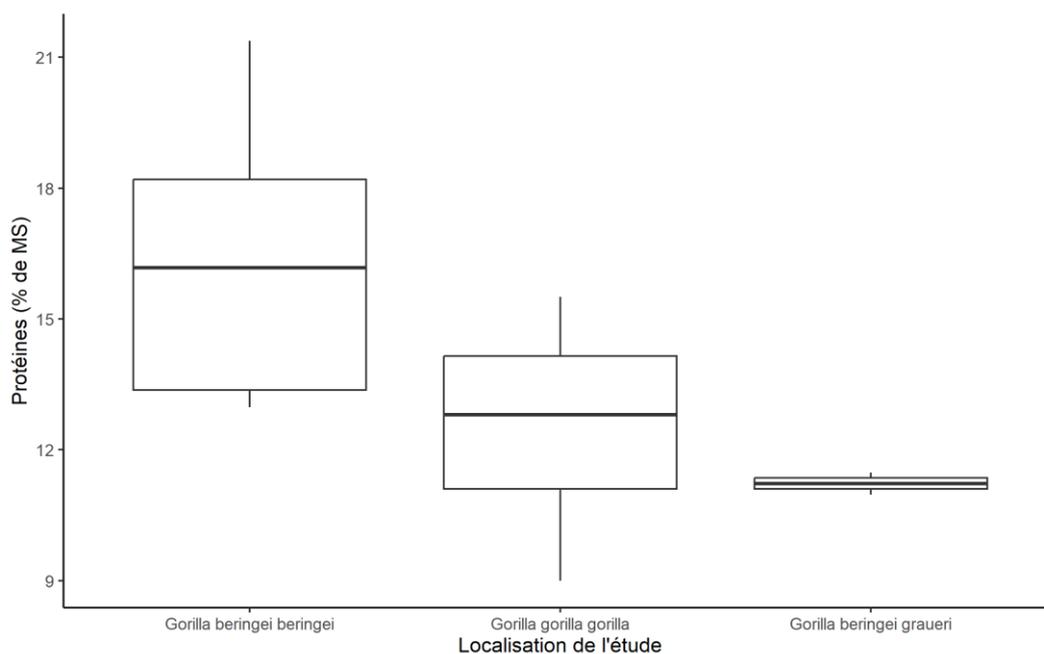


Figure 11. Pourcentages en matière sèche de protéines en fonction de la sous-espèce uniquement pour les rations en milieu naturel.

Lorsque l'on s'intéresse uniquement aux rations en milieu naturel, le pourcentage en matière sèche de protéines est significativement plus faible pour les gorilles des plaines de l'Ouest que pour les gorilles des montagnes (p-value = 0,036).

c. Interprétation et discussion sur la comparaison des sous-espèces

(1) Visualisation générale

La visualisation des données montre une bonne répartition entre les gorilles des plaines de l'Ouest (*Gorilla gorilla gorilla*, noté Gorilla) et les gorilles des montagnes (*Gorilla beringei beringei*, noté Beringei). Seules deux rations issues d'une seule étude proviennent des gorilles des plaines de l'Est (*Gorilla beringei graueri*, noté Graueri) : aucune analyse statistique ni interprétation n'a été réalisée. Aucune analyse nutritionnelle de ration ne provient des gorilles de la rivière Cross (*Gorilla gorilla diehli*).

(2) Comparaison par nutriment en fonction des sous-espèces

Les comparaisons des pourcentages de fibres dans les rations des sous-espèces de gorilles ne montrent pas de différence significative, bien que la valeur moyenne de NDF soit légèrement plus faible pour les gorilles des montagnes. Le pourcentage de protéine dans la ration est significativement plus faible chez le gorille des plaines de l'Ouest (figure 11), avec une valeur moyenne aux alentours de 13 %, contre 16 % chez le gorille des montagnes.

Ces résultats sont partiellement concordants avec la littérature. Lodwick et Salmi ont ainsi montré un pourcentage plus faible de protéines chez les gorilles des plaines de l'Ouest, mais une proportion de fibres plus élevée. Ces différences sont expliquées par le régime contenant plus de fruits et moins de feuilles des gorilles des plaines de l'Ouest (Lodwick et Salmi, 2019), alors que les fruits contiennent moins de protéines que les feuilles (Rothman et al., 2006a). Cette étude n'a cependant étudié que la ration de quatre femelles gorilles. D'autres études seront donc nécessaires pour établir plus précisément les différences nutritionnelles des rations entre les sous-espèces de gorilles. Plus d'études sur les gorilles des plaines de l'Est et de la rivière Cross sont nécessaires.

4. Comparaison en fonction de l'effet sur la santé de la ration

a. Informations générales

Les comparaisons de cette partie sont réalisées entre les rations ayant un effet global plutôt positif sur la santé et celles ayant un effet plutôt négatif. Seules les rations provenant de parcs zoologiques ont été prises en compte dans l'analyse, étant donné que seules ces rations possédaient le critère d'effet positif ou négatif sur la santé.

b. Résultats par nutriments en fonction de l'effet sur la santé

(1) Comparaison des fibres

Il n'y a pas de différence significative du pourcentage de matière sèche de NDF entre les rations ayant un effet positif et négatif sur la santé (p-value = 0,743).

Cependant, le pourcentage en matière sèche d'ADF est significativement plus faible pour les rations ayant un effet négatif sur la santé (p-value = 0,016).

(2) Comparaison des protéines

Il n'y a pas de différence significative du pourcentage de matière sèche de protéines entre les rations ayant un effet positif et négatif sur la santé (p-value = 0,859).

(3) Comparaison des lipides

Il n'y a pas de différence significative du pourcentage de matière sèche de protéines entre les rations ayant un effet positif et négatif sur la santé (p-value = 0,806).

(4) Comparaison des autres nutriments

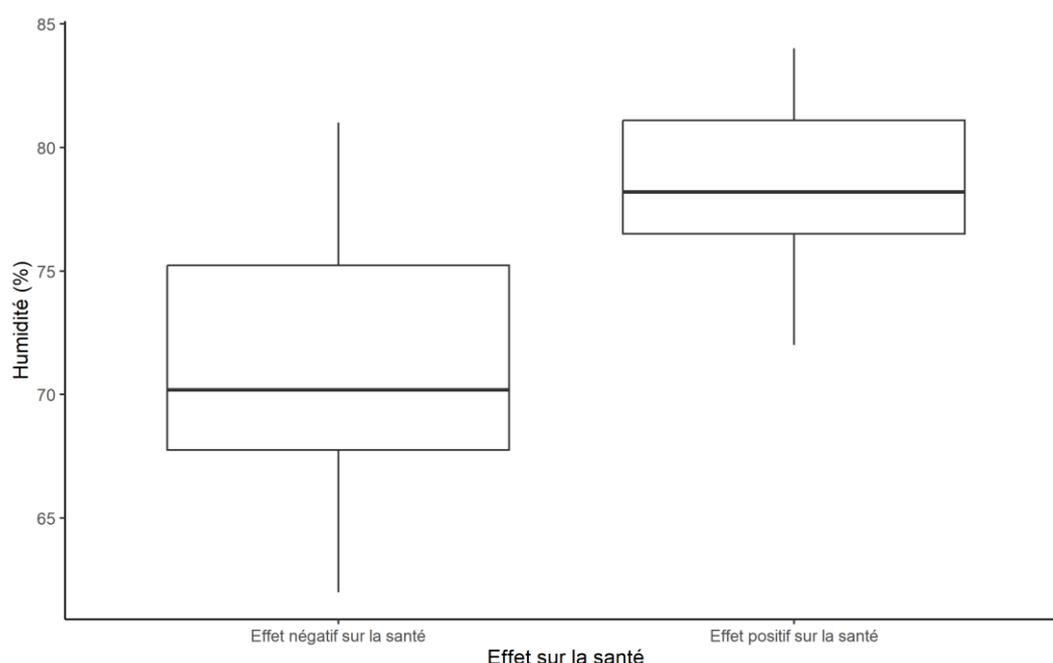


Figure 12. Pourcentage d'humidité en fonction de l'effet sur la santé uniquement pour les rations en parc zoologique.

Le pourcentage d'humidité est significativement plus faible pour les rations ayant un effet négatif sur la santé (figure, p-value = 0,010), comme illustré sur la figure 12.

La masse brute totale est significativement plus faible pour les rations ayant un effet négatif sur la santé (p-value = 0,010). Il n'y a pas de différence significative du pourcentage de matière sèche de sucres simples entre les rations ayant un effet positif et négatif sur la santé (p-value = 0,763). Il n'y a pas de différence significative du pourcentage de matière sèche de sucres simples entre les rations ayant un effet positif et négatif sur la santé (p-value = 0,359).

c. Interprétation et discussion en fonction de l'effet sur la santé

Le pourcentage d'ADF est plus faible pour les rations ayant un effet négatif, avec une valeur moyenne aux alentours de 8 %, contre plus de 13 % pour les rations ayant un effet positif. Ce résultat ne se retrouve pas dans les valeurs de NDF, dont la moyenne est plus élevée pour les rations ayant un effet négatif, sans différence significative.

Le pourcentage d'humidité est significativement plus faible pour les rations ayant un effet négatif sur la santé (figure 12). La valeur moyenne est aux alentours de 70 % pour les rations ayant un effet négatif, contre plus de 77 % pour les rations ayant un effet positif. Cette différence s'explique probablement par la présence de huit rations provenant d'une étude menée par Less et al. en 2014, qui s'est intéressée à l'effet de la suppression des biscuits pour primates dans la ration. Les différences importantes dans les valeurs d'humidité des rations de cette étude, associées à l'effet positif de la suppression des biscuits, sont probablement une des causes de ce résultat. Néanmoins, lorsque l'on retire ces valeurs de l'analyse, la différence reste significative. Un haut taux d'humidité est généralement associé aux végétaux et aux fruits, tandis que les biscuits, oléagineux et graines auront des taux d'humidité faibles (Calvert, 1985 ; Rogers et al., 1990 ; Rothman et al., 2006b ; Deblauwe et Janssens 2008 ; Robbins et al., 2022, Mazuri, 2024 ; Lab Diet, 2024).

La quantité totale de la ration est significativement plus faible pour les rations ayant un effet négatif pour la santé. La valeur moyenne est inférieure à 5 kg pour les rations ayant un effet négatif, contre environ 7 kg pour les rations ayant un effet positif. Les aliments ayant un effet important sur le poids total de la ration sont les aliments riches en eau et à faible densité énergétique, comme les feuillages et les légumes

(Calvert, 1985 ; Rogers et al., 1990 ; Rothman et al., 2006b ; Deblauwe et Janssens 2008 ; Robbins et al., 2022, Mazuri, 2024 ; Lab Diet, 2024).

On peut proposer que les rations riches en végétaux, et pauvres en aliments secs denses en énergie, auraient comme conséquence une meilleure satiété, un temps passé à s'alimenter plus long et une diminution de la R/R.

5. Analyse par date de parution de l'étude

a. En milieu naturel

Lorsque l'on considère uniquement les rations en milieu naturel, le pourcentage en matière sèche de NDF et d'ADF ne montrent pas d'évolution significative en fonction de la date de parution de l'étude (pour le NDF : p-value = 0,108 ; pour l'ADF : p-value = 0,440). De même, lorsque l'on considère uniquement les rations en milieu naturel, le pourcentage en matière sèche de protéines ne montre pas d'évolution significative en fonction de la date de parution de l'étude (p-value = 0,160).

Concernant les sous-espèces, on peut noter qu'historiquement les gorilles des montagnes (*Gorilla beringei beringei*) étaient plus étudiés, mais que depuis la fin des années 2000 plus d'études sont menées sur les gorilles des plaines.

b. En captivité

Lorsque l'on considère uniquement les rations en parc zoologique, le pourcentage en matière sèche de NDF, d'ADF de protéines et de lipides ne montrent pas d'évolution significative en fonction de la date de parution de l'étude (pour le NDF : p-value = 0,455 ; pour l'ADF : p-value = 0,055 ; pour les protéines : p-value = 0,471 ; pour les lipides : p-value = 0,222).

c. Interprétation et discussion sur l'évolution chronologique

En milieu naturel, il n'y a pas d'évolution significative des pourcentages de NDF, d'ADF et de protéines, ce qui est en accord avec le résultat attendu, c'est-à-dire pas d'évolution du régime alimentaire des gorilles en milieu naturel.

En parc zoologique, les données ne montrent aucune évolution significative du pourcentage de NDF, d'ADF, de protéines et de lipides dans les rations en parc zoologique. Cependant, l'augmentation de l'ADF est proche du seuil de significativité (p -value=0,055) et les lipides semblent visuellement être en diminution. Bien que les rations en parc zoologique semblent être en voie d'amélioration pour se rapprocher des rations en milieu naturel (Smith et al., 2014), les données présentées ici ne permettent pas de confirmer cette hypothèse.

6. Limites et biais de l'étude

a. Limites générales

Une première limite de l'étude est le nombre de rations incluses. Même si le nombre total est de 54, celui-ci se réduit fortement dans certains cas spécifiques. Ainsi, seules 23 rations provenant du milieu naturel sont disponibles, seules huit rations sont non calculées, et parmi celles-ci seules deux ont mesuré le taux de lipides. Selon les comparaisons effectuées et les nutriments étudiés, le nombre de rations disponibles peut donc être très faible.

La limite la plus importante est la mise au même plan de toutes les rations. Une ration issue d'une étude sur un groupe de quelques gorilles a ainsi le même poids qu'un sondage réalisé sur des dizaines de rations et des centaines de gorilles. Néanmoins, seules deux études où le nombre d'individus était renseigné incluaient plus de 20 gorilles, toutes les autres étaient réalisées sur un nombre plus faible. Un axe d'amélioration pourrait être de pondérer le poids des rations dans l'analyse en fonction du nombre d'individu sur lesquels ont été réalisées les études. Cela poserait néanmoins d'autres problèmes. Par exemple, pour les études en milieu naturel, un nombre d'individus observés élevé est souvent corrélé à un temps d'observation plus faible de chaque individu. Cela pose également la question de la précision des méthodes employées, relativement variable dans le milieu naturel, d'autant plus entre les études.

Une autre limite est le manque d'information sur certains nutriments. Les fibres, les protéines et les lipides sont presque les seuls pour lesquels suffisamment d'information sont disponibles. Le manque d'information sur les sucres simples ou sur

l'amidon limite fortement les comparaisons. Les études en parc zoologique sont souvent plus complètes pour ces nutriments, mais les bases de données sur les aliments en milieu naturel manquent d'information. L'utilisation de plusieurs bases de données pourrait contribuer à régler le problème, avec le risque de diminution d'uniformité des sources.

Enfin, de nombreuses informations supplémentaires pourraient être incluses sur les gorilles concernés par les rations. L'âge, le sexe, le stade physiologique (gestation, lactation), modifient les besoins nutritionnels et peuvent fausser les résultats présentés ici. 31 rations sur 47 pour lesquelles la composition du groupe est renseignée ont été réalisées sur des groupes mixtes (au moins deux catégories différentes parmi mâles, femelles et juvéniles). Aucune étude n'a été réalisée spécifiquement sur les femelles en gestation ou en lactation. Dans le cas où plus de rations auraient été disponibles, il aurait été intéressant de s'intéresser aux différences entre mâles, femelles et juvéniles, certaines études ayant montré des besoins en énergie et en nutriment différents selon l'âge et le sexe (Rothman et al., 2007).

b. Biais spécifiques à chaque comparaison

(1) Biais spécifiques à la comparaison par méthode de calcul

Plusieurs biais affectent la comparaison entre les méthodes de calcul et les rations non calculées. Nous avons déjà discuté des milieux de réalisation des études qui varient et de la proportion différente d'espèces et de sous-espèces dans les deux groupes. Les méthodes de mesure diffèrent également fortement selon les études. Ainsi, l'ensemble des rations non calculées ont été mesurées par estimation de la masse ingérée pour les gorilles, c'est-à-dire en évaluant la matière sèche de chaque aliment ingéré par les gorilles. Il s'agit d'une méthode qui prend en compte plusieurs paramètres (temps passé à s'alimenter, masse moyenne de chaque aliment consommé, temps nécessaire pour ingérer chaque aliment). Pour les rations calculées, sept ont été mesurées par estimation du temps de consommation de chaque aliment, cinq par estimation des signes de consommation laissés sur chaque aliment, et seulement trois par analyse de la masse ingérée. Les premières méthodes peuvent être considérées moins précises, car elles ne prennent pas en compte que certains aliments mettent plus de temps à être ingérés, pour la première, et que

certaines aliments ne laissent pas de traces de consommation, pour la deuxième. Tous ces éléments ont pu concourir à des différences dans les proportions d'aliments entre les rations calculées et non calculées.

Les analyses nutritionnelles des ingrédients diffèrent probablement entre les bases de données utilisées pour les calculs et celles utilisées dans les études. Les aliments consommés par les gorilles diffèrent selon les régions, tout comme leur composition nutritionnelle. Il y a ainsi forcément une certaine différence entre les bases de données et les aliments réellement consommés par les gorilles dans les rations calculées.

Pour le calcul en lui-même, le seul biais dépend de la méthode utilisée. Pour la méthode 1, le biais vient de l'absence de l'analyse de certains aliments, avec le risque d'une sous-estimation des valeurs. Pour la méthode 2, le biais vient de la correction des aliments pour lesquels aucune analyse nutritionnelle n'est disponible, avec le risque d'une surestimation des valeurs.

(2) Biais spécifiques à la comparaison entre milieu naturel et captivité

Comme vu précédemment, l'utilisation de rations calculées ne semble pas induire un biais majeur. De plus, les graphiques utilisant uniquement les rations non calculées montrent des résultats proches. Il n'y a pas de biais d'espèce, étant donné que seules les rations provenant des gorilles des plaines sont utilisées.

Une différence majeure entre les rations provenant du milieu naturel et des parcs zoologiques réside en revanche dans la méthode de calcul. Les rations en milieu naturel sont des estimations sur la ration ingérée (par temps de consommation, par masse, par signe de consommation). A contrario, les rations en parc zoologique sont des rations distribuées, pour 29 rations sur 31, et seules deux rations sont des estimations de rations ingérées. Les gorilles consommeront en priorité les aliments appétents, riches en sucres, en lipides et en protéines, en premier, et risquent d'ignorer ou de ne pas consommer l'intégralité des aliments moins appétents, fibreux, par exemple les feuillages. Il y a donc un risque de sous-estimation du pourcentage de protéines et de lipides consommées en parc zoologique, et de surestimation du pourcentage de fibres. Cependant, cela ne ferait qu'accentuer les résultats obtenus.

(3) Biais spécifiques à la comparaison entre les sous-espèces

Le principal biais présent ici concerne les méthodes de calcul. 55 % (5/9) des rations des gorilles des montagnes sont calculées, contre 75 % (9/12) des rations des gorilles des plaines de l'Ouest. Comme les rations calculées ont en moyenne des valeurs légèrement plus faibles que les rations non calculées, cela a pu entraîner une sous-estimation des valeurs plus importante chez les gorilles de l'Ouest, pouvant potentiellement expliquer l'absence de différence significative pour le NDF et l'ADF. Pour les protéines, cela ne ferait qu'accentuer les résultats obtenus.

Au niveau des méthodes de mesure, pour les gorilles des montagnes, sept études sont par estimation de la masse ingérée et deux par estimation des signes de consommation. Pour les gorilles des plaines de l'Ouest, sept sont par estimation de la masse ingérée et cinq par estimation du temps de consommation. Cette différence de méthode d'estimation a également pu causer des différences.

(4) Biais spécifiques à la comparaison par effet sur la santé

Toutes les rations étudiées ici proviennent de la même espèce (*Gorilla gorilla gorilla*), de parcs zoologiques, sont des rations non calculées, dont la méthode d'analyse est la ration distribuée pour 19 sur 21 d'entre elles, et la ration ingérée pour les deux dernières (une à effet positif et une à effet négatif).

Le principal biais vient de la classification en effet positif ou négatif, basée sur trois critères (régurgitation/réingestion inférieure ou non à deux fois par jour ou à 1 % du temps, temps passé à s'alimenter inférieur ou non à 30 %, coprophagie inférieure à 0,2 %). Tous les critères ne sont pas présents dans toutes les études, ainsi six études sur 21 ont comme seul critère la R/R. Pour la R/R, certaines études utilisent un pourcentage du budget-temps, d'autres un taux journalier, rendant la comparaison difficile.

L'autre problème majeur vient de l'origine multifactorielle de ces troubles. L'environnement social, les enrichissements, les infrastructures d'accueil, l'état de stress sont des exemples de facteurs impliqués dans l'occurrence de la R/R, de la coprophagie et de la diminution du temps passé à s'alimenter. Ces éléments ne sont pas pris en compte ici.

En ce qui concerne les différences de résultats entre NDF et ADF, je suppose un biais lié aux études. Ainsi, les 12 rations pour lesquelles seul le pourcentage de NDF est renseigné proviennent de deux études, et les quatre rations pour lesquelles seul le pourcentage d'ADF est renseigné proviennent d'une seule étude. Seules cinq rations provenant de deux études ont évalué en même temps les pourcentages de NDF et d'ADF.

(5) Biais spécifiques à l'évolution en fonction de la date

La présentation par date est sujette à de nombreux biais étant donné que le nombre d'études par tranche est faible, que ce soit au niveau des espèces (études sur les gorilles des montagnes généralement plus anciennes), sur la méthode, ou sur le type d'étude réalisée selon les années. Il s'agit donc au mieux d'obtenir une tendance.

On notera que toutes les rations sont classifiées selon la date de sortie de l'étude, et qu'elles ont donc été pour la plupart mesurées à une date légèrement antérieure.

CONCLUSION

Les différentes comparaisons de rations réalisées dans le cadre de ce travail ont permis de mettre en évidence plusieurs points clés de l'alimentation des espèces du genre *Gorilla*.

Ainsi, les gorilles présents en captivité reçoivent une alimentation plus riche en protéines et en lipides, et beaucoup plus pauvre en fibres (NDF et ADF) que leurs homologues en milieu naturel. Ces déséquilibres sont suspectés d'être en partie responsables de la prévalence importante de certaines affections en captivité, comme l'obésité ou les maladies cardio-vasculaires. Des troubles comportementaux, notamment liés à un déséquilibre du budget-temps par rapport au milieu naturel, sont également concernés. Une amélioration des rations proposées en captivité est donc encore nécessaire.

Nous avons également pu mettre en évidence des différences entre les sous-espèces de gorilles : les gorilles des montagnes consomment plus de protéine que les gorilles des plaines de l'Ouest. Ce dernier étant le seul présent en captivité, ce résultat souligne l'importance de réaliser des études chez toutes les sous-espèces de gorilles pour pouvoir améliorer leur régime alimentaire en parc zoologique, alors qu'historiquement le gorille des montagnes est la sous-espèce la plus étudiée.

Enfin, ce travail a permis de mettre en évidence qu'un plus faible pourcentage en matière sèche d'ADF, ainsi qu'un plus faible pourcentage d'humidité totale, semblent corrélés à un effet négatif sur la santé. Ce résultat, en concordance avec les recommandations actuelles, semble indiquer le bénéfice d'opter pour des aliments riches en eau et en ADF, et de limiter ceux pauvres en eau, de type biscuits pour primates, oléagineux, et graines.

D'autres études sont désormais nécessaires pour mieux comprendre le lien entre l'alimentation et certaines affections prépondérantes chez le gorille. La protection des gorilles, tout comme celle des autres espèces, tant à l'état sauvage qu'en captivité, passe par une compréhension approfondie de leur écologie alimentaire et de leur santé, ce qui contribuera à assurer la pérennité de ces espèces emblématiques pour les générations futures.

BIBLIOGRAPHIE

- Abelló, T., Rietkerk, F. et Bemment, N. (2024) *EAZA Best Practice Guidelines Great Ape Taxon Advisory Group GORILLA*. Disponible sur : <https://www.eaza.net/assets/Uploads/CCC/2017-BPG-Gorilla-approved.pdf>
- Akers, J.S. et Schildkraut, D.S. (1985) 'Regurgitation/reingestion and coprophagy in captive gorillas', *Zoo Biology*, 4(2), pp. 99–109. Disponible sur : <https://doi.org/10.1002/zoo.1430040203>.
- Bergl, R.A. *et al.* (2012) 'Remote sensing analysis reveals habitat, dispersal corridors and expanded distribution for the Critically Endangered Cross River gorilla *Gorilla gorilla diehli*', *Oryx*, 46(2), pp. 278–289. Disponible sur : <https://doi.org/10.1017/S0030605310001857>.
- Brugière, D. et Sakom, D. (2001) 'Population density and nesting behaviour of lowland gorillas (*Gorilla gorilla gorilla*) in the Ngotto forest, Central African Republic', *Journal of Zoology*, 255(2), pp. 251–259. Disponible sur : <https://doi.org/10.1017/S0952836901001315>.
- Cabana, F., Jasmi, R. et Maguire, R. (2018) 'Great ape nutrition: low-sugar and high-fibre diets can lead to increased natural behaviours, decreased regurgitation and reingestion, and reversal of prediabetes', *International Zoo Yearbook*, 52(1), pp. 48–61. Disponible sur : <https://doi.org/10.1111/izy.12172>.
- Calvert, J.J. (1985) 'Food selection by western gorillas (*G.g. gorilla*) in relation to food chemistry', *Oecologia*, 65(2), pp. 236–246. Disponible sur : <https://doi.org/10.1007/BF00379223>.
- Charmoy, K., Sullivan, T. et Miller, L. (2015) 'Impact of Different Forms of Environmental Enrichment on Foraging and Activity Levels in Gorillas (*Gorilla gorilla gorilla*)', *Animal Behavior and Cognition*, 2(3), pp. 233–240. Disponible sur : <https://doi.org/10.12966/abc.08.03.2015>.
- Cipolletta, C. (2004) 'Effects of group dynamics and diet on the ranging patterns of a western gorilla group (*Gorilla gorilla gorilla*) at Bai Hokou, Central African Republic', *American Journal of Primatology*, 64(2), pp. 193–205. Disponible sur : <https://doi.org/10.1002/ajp.20072>.
- Deblauwe, I. et Janssens, G.P.J. (2008) 'New insights in insect prey choice by chimpanzees and gorillas in Southeast Cameroon: The role of nutritional value', *American Journal of Physical Anthropology*, 135(1), pp. 42–55. Disponible sur : <https://doi.org/10.1002/ajpa.20703>.
- Dennis, P.M. *et al.* (2019) 'Cardiac disease is linked to adiposity in male gorillas (*Gorilla gorilla gorilla*)', *PLoS ONE*, 14(6), p. e0218763. Disponible sur : <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218763>.
- Doran, D.M. et McNeilage, A. (1998) 'Gorilla ecology and behavior', *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 6(4), pp. 120–131. Disponible sur : [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6505\(1998\)6:4<120::AID-EVAN2>3.0.CO;2-H](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6505(1998)6:4<120::AID-EVAN2>3.0.CO;2-H).
- Doran-Sheehy, D. *et al.* (2009) 'Male and female western gorilla diet: Preferred foods, use of fallback resources, and implications for ape versus old world monkey foraging strategies', *American Journal of Physical Anthropology*, 140(4), pp. 727–738. Disponible sur : <https://doi.org/10.1002/ajpa.21118>.
- Dunn, A., Bergl, R. et Williamson, E.A. (2014) 'Revised Regional Action Plan for the Conservation of the Cross River Gorilla (*Gorilla gorilla diehli*) 2014–2019'.
- Edes, A.N. *et al.* (2020a) 'Allostatic Load Indices With Cholesterol and Triglycerides Predict Disease and Mortality Risk in Zoo-Housed Western Lowland Gorillas (*Gorilla gorilla gorilla*)', *Biomarker Insights*, 15, p. 1177271920914585. Disponible sur : <https://doi.org/10.1177/1177271920914585>.

- Edes, A.N., Brown, J.L. et Edwards, K.L. (2020b) 'Testing lipid markers as predictors of all-cause morbidity, cardiac disease, and mortality risk in captive western lowland gorillas (*Gorilla gorilla gorilla*)', *Primate Biology*, 7(2), pp. 41–59. Disponible sur : <https://doi.org/10.5194/pb-7-41-2020>.
- Elgart, A.A. (2010) 'Dental wear, wear rate, and dental disease in the African apes', *American Journal of Primatology*, 72(6), pp. 481–491. Disponible sur : <https://doi.org/10.1002/ajp.20797>.
- Etiendem, D.N. et Tagg, N. (2013) 'Feeding Ecology of Cross River Gorillas (*Gorilla gorilla diehli*) at Mawambi Hills: The Influence of Resource Seasonality', *International Journal of Primatology*, 34(6), pp. 1261–1280. Disponible sur : <https://doi.org/10.1007/s10764-013-9739-z>.
- Fuh, T. (2013) 'Western lowland gorilla (*Gorilla gorilla gorilla*) diet and activity budgets: effects of group size, age class and food availability in the Dzanga-Ndoki National Park, Central African Republic'.
- Fuller, G. *et al.* (2017) 'Behavioral and hormonal responses to the availability of forage material in Western lowland gorillas (*Gorilla gorilla gorilla*)'.
- Ganas, J., Ortmann, S. et Robbins, M.M. (2009) 'Food choices of the mountain gorilla in Bwindi Impenetrable National Park, Uganda: the influence of nutrients, phenolics and availability', *Journal of Tropical Ecology*, 25(2), pp. 123–134. Disponible sur : <https://doi.org/10.1017/S0266467408005701>.
- Ganas, J. et Robbins, M.M. (2005) 'Ranging behavior of the mountain gorillas (*Gorilla beringei beringei*) in Bwindi Impenetrable National Park, Uganda: a test of the ecological constraints model', *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 58(3), pp. 277–288. Disponible sur : <https://doi.org/10.1007/s00265-005-0920-z>.
- Groves, C.P. (2018) 'The latest thinking about the taxonomy of great apes', *International Zoo Yearbook*, 52(1), pp. 16–24. Disponible sur : <https://doi.org/10.1111/izy.12173>.
- Hampe, K. (1999) 'Erhebungen zur Ernährung ausgewählter Primatenspezies in menschlicher Obhut' University of Gießen, Germany.
- Harcourt, A.H. et Stewart, K.J. (1984) 'Gorillas' time feeding: aspects of methodology, body size, competition and diet', *African Journal of Ecology*, 22(3), pp. 207–215. Disponible sur : <https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.1984.tb00696.x>.
- Hemphill, J. et McGrew, W.C. (1988) 'Environmental enrichment thwarted: Food accessibility and activity levels in captive western lowland gorillas (*Gorilla gorilla gorilla*).', *Zoologischer Garten N.F.* 68: 381-394.
- Hickey, J. (2019) 'Virunga 2015-2016 Surveys Monitoring Mountain Gorillas, Other Select Mammals, and Illegal Activities'.
- Hill, S.P. (2018) "'Regurgitation and reingestion" (R/R) in great apes: a review of current knowledge', *International Zoo Yearbook*, 52(1), pp. 62–78. Disponible sur : <https://doi.org/10.1111/izy.12204>.
- Huff, J.F. (2010) 'Surgical extractions for periodontal disease in a Western Lowland gorilla', *Journal of Veterinary Dentistry*, 27(1), pp. 24–32. Disponible sur : <https://doi.org/10.1177/089875641002700104>.
- ISIS (2002) 'International Species Information System Physiological Data Reference Values.' 2002 International Species Information System (ISIS).
- IUCN (2016) 'Gorilla gorilla: Maisels, F., Bergl, R.A. & Williamson, E.A.: The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T9404A102330408'. Disponible sur :

<https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-2.RLTS.T9404A17963949.en>.

IUCN (2018) 'Gorilla beringei: Plumptre, A., Robbins, M.M. & Williamson, E.A.: The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T39994A115576640'. Disponible sur : <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-1.RLTS.T39994A115576640.en>.

JAMA Editorials (1955) 'Dietary deficiency in the captive gorilla' *Journal of the American Medical Association*, 157(18), p. 1615. Disponible sur : <https://doi.org/10.1001/jama.1955.02950350029014>.

Junge, R.E. *et al.* (1998) 'Cardiovascular evaluation of lowland gorillas', *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 212(3), pp. 413–415. Disponible sur : <https://doi.org/10.2460/javma.1998.212.03.413>.

Kemnitz, J.W. *et al.* (1984) 'Changes in food intake during menstrual cycles and pregnancy of normal and diabetic rhesus monkeys', *Diabetologia*, 26(1). Disponible sur : <https://doi.org/10.1007/BF00252265>.

Kenny, D.E., Cambre, R.C. et Alvarado, T.P. (1994) 'Aortic Dissection: An Important Cardiovascular Disease in Captive Gorillas (*Gorilla gorilla gorilla*)', *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 25(4), pp. 561–568.

National Research Council. (2003) 'Nutrient Requirements of Nonhuman Primates: Second Revised Edition', *Lab Animal*, 32(10). Disponible sur : <https://doi.org/10.1038/labani1103-26>.

Kriaa, A. *et al.* (2019) 'Microbial impact on cholesterol and bile acid metabolism: current status and future prospects', *Journal of Lipid Research*, 60(2), pp. 323–332. Disponible sur : <https://doi.org/10.1194/jlr.R088989>.

Krynak, K.L. *et al.* (2017) 'Gut microbiome composition is associated with cardiac disease in zoo-housed western lowland gorillas (*Gorilla gorilla gorilla*)', *FEMS Microbiology Letters*, 364(15). Disponible sur : <https://doi.org/10.1093/femsle/fnx149>.

Kuhar, C.W., Fuller G.A., Dennis P.M. (2013), 'A survey of diabetes prevalence in zoo-housed primates', *Zoo Biol.*, 32: 63-69. Disponible sur : <https://doi.org/10.1002/zoo.21038>

Lankester, F. *et al.* (2008) 'Fatal ulcerative colitis in a western lowland gorilla (*gorilla gorilla gorilla*)', *Journal of Medical Primatology*, 37(6), pp. 297–302. Disponible sur : <https://doi.org/10.1111/j.1600-0684.2008.00287.x>.

Leigh, S.R. (1994) 'Relations between captive and noncaptive weights in anthropoid primates', *Zoo Biology*, 13(1), pp. 21–43. Disponible sur : <https://doi.org/10.1002/zoo.1430130105>.

Less, E. h., Bergl, R., *et al.* (2014a) 'Implementing a low-starch biscuit-free diet in zoo gorillas: The impact on behavior', *Zoo Biology*, 33(1), pp. 63–73. Disponible sur : <https://doi.org/10.1002/zoo.21116>.

Less, E. h., Lukas, K. e., *et al.* (2014b) 'Implementing a low-starch biscuit-free diet in zoo gorillas: The impact on health', *Zoo Biology*, 33(1), pp. 74–80. Disponible sur : <https://doi.org/10.1002/zoo.21115>.

Lodwick, J.L. et Salmi, R. (2019) 'Nutritional composition of the diet of the western gorilla (*Gorilla gorilla*): Interspecific variation in diet quality', *American Journal of Primatology*, 81(9), p. e23044. Disponible sur : <https://doi.org/10.1002/ajp.23044>.

Lovell, N.C. (1990) 'Skeletal and dental pathology of free-ranging mountain gorillas', *American Journal of Physical Anthropology*, 81(3), pp. 399–412. Disponible sur : <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330810309>.

- Lukas, K.E. (1999) 'A review of nutritional and motivational factors contributing to the performance of regurgitation and reingestion in captive lowland gorillas (*Gorilla gorilla gorilla*)'.
- Lukas, K.E. *et al.* (1999) 'Removing milk from captive gorilla diets: The impact on regurgitation and reingestion (R/R) and other behaviors', *Zoo Biology*, 18(6), pp. 515–528. Disponible sur : [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2361\(1999\)18:6<515::AID-ZOO6>3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2361(1999)18:6<515::AID-ZOO6>3.0.CO;2-T).
- Magliocca, F. et Gautier-Hion, A. (2002) 'Mineral content as a basis for food selection by western lowland gorillas in a forest clearing', *American Journal of Primatology*, 57(2), pp. 67–77. Disponible sur : <https://doi.org/10.1002/ajp.10034>.
- Masi, S. *et al.* (2015) 'The Influence of Seasonal Frugivory on Nutrient and Energy Intake in Wild Western Gorillas', *PLOS ONE*, 10(7), p. e0129254. Disponible sur : <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129254>.
- Masi, S., Cipolletta, C. et Robbins, M.M. (2009) 'Western lowland gorillas (*Gorilla gorilla gorilla*) change their activity patterns in response to frugivory', *American Journal of Primatology*, 71(2), pp. 91–100. Disponible sur : <https://doi.org/10.1002/ajp.20629>.
- McGuire, J.T. *et al.* (1989) 'Plasma Alpha-Tocopherol, Retinol, Cholesterol, and Mineral Concentrations in Captive Gorillas', *Journal of Medical Primatology*, 18(2), pp. 155–161. Disponible sur : <https://doi.org/10.1111/j.1600-0684.1989.tb00214.x>.
- McNeilage, A. (1995) 'Mountain gorillas in the Virunga volcanoes : ecology and carrying capacity'.
- McNeilage, A. (2001) 'Diet and habitat use of two mountain gorilla groups in contrasting habitats in the Virungas', in M.M. Robbins, P. Sicotte, and K.J. Stewart (eds) *Mountain Gorillas*. 1st edn. Cambridge University Press, pp. 265–292. Disponible sur : <https://doi.org/10.1017/CBO9780511661631.011>.
- Miller, C.L. *et al.* (1999) 'Chronic Hypertension with Subsequent Congestive Heart Failure in a Western Lowland Gorilla (*Gorilla gorilla gorilla*)', *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 30(2), pp. 262–267.
- Miller, R.E. et Fowler, M.E. (2011) *Fowler's Zoo and Wild Animal Medicine Current Therapy, Volume 7*. Elsevier Health Sciences.
- Morey-Matamalas, A. *et al.* (2021) 'Histopathological Characterization of Colitis in Captive Western Lowland Gorillas (*Gorilla gorilla ssp gorilla*)', *Journal of Comparative Pathology*, 185, pp. 108–117. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.jcpa.2021.04.003>.
- Muhangi, D. *et al.* (2021) 'Pathological lesions of the digestive tract in free-ranging mountain gorillas (*Gorilla beringei beringei*)', *American Journal of Primatology*, 83(8), p. e23290. Disponible sur : <https://doi.org/10.1002/ajp.23290>.
- Mulders, L.V. *et al.* (2024) 'An overview of nutritional factors in the aetiopathogenesis of myocardial fibrosis in great apes', *Nutrition Research Reviews*, pp. 1–16. Disponible sur : <https://doi.org/10.1017/S0954422424000076>.
- Mundy, N.I. *et al.* (1998) 'Protein Deficiency in a Colony of Western Lowland Gorillas (*Gorilla g gorilla*)', *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 29(3), pp. 261–268.
- Oftedal, O.T. et Allen, M.E. (1997) 'The feeding and nutrition of omnivores with emphasis on primates. p.148-157', in *Wild Mammals in Captivity: Principles and Techniques*. (Chicago: University of Chicago Press).
- Plowman, A., Green, K. et Taylor, L. (2009) 'Should zoo food be chopped?', in *Zoo Animal Nutrition IV*.

Plumptre, A.J. *et al.* (2016) ‘Catastrophic Decline of World’s Largest Primate: 80 % Loss of Grauer’s Gorilla (*Gorilla beringei graueri*) Population Justifies Critically Endangered Status’, *PLOS ONE*. Edited by A. Margalida, 11(10), p. e0162697. Disponible sur : <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162697>.

Popovich, D.G. et Dierenfeld, E.S., (1997) ‘Gorilla Nutrition’.

Reiner, W.B. *et al.* (2014) ‘Fatty acids in mountain gorilla diets: Implications for primate nutrition and health’, *American Journal of Primatology*, 76(3), pp. 281–288. Disponible sur : <https://doi.org/10.1002/ajp.22232>.

Remis, M.J. (1994) *Feeding ecology and positional behavior of western lowland gorillas (Gorilla gorilla gorilla) in the Central African Republic*. Ph. D. Thesis.

Remis, M.J. (1997) ‘Western lowland gorillas (*Gorilla gorilla gorilla*) as seasonal frugivores: Use of variable resources’, *American Journal of Primatology*, 43(2), pp. 87–109. Disponible sur : [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2345\(1997\)43:2<87::AID-AJP1>3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2345(1997)43:2<87::AID-AJP1>3.0.CO;2-T).

Remis, M.J. (2002) ‘Food Preferences Among Captive Western Gorillas (*Gorilla gorilla gorilla*) and Chimpanzees (*Pan troglodytes*)’, *International Journal of Primatology* [Preprint].

Remis, M.J. et Dierenfeld, E.S. (2004) ‘Digesta Passage, Digestibility and Behavior in Captive Gorillas Under Two Dietary Regimens’, *International Journal of Primatology*, 25(4), pp. 825–845. Disponible sur : <https://doi.org/10.1023/B:IJOP.0000029124.04610.c7>.

Robbins, M.M., Ortmann, S. et Seiler, N. (2022) ‘Dietary variability of western gorillas (*Gorilla gorilla gorilla*)’, *PLOS ONE*, 17(8), p. e0271576. Disponible sur : <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0271576>.

Robbins, M.M. et Robbins, A.M. (2018) ‘Variation in the social organization of gorillas: Life history and socioecological perspectives’, *Evolutionary Anthropology*, 27(5), pp. 218–233. Disponible sur : <https://doi.org/10.1002/evan.21721>.

Rogers, M., Williamson, L. et Tutin, C. (1988) ‘Effects of the dry season on gorilla diet in Gabon’, *Primate Report*, 22, pp. 25–33.

Rogers, M.E. *et al.* (1990) ‘Gorilla diet in the Lopé Reserve, Gabon’:

Rogers, M.E. *et al.* (2004) ‘Western gorilla diet: A synthesis from six sites’, *American Journal of Primatology*, 64(2), pp. 173–192. Disponible sur : <https://doi.org/10.1002/ajp.20071>.

Rothman, J.M., Pell, A.N., *et al.* (2006a) ‘Nutritional Aspects of the Diet of Wild Gorillas’, in N.E. Newton-Fisher *et al.* (eds) *Primates of Western Uganda*. New York, NY: Springer New York (Developments in Primatology: Progress and Prospects), pp. 153–169. Disponible sur : https://doi.org/10.1007/978-0-387-33505-6_9.

Rothman, J.M., Dierenfeld, E.S., *et al.* (2006b) ‘Nutritional chemistry of foods eaten by gorillas in Bwindi Impenetrable National Park, Uganda’, *American Journal of Primatology*, 68(7), pp. 675–691. Disponible sur : <https://doi.org/10.1002/ajp.20243>.

Rothman, J.M. *et al.* (2007) ‘Nutritional composition of the diet of the gorilla (*Gorilla beringei*): a comparison between two montane habitats’, *Journal of Tropical Ecology*, 23(6), pp. 673–682. Disponible sur : <https://doi.org/10.1017/S0266467407004555>.

Rothman, J.M. *et al.* (2008) ‘Nutritional quality of gorilla diets: consequences of age, sex, and season’, *Oecologia*, 155(1), pp. 111–122. Disponible sur : <https://doi.org/10.1007/s00442-007-0901-1>.

- Ruempler, U. (1992) 'The Cologne Zoo diet for Lowland gorillas *Gorilla gorilla gorilla* to eliminate regurgitation and reingestion', *International Zoo Yearbook*, 31(1), pp. 225–229. Disponible sur : <https://doi.org/10.1111/j.1748-1090.1991.tb02389.x>.
- Sabater Pí, J. (1977) 'Contribution to the study of alimentation of lowland gorillas in the natural state, in Río Muni, republic of equatorial guinea (West Africa)', *Primates*, 18(1), pp. 183–204. Disponible sur : <https://doi.org/10.1007/BF02382958>.
- Scally, A. *et al.* (2012) 'Insights into hominid evolution from the gorilla genome sequence', *Nature*, 483(7388), pp. 169–175. Disponible sur : <https://doi.org/10.1038/nature10842>.
- Scheels, J.L. (2023) 'A Retrospective Review of Dental Care and Related Husbandry of Captive Great Apes Over 37 Years (1982-2019) at Milwaukee County Zoo', *Journal of Veterinary Dentistry*, 40(3), pp. 243–249. Disponible sur : <https://doi.org/10.1177/08987564231151843>.
- Schmidt, D.A. *et al.* (2006) 'Cholesterol values in free-ranging gorillas (*Gorilla gorilla gorilla* and *Gorilla beringei*) and bornean orangutans (*Pongo pygmaeus*)', *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 37(3), pp. 292–300. Disponible sur : <https://doi.org/10.1638/05-040.1>.
- Schulman, F.Y. *et al.* (1995) 'Fibrosing Cardiomyopathy in Captive Western Lowland Gorillas (*Gorilla gorilla gorilla*) in the United States: A Retrospective Study', *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 26(1.), pp. 43–51.
- Schwitzer, C. et Kaumanns, W. (2003) 'Foraging patterns of free-ranging and captive primates-implications for captive feeding regimes', *Zoo Animal Nutrition Vol. II. (Fidgett, A., Clauss, M., Ganslober, U., Hatt, J-M & Nijboer, J. eds.)*.
- 'Site Internet Lab Diet' (2024). Disponible sur : <https://www.labdiet.com> (Consulté le : 23 octobre 2024).
- 'Site Internet Mazuri' (2024). Disponible sur : <https://mazuri.com> (Consulté le : 23 octobre 2024).
- Smith, B.K., Remis, M.J. et Dierenfeld, E.S. (2014) 'Nutrition of the captive western lowland gorilla (*Gorilla gorilla gorilla*): A dietary survey: Captive Gorilla Diet Survey', *Zoo Biology*, p. n/a-n/a. Disponible sur : <https://doi.org/10.1002/zoo.21158>.
- Smith, B.K., Remis, M.J. et Dierenfeld, E.S. (2020) 'Impacts of dietary modifications on the behaviour of captive western lowland gorillas (*Gorilla gorilla gorilla*)'.
- Sop, T. *et al.* (2015) 'Abundance annex: ape population abundance estimates (2015 version)'.
- Stanford, C.B. et Nkurunungi, J.B. (2003) 'Behavioral Ecology of Sympatric Chimpanzees and Gorillas in Bwindi Impenetrable National Park, Uganda: Diet', *International Journal of Primatology*, 24(4), pp. 901–918. Disponible sur : <https://doi.org/10.1023/A:1024689008159>.
- Strindberg, S. *et al.* (2018) 'Guns, germs, and trees determine density and distribution of gorillas and chimpanzees in Western Equatorial Africa', *Science Advances*, 4(4), p. eaar2964. Disponible sur : <https://doi.org/10.1126/sciadv.aar2964>.
- Strong, V. *et al.* (2017) 'A retrospective review of western lowland gorilla (*gorilla gorilla gorilla*) mortality in european zoologic collections between 2004 and 2014', *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 48(2), pp. 277–286. Disponible sur : <https://doi.org/10.1638/2016-0132R.1>.
- Tennant, K.S. *et al.* (2022) 'Prevalence of regurgitation and reingestion and occurrence of coprophagy in the North American AZA Gorilla (*Gorilla gorilla gorilla*) population', *Zoo Biology*, 41(2), pp. 176–180. Disponible sur : <https://doi.org/10.1002/zoo.21659>.

Tutin, C.E.G. (1996) 'Ranging and social structure of lowland gorillas in the Lopé Reserve, Gabon', in Goodall, J. et Itani, J., *Great Ape Societies*. 1st edn. Edited by W. C. McGrew, L. F. Marchant, et T. Nishida. Cambridge University Press, pp. 58–70. Disponible sur : <https://doi.org/10.1017/CBO9780511752414.007>.

Van Der Hoek, Y. *et al.* (2021) 'Diet of Grauer's Gorillas (*Gorilla beringei graueri*) in a Low-Elevation Forest', *Folia Primatologica*, 92(2), pp. 126–138. Disponible sur : <https://doi.org/10.1159/000515377>.

Watts, D.P. (1984) 'Composition and variability of mountain gorilla diets in the Central Virungas', *American Journal of Primatology*, 7(4), pp. 323–356. Disponible sur : <https://doi.org/10.1002/ajp.1350070403>.

Watts, D.P. (1988) 'Environmental influences on mountain gorilla time budgets', *American Journal of Primatology*, 15(3), pp. 195–211. Disponible sur : <https://doi.org/10.1002/ajp.1350150303>.

Watts, D.P. (1998) 'Seasonality in the Ecology and Life Histories of Mountain Gorillas (*Gorilla gorilla beringei*)'.

AZA Gorilla SSP (2017) 'Western lowland gorilla (*Gorilla gorilla gorilla*) care manual'. Association of Zoos and Aquariums. Disponible sur : https://assets.speakcdn.com/assets/2332/gorilla_care_manual_2018.pdf (Consulté le : 19 septembre 2023).

Williamson, L. et Butynski, T. (2013) 'Gorilla beringei Eastern Gorilla', in, pp. 45–53.

Yamagiwa, J. *et al.* (2005) 'Diet of Grauer's Gorillas in the Montane Forest of Kahuzi, Democratic Republic of Congo', *International Journal of Primatology*, 26(6), pp. 1345–1373. Disponible sur : <https://doi.org/10.1007/s10764-005-8856-8>.

Zihlman, A.L. et McFarland, R.K. (2000) 'Body mass in lowland gorillas: A quantitative analysis', *American Journal of Physical Anthropology*, 113(1), pp. 61–78. Disponible sur : [https://doi.org/10.1002/1096-8644\(200009\)113:1<61::AID-AJPA6>3.0.CO;2-H](https://doi.org/10.1002/1096-8644(200009)113:1<61::AID-AJPA6>3.0.CO;2-H).

ANNEXES

Annexe 1 : Extrait du feuillet « Etudes » de la base de données

	A	B	C	D	E	F	G
	ID Etude	Nom		Espèce	Lieu d'observation	Type d'observation	Notes
1							
2	E-0001	Composition and Variability of Mountain Gorilla Diets in the Central Virungas	Watts, 1984	Gorilla beringei beringei	Par National des Volcans, Rwanda	Nature	
3	E-0002	Diet and habitat use of two mountain gorilla groups in contrasting habitats in the Virungas pp. 265-292	McNeillage, 2001	Gorilla beringei beringei	Virunga, Congo	Nature	
4	E-0003	Nutritional composition of the diet of the gorilla (Gorilla beringei) : a comparison between two montane habitats	Flothman et al., 2007	Gorilla beringei beringei	Bwindi Impenetrable National Park, Uganda	Nature	Comparaison avec Watts, 1984
5	E-0004	Diet of Grauer's Gorillas (Gorilla beringei graueri) in a Low-Elevation Forest	Van der Hoek et al., 2021	Gorilla beringei graueri	Nkuba Conservation Area, Congo	Nature	
6	E-0005	Dietary variability of western gorillas (Gorilla gorilla gorilla)	Robbins et al., 2022	Gorilla gorilla gorilla	Loango National Park, Gabon	Nature	Trois autres études incluses dans tableaux (Masi 2015, Cipoletta 2007, Lodwick 2020)
7	E-0006	Digesta Passage, Digestibility and Behavior in Captive Gorillas Under Two Dietary Regimens	Remis et Dierenfeld, 2004	Gorilla gorilla gorilla	San Francisco Zoo, USA	Zoo	Comparaison de deux rations zoo
8	E-0007	EAZA BEST PRACTICE GUIDELINES Great Ape Taxon Advisory Group GORILLA (Gorilla gorilla gorilla) 2017 (2nd Edition)	Abelló et al., 2024	Gorilla gorilla gorilla	NA	Zoo	Recommandations EAZA
9	E-0008	Effects of the dry season on gorilla diet in Gabon	Rogers et al., 1988	Gorilla gorilla gorilla	Gabon	Nature	Juste analyse aliments
10	E-0009	Erhebungen zur Ernährung ausgewählter Primatenspezies in menschlicher Obhut.	Hampe, 1999	Gorilla gorilla gorilla	6 zoos	Zoo	A study by Hampe (1999) examines six different diets fed in European zoos with reference to the proportions of fruits and vegetables. -> j'ai juste la moyenne
11	E-0010	Food selection by western gorillas (G.g. gorilla) in relation to food chemistry	Calvert, 1985	Gorilla gorilla gorilla	Campo, Cameroon	Nature	Juste analyse aliments, diète décrite dans "Calvert J (1984) Gorilla food selection in relation to habitat disturbance [in prep.]", introuvable nulle part
12	E-0011	Contribution to the Study of Alimentation of Lowland Gorillas in the Natural State, in Rio Muni, Republic of Equatorial Guinea (West Africa)	Sabater P J., 1977	Gorilla gorilla gorilla	Río Muni, Republic of Equatorial Guinea	Nature	

Annexe 2 : Liste des études incluses dans la base de données

Composition and Variability of Mountain Gorilla Diets in the Central Virungas	Watts, 1984
Diet and habitat use of two mountain gorilla groups in contrasting habitats in the Virungas	McNeilage, 2001
Nutritional composition of the diet of the gorilla (<i>Gorilla beringei</i>): a comparison between two montane habitats	Rothman et al., 2007
Diet of Grauer's Gorillas (<i>Gorilla beringei graueri</i>) in a Low-Elevation Forest	Van der Hoek et al., 2021
Dietary variability of western gorillas (<i>Gorilla gorilla gorilla</i>)	Robbins et al., 2022
Digesta Passage, Digestibility and Behavior in Captive Gorillas Under Two Dietary Regimens	Remis et Dierenfeld, 2004
EAZA BEST PRACTICE GUIDELINES Great Ape Taxon Advisory Group GORILLA (<i>Gorilla gorilla gorilla</i>) 2017 (2nd Edition)	Abelló et al., 2024
Effects of the dry season on gorilla diet in Gabon	Rogers et al., 1988
Erhebungen zur Ernährung ausgewählter Primatenspezies in menschlicher Obhut.	Hampe, 1999
Food selection by western gorillas (<i>G.g. gorilla</i>) in relation to food chemistry	Calvert, 1985
Contribution to the Study of Alimentation of Lowland Gorillas in the Natural State, in Rio Muni, Republic of Equatorial Guinea (West Africa)	Sabater Pí J., 1977
Gorilla Nutrition. In: Management of Gorillas in Captivity: Husbandry Manual, Gorilla Species Survival Plan	Popovich and Dierenfeld, 1997
Implementing a Low-Starch Biscuit-Free Diet in Zoo Gorillas: The Impact on Behavior	Less and al., 2014
Impacts of dietary modifications on the behaviour of captive western lowland gorillas (<i>Gorilla gorilla gorilla</i>)	Smith and al., 2019
Male and Female Western Gorilla Diet: Preferred Foods, Use of Fallback Resources, and Implications for Ape Versus Old World Monkey Foraging Strategies	Doran-Sheehy and al., 2009
Mountain gorillas in the virunga volcanoes: ecology and carrying capacity	McNeilage, 1995
Nutrition of The Captive Western Lowland Gorilla (<i>Gorilla gorilla gorilla</i>): A Dietary Survey	Smith and al., 2019
Nutritional composition of the diet of the western gorilla (<i>Gorilla gorilla</i>): Interspecific variation in diet quality	Lodwick, 2019
Nutritional quality of gorilla diets: consequences of age, sex, and season	Rothman et al., 2007
Removing Milk from Captive Gorilla Diets: The Impact on Regurgitation and Reingestion (R/R) and Other Behaviors	Lukas and al., 1999
The Influence of Seasonal Frugivory on Nutrient and Energy Intake in Wild Western Gorillas	Masi and al., 2015
Western lowland gorilla (<i>Gorilla gorilla gorilla</i>) care manual, AZA	AZA Gorilla SSP, 2017
Western lowland gorilla (<i>Gorilla gorilla gorilla</i>) diet and activity budgets: effects of group size, age class and food availability in the Dzanga-Ndoki National Park, Central African Republic	Fuh, 2013
Western Lowland Gorillas (<i>Gorilla gorilla gorilla</i>) as Seasonal Frugivores: Use of Variable Resources	Remis, 1997

Annexe 3 : Extrait du code R ayant permis l'analyse de la base de données

```

1 ----
2 title: "Analyzer"
3 author: "S LESEVRE"
4 date: "r Sys.Date()"
5 output: html_document
6 ----
7 construction des données
8
9 ""r setup, include=FALSE
10 knitr::opts_chunkset(cho = TRUE)
11 library(readxl)
12 library(egglog2)
13 etudes <- read_excel("Gorilla.xlsx", sheet = "Etude")
14 colnames(etudes) <- c("IDE", "Name", "Ref", "Species", "Location", "Type", "Comment")
15 etudes$type <- as.factor(etudes$type)
16 etudes$species <- as.factor(etudes$species)
17 summary(etudes)
18 rations <- read_excel("Gorilla.xlsx", sheet = "Ration")
19 colnames(rations) <- c("IDR", "IDE", "Name", "Method", "Desc_regur", "Desc_feed", "Desc_copro", "Desc_global", "Desc_comment", "Number", "Number_exact", "Weight", "Weight_exact", "Quantity_exact", "Quantity", "Comment")
20 summary(rations)
21 ingredients <- read_excel("Gorilla.xlsx", sheet = "Ingredients")
22 colnames(ingredients) <- c("IDA", "Name", "Description", "Remarque", "Method", "PROT", "LIP", "ASH", "AMID", "SACC", "NDF", "ADF", "CELLULOSE", "FRUCT")
23 summary(ingredients)
24 Q.ingredients <- read_excel("Gorilla.xlsx", sheet = "Quantité Ingrédients")
25 colnames(Q.ingredients) <- c("IDQ", "IDR", "IDA", "Percent", "Quantity")
26 summary(Q.ingredients)
27 Anal.Ration <- read_excel("Gorilla.xlsx", sheet = "Analyse Ration")
28 colnames(Anal.Ration) <- c("IDR", "Date", "Quant", "ENER", "PROT", "LIP", "NDF", "ADF", "CALCIUM", "PHOSPHORUS", "MG", "K", "SODIUM", "CL", "FE", "CU", "MN", "ZN", "I", "SE", "VITA", "VITD", "VITE", "VITK",
"VITB1", "VITB2", "VITB3", "VITB4", "VITB5", "VITB6", "BIOTIN", "VITB9", "VITC", "CHOLIN", "MOLYBD", "TANIN", "AMID", "SUGAR", "HEMICELL", "CELLULOSE", "ENA", "SOLCARB", "HUM", "LIGNIN", "TANIN", "CFIBER", "MENER",
"GENER", "ASH", "Time_Feeding")
29 summary(Anal.Ration)
30 ing_anal <- ingredients$IDA[which(!is.na(ingredients$Method))]
31
32
33 #fonction de ration
34
35 calculate_ration <- function(nomRat, ingredients, Q.ingredients){
36   q <- Q.ingredients[which(Q.ingredients$IDR == nomRat),]
37   totquant <- 0
38   if (sum(q$Quantity, na.rm = TRUE) > 0){
39     totquant <- sum(q$Quantity, na.rm = TRUE)
40     q$Percent <- q$Quantity/100/totquant
41   }
42   f <- ingredients[which(ingredients$IDA %in% q$IDA),]
43   a <- merge(q, f, by = "IDA")
44   a[is.na(a)] <- 0
45   df <- data.frame(
46     IDR = nomRat,
47     Method = "Calculus",
48     Date = 0,
49     Quant = totquant,
50     ENER = 0,
51     PROT = sum(a$PROT*a$Percent/100, na.rm = TRUE),
52     LIP = sum(a$LIP*a$Percent/100, na.rm = TRUE),
53     NDF = sum(a$NDF*a$Percent/100, na.rm = TRUE),
54     ADF = sum(a$ADF*a$Percent/100, na.rm = TRUE),
55     CALCIUM = sum(a$CALCIUM*a$Percent/100, na.rm = TRUE),
56     PHOSPHORUS = sum(a$PHOSPHORUS*a$Percent/100, na.rm = TRUE),
57     MG = 0,
58     K = 0,
59     SODIUM = 0,
60     CL = 0,
61     FE = 0,
62     CU = 0,
63     MN = 0,
64     ZN = 0,
65     I = 0,
66     SE = 0,
67     VITA = 0,
68     VITD = 0,
69     VITE = 0,
70     VITK = 0,
71     VITB1 = 0,
72     VITB2 = 0,
73     VITB3 = 0,
74     VITB4 = 0,
75     VITB5 = 0,
76     VITB6 = 0,
77     BIOTIN = 0,
78     VITB9 = 0,
79     VITC = 0,
80     CHOLIN = 0,
81     MOLYBD = 0,
82     TANIN = 0,
83     AMID = sum(a$AMID*a$Percent/100, na.rm = TRUE),
84     SUGAR = 0,
85     HEMICELL = 0,
86     CELLULOSE = sum(a$CELLULOSE*a$Percent/100, na.rm = TRUE),
87     ENA = sum(a$ENA*a$Percent/100, na.rm = TRUE),
88     SOLCARB = 0,
89     HUM = sum(a$HUM*a$Percent/100, na.rm = TRUE),
90     LIGNIN = 0,
91     TANIN = 0,
92     CFIBER = 0,
93     MENER = 0,
94     GENER = 0,
95     ASH = sum(a$ASH*a$Percent/100, na.rm = TRUE),
96     Time_Feeding = 0
97   )
98
99   df[df == 0] <- NA
100
101 }
102
103 calculate_ration_bis <- function(nomRat, ingredients, Q.ingredients){
104   q <- Q.ingredients[which(Q.ingredients$IDR == nomRat & Q.ingredients$IDA %in% ing_anal),]
105   totquant <- 0
106   if (sum(q$Quantity, na.rm = TRUE) > 0){
107     totquant <- sum(q$Quantity, na.rm = TRUE)
108     q$Percent <- q$Quantity/100/totquant
109   }
110
111   totperc <- sum(q$Percent)
112   f <- ingredients[which(ingredients$IDA %in% q$IDA),]
113   a <- merge(q, f, by = "IDA")
114   a[is.na(a)] <- 0
115   df <- data.frame(
116     IDR = nomRat,
117     Method = "Calculus_bis",
118     Date = 0,
119     Quant = totquant,
120     ENER = 0,
121     PROT = sum(a$PROT*a$Percent/totperc, na.rm = TRUE),
122     LIP = sum(a$LIP*a$Percent/totperc, na.rm = TRUE),
123     NDF = sum(a$NDF*a$Percent/totperc, na.rm = TRUE),
124     ADF = sum(a$ADF*a$Percent/totperc, na.rm = TRUE),
125     CALCIUM = sum(a$CALCIUM*a$Percent/totperc, na.rm = TRUE),
126     PHOSPHORUS = sum(a$PHOSPHORUS*a$Percent/totperc, na.rm = TRUE),

```


TITRE

Analyse systématique des rations décrites chez les espèces du genre *Gorilla*

Auteur

FERNANDEZ ANSSOUX Thomas

Résumé

Le gorille est un animal menacé, emblématique de la conservation et fortement représenté en parc zoologique. Son alimentation, et les conséquences éventuelles sur sa santé, sont donc des points-clés de son maintien en captivité dans de bonnes conditions. De nombreuses études se sont intéressées au régime alimentaire des gorilles, aussi bien en milieu naturel qu'en captivité. Ce travail reprend de manière systématique l'ensemble des rations décrites dans la littérature pour toutes les espèces du genre *Gorilla*. Les résultats sont ensuite comparés, pour plusieurs macronutriments, en fonction du milieu de vie de l'animal, de sa sous-espèce et de l'effet sur certains critères de santé.

Les résultats mettent en évidence des différences marquées entre les milieux de vie, avec un niveau de fibres plus faible et des niveaux de protéines et de lipides plus élevés en captivité. Des différences du niveau de protéines entre les sous-espèces sont également mises en évidence. Enfin, un fort pourcentage d'ADF, et une humidité de la ration plus élevée, sont associés à un effet sur la santé positif. Certains points de l'alimentation des gorilles en captivité restent donc à améliorer.

Mots-clés

Gorille, Nutrition, Rations

Jury

Président du jury : Pr **BENOIT Etienne**

Directeur de thèse : Dr **LEFEBVRE Sébastien**

2ème assesseur : Dr **RACHED Antoine**