



natura maxima

ÉQUATEUR, TERRE DE BIODIVERSITÉ

Olivier Dangles . François Nowicki . Graphisme : Belén Mena

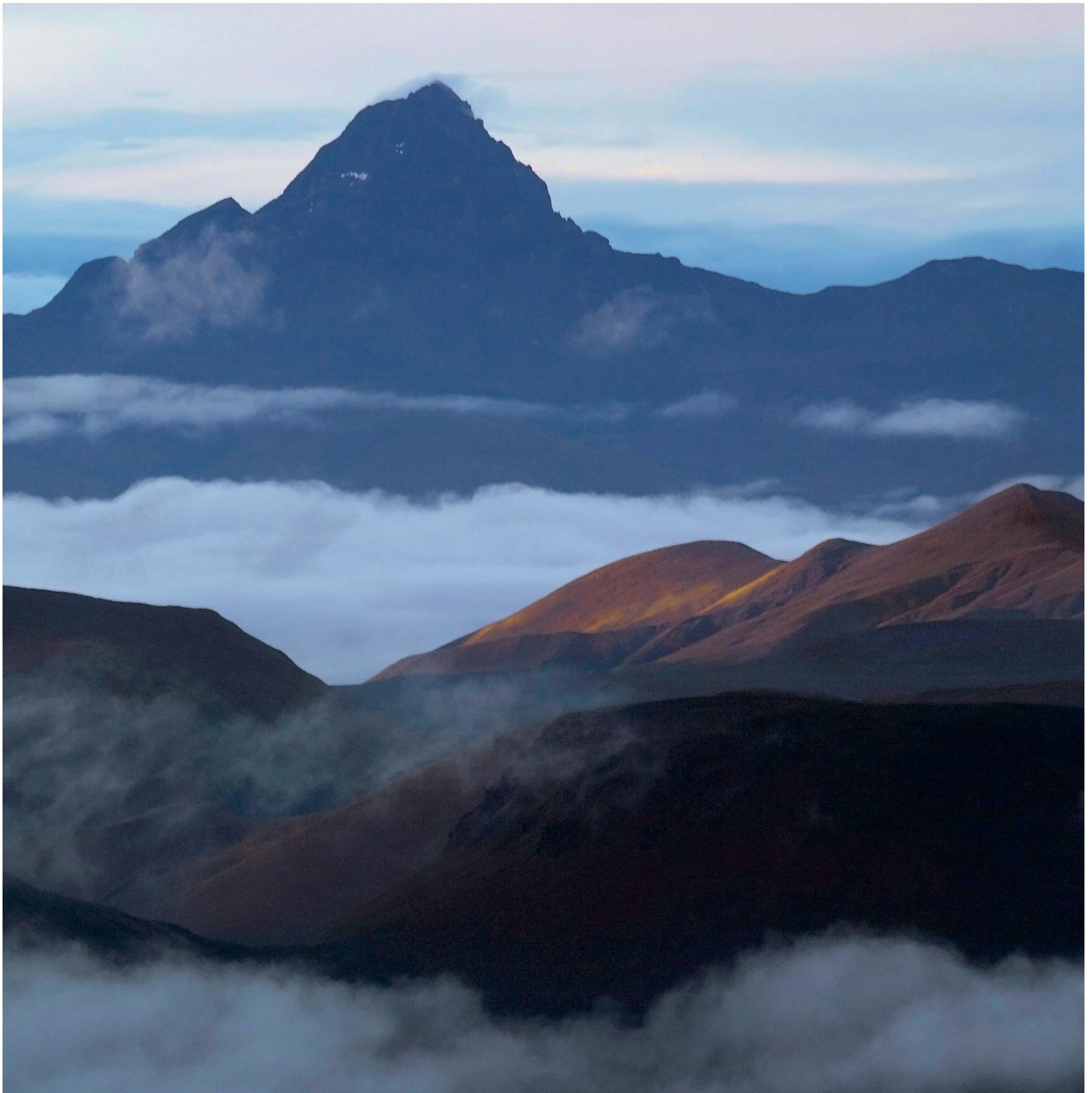

Éditions

**natura
maxima**
ÉQUATEUR, TERRE DE BIODIVERSITÉ









Ouvrage initialement publié en espagnol sous le titre :

Biota Maxima
Ecuador biodiverso
© PUCE/IRD

© IRD - Institut de recherche pour le développement, Marseille, 2021

2^e édition revue
ISBN papier : 978-2-7099-2929-5
ISBN PDF : 978-2-7099-2930-1

Graphisme :
Belén Mena
www.belenmena.com

Photographies :
Olivier Dangles
François Nowicki
www.naturexpose.com

Directeur éditorial :
Matías Cortese

Texte original en anglais :
Olivier Dangles

Traduction :
Yolande Cavallazzi

Coordination-fabrication :
Corinne Lavagne, Catherine Plasse

Mise en page :
Bill Production

Photo de couverture :
Lézard (*Anolis gemmosus*) - Mindo
Photos des premières pages :
2-3 : Scarabée hercule (*Dynastes lichi*) - Forêt du Chocó
4-5 : Cordillère andine occidentale vue de la réserve écologique de l'Antisana
6-7 : Loutre géante (*Pteronura brasiliensis*) - Parc national Yasuní
8-9 : Mouette à queue fourchue (*Creagrus furcatus*) - Parc national des Galápagos

natura maxima

ÉQUATEUR, TERRE DE BIODIVERSITÉ

Ouvrage publié avec le soutien de
la Fondation pour la recherche sur la biodiversité

OLIVIER DANGLES . FRANÇOIS NOWICKI . GRAPHISME : BELÉN MENA

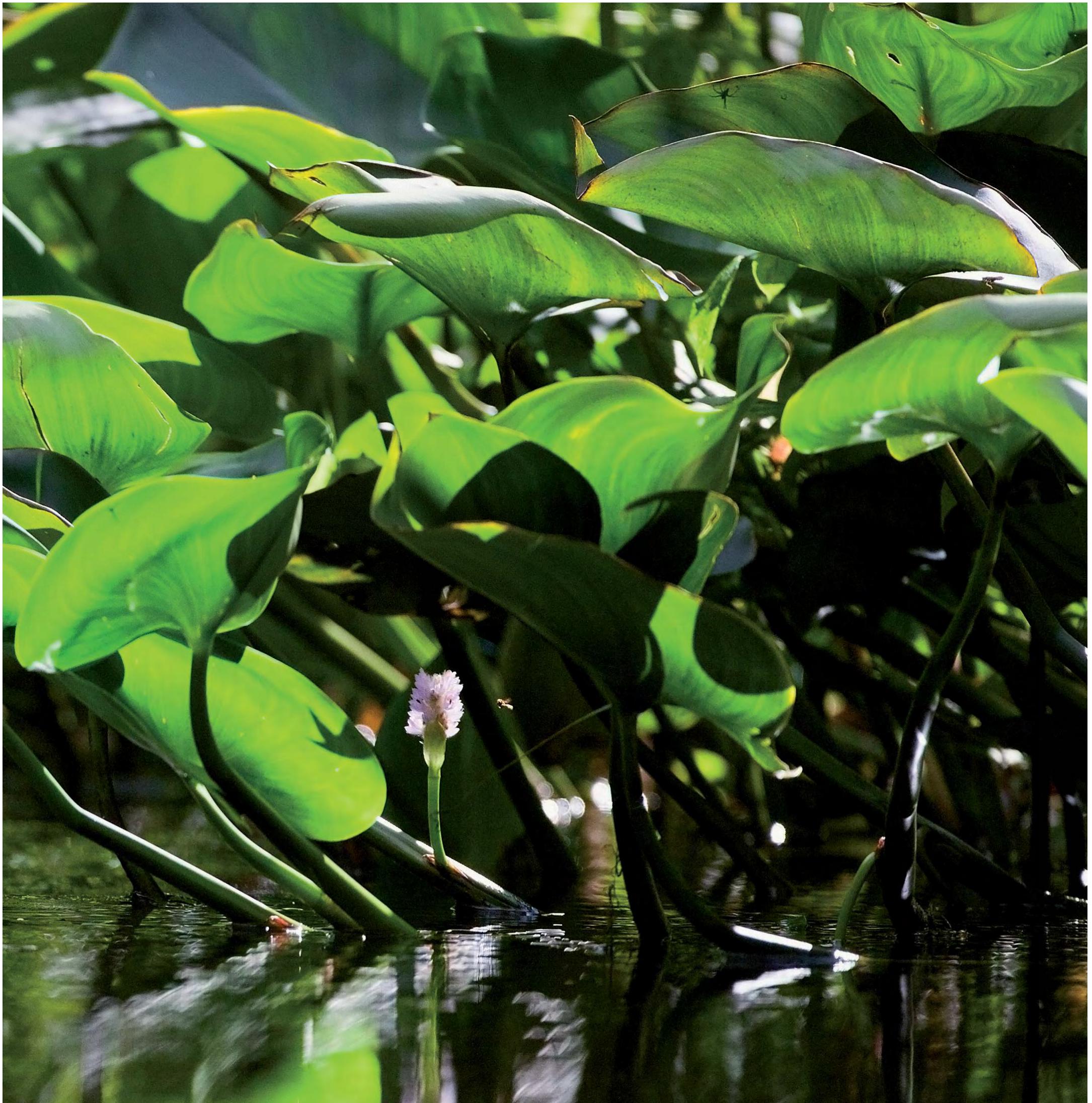
« En très peu de temps je me suis rendu compte qu'en Équateur, il y avait autant de choses à *désapprendre* qu'à découvrir. »

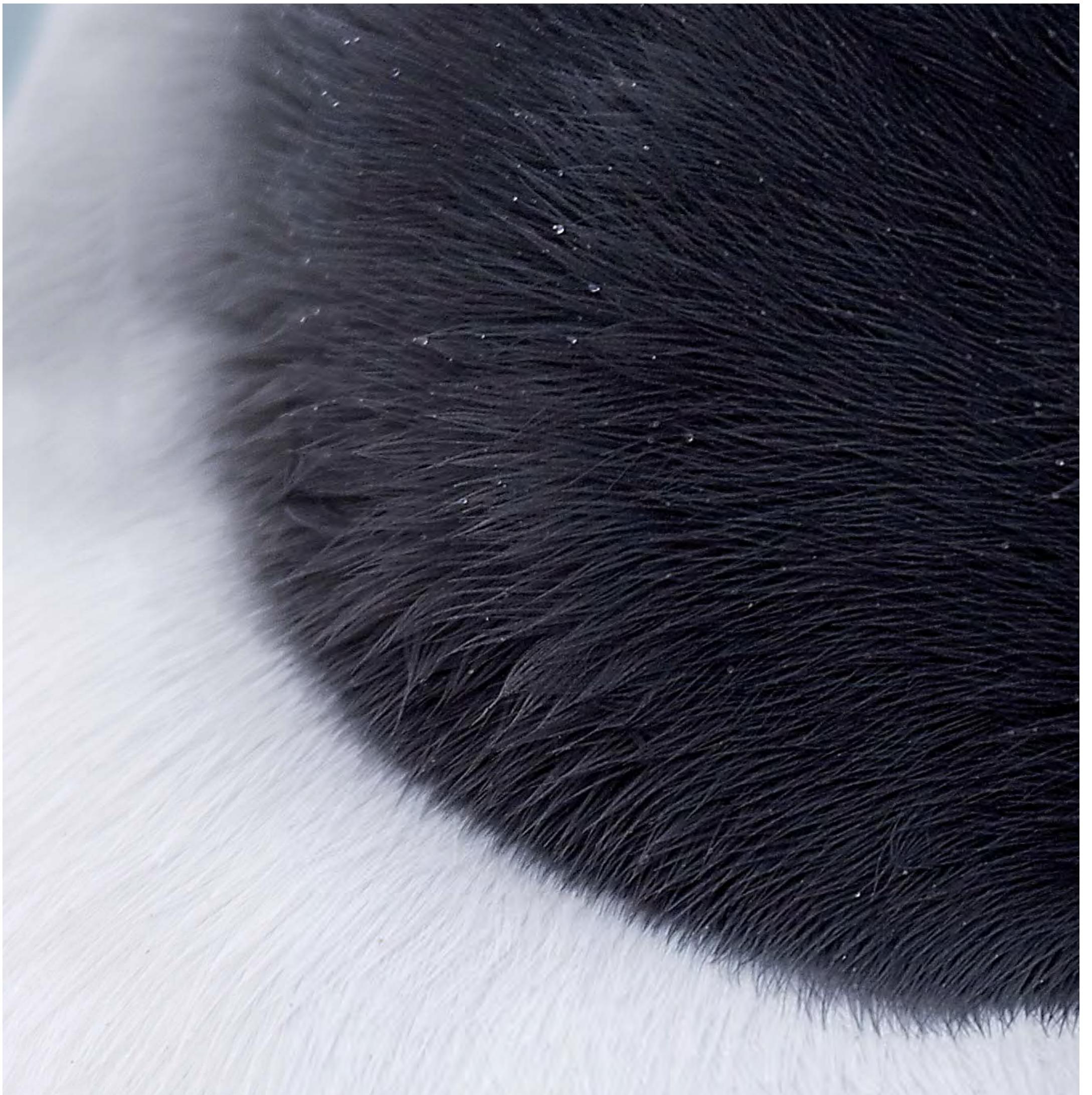
Eduardo Whymper,
Voyages à travers les grandes Andes de l'Équateur, 1892.

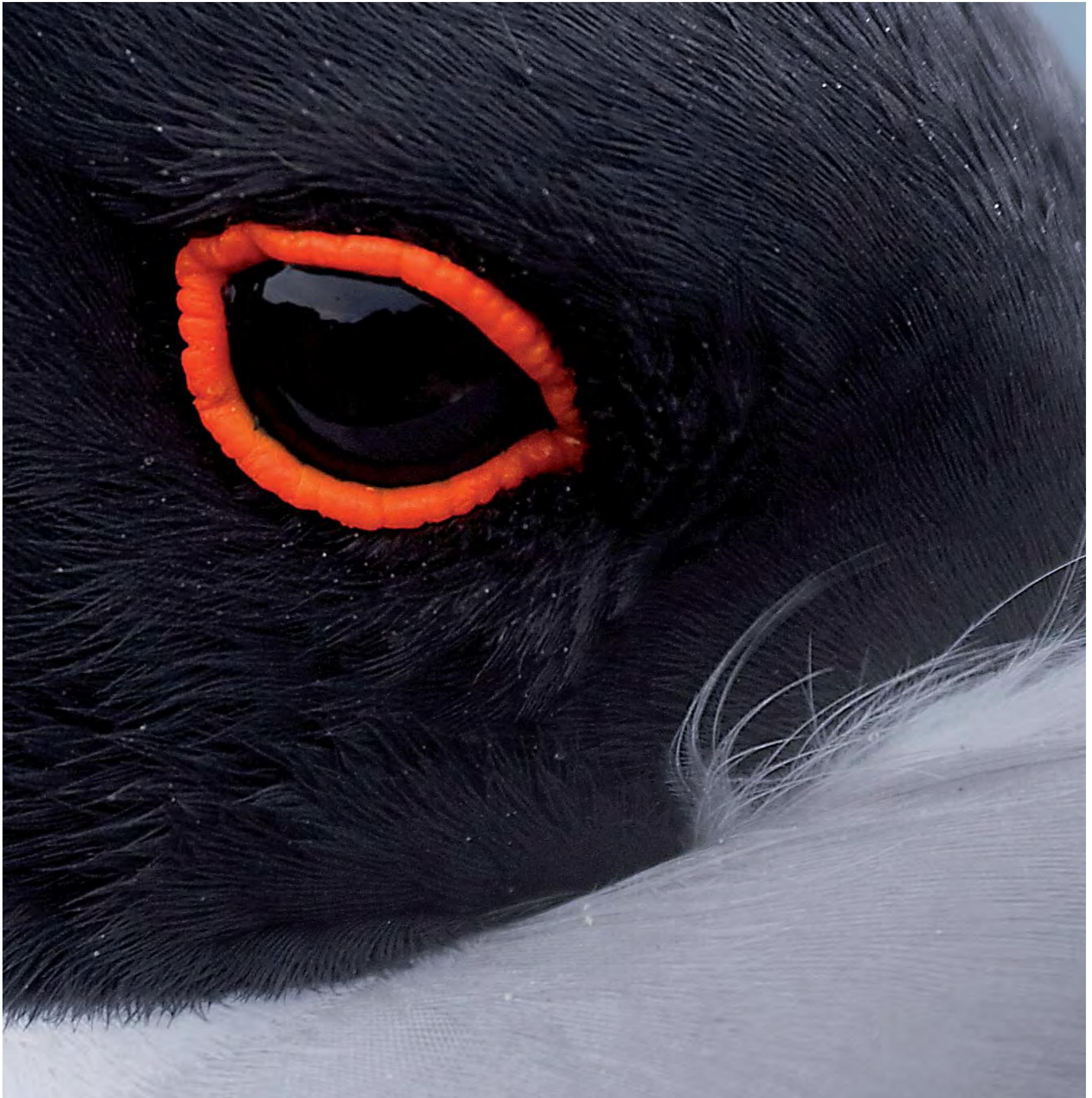
À Matías, Nicolás et Paola

À Karine et Maëlle









| | |
|---|------------|
| Préface de Jean-François Silvain | 17 |
| Préface de Rommel Montufar | 19 |
| Avant-propos : sur les traces de Humboldt | 21 |
| Partie I : Les Andes : source de biodiversité | 23 |
| • Les bandes altitudinales de Humboldt | 25 |
| • Les Andes : un laboratoire de l'évolution des espèces | 26 |
| La roche et les glaciers | 30 |
| Les <i>páramos</i> | 36 |
| Les forêts de montagne et de nuages | 48 |
| Les plaines | 60 |
| Partie II : L'Équateur : terre de mégadiversité | 75 |
| • La forêt tropicale amazonienne : l'épicentre mondial de la biodiversité | 77 |
| • L'Équateur, un des 12 pays de mégadiversité dans le monde | 80 |
| • Combien y a-t-il d'espèces en Équateur ? | 80 |
| • Des outils moléculaires pour évaluer la biodiversité | 81 |
| Les plantes | 82 |
| Les invertébrés | 90 |
| Les amphibiens | 102 |
| Les reptiles | 110 |
| Les oiseaux | 112 |
| Les mammifères | 132 |
| Partie III : La lutte pour la vie | 145 |
| • Comment tant d'espèces d'arbres peuvent-elles coexister à Yasuní ? | 147 |
| • Pourquoi les oiseaux ont-ils des becs si étonnants ? | |
| Un exemple : l'énigmatique toucan | 148 |
| Interactions entre espèces | 151 |
| Stratégies d'adaptation | 165 |
| Apparence | 181 |
| Partie IV : Pourquoi conserver la biodiversité ? | 193 |
| • Jusqu'à quel point l'extinction des espèces nous touche-t-elle ? | 195 |
| • Valeur économique de la biodiversité | 196 |
| • Valeur spirituelle de la biodiversité | 197 |
| Biens et services de l'écosystème | 199 |
| Inspiration et symboles culturels | 214 |
| Partie V : Engagements | 231 |
| • Conservation | 232 |
| • Recherche | 235 |
| • Éducation | 236 |
| • L'amour de la nature | 239 |
| Bibliographie | 241 |
| Glossaire | 247 |
| Index | 249 |
| Présentation des auteurs | 250 |
| Remerciements | 251 |
| Épilogue par Matías Cortese | 253 |

PRÉFACE

En 2010 était publiée la première édition de *Natura Maxima. Équateur, terre de biodiversité*. À de superbes photographies, fruits de longues heures de marche et d'attente, étaient associées des légendes, des textes et des schémas didactiques destinés à expliciter et à faire comprendre l'originalité de la diversité biologique des Andes et de l'Amazonie équatoriennes. Cette diversité des espèces et la multiplicité des formes qu'elles revêtent étaient présentées et expliquées avec tout l'appui de la connaissance scientifique, mais aussi le souci de faire comprendre aussi simplement que possible les phénomènes éminemment complexes qui sont à l'origine de la biodiversité. Il était question aussi d'extinction des espèces et des raisons qui doivent pousser les humains à conserver la biodiversité, en s'engageant de différentes manières pour cette cause essentielle.

L'association d'images remarquables, sources d'émerveillement, et de textes rigoureux permettant de dépasser le simple plaisir esthétique était une originalité qui a permis à cet ouvrage d'intéresser bien au-delà de celles et ceux déjà sensibilisés par l'extraordinaire diversité biologique de l'Équateur, pays mégadivers à la géographie remarquable.

Cette originalité dans la conception et la présentation de *Natura Maxima* permet à cet ouvrage de traverser le temps et d'être aujourd'hui toujours d'actualité et, plus encore, toujours aussi utile pour porter le message que tant d'humains devraient partager de l'ouest à l'est et du nord au sud de la planète : il faut sauvegarder ce qui reste de la biodiversité.

Depuis 2010, les connaissances scientifiques ont fortement progressé et, malheureusement, le constat établi par les chercheurs à cette époque n'a fait que se renforcer. La biodiversité s'érode rapidement, en réponse à l'accroissement des pressions exercées par les activités humaines, le changement d'usage des terres – c'est-à-dire la transformation profonde de surfaces, jusque-là peu modifiées, en terres agricoles ou en zones urbaines ou industrielles – la surexploitation des ressources terrestres ou marines, la multiplication des pollutions chimiques ou physiques ; tout cela dans un contexte de changement climatique dont les effets viennent souvent s'ajouter négativement à ceux exercés directement par les activités humaines. De par le monde, des populations d'oiseaux, de mammifères s'effondrent, et même les insectes, à la foisonnante diversité spécifique, subissent dans de nombreux pays le même sort. Les forêts tropicales et les zones de savanes payent un lourd tribut au développement économique et à l'accroissement démographique. Les humains et les animaux d'élevage sont devenus en termes de biomasse les principaux occupants de la planète, et surtout les principaux consommateurs de ses ressources. La destruction des habitats naturels de beaucoup d'espèces facilite le rapprochement entre les animaux sauvages et l'Homme, source très probable de multiplication de zoonoses dangereuses pour l'Homme et les animaux domestiques et, inversement, les humains transmettent régulièrement des pathogènes aux animaux sauvages, mettant des groupes entiers en péril, comme les Amphibiens ou les chauves-souris. Au travers de ses rapports régionaux en 2018 et de son rapport mondial en 2019, l'IPBES, la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques, a tiré un signal d'alarme majeur en mettant en avant le risque de voir un million d'espèces disparaître dans les décennies à venir, alors que, parallèlement, il est

clairement apparu que, dix ans après leur adoption par la Convention sur la diversité biologique (CDB), les Objectifs d'Aichi, objectifs mondiaux de réduction des menaces et pressions sur la biodiversité, et de sauvegarde de celle-ci, n'étaient pas atteints, et ce très loin de là.

Il faut donc que les choses changent rapidement et que des décisions majeures soient prises en faveur de la biodiversité. C'est l'objectif des discussions internationales qui se tiennent sous l'égide de la CDB, qui proposera en 2022 une stratégie mondiale qui devrait inclure un accroissement significatif des aires protégées. Mais on ne doit pas tout attendre des gouvernements, et sauvegarder la biodiversité commence aussi par nous, les individus. Il faut que les humains, individus et communautés de toutes sortes, changent leur regard sur la biodiversité et puissent être convaincus qu'il faut laisser une place significative aux autres êtres vivants, les non-humains, animaux, végétaux, etc., une place qui permette à ces derniers de continuer à évoluer sur la planète. Qui dit place dit aussi ressources, ce qui signifie qu'il nous faut accepter de partager les ressources terrestres, entre nous, l'espèce humaine, et toutes les autres espèces.

C'est à ce niveau que le potentiel d'émerveillement de *Natura maxima*, mais aussi ce que l'ouvrage apporte en termes de compréhension de la diversité biologique et des raisons de la préserver, aujourd'hui comme hier, revêt toute son importance. L'Équateur est un pays exceptionnel du point de vue de la biodiversité et constitue donc un excellent sujet pour un tel ouvrage. Ce choix est d'autant plus pertinent que, par-delà cette richesse biologique, l'Équateur est aussi un pays qui subit les effets environnementaux d'une anthropisation rapide, marquée par d'importants défrichements, la montée en altitude des cultures et la forte tentation d'utiliser les ressources pétrolières pour son développement. C'est aussi un pays qui a proposé des initiatives originales, comme l'Initiative Yasuni-ITT, qui visait justement à ce que le non-développement d'une exploitation pétrolière dans une aire protégée en Amazonie soit compensé par une aide financière d'autres pays. Ce projet n'a pas abouti, cependant les leçons tirées de son échec peuvent aider à imaginer comment l'ensemble des pays de la planète pourraient à l'avenir se mobiliser pour stopper la destruction des écosystèmes les plus riches en espèces de notre Terre.

Il reste donc à s'asseoir, à poser sur ses genoux *Natura maxima* et à commencer à voyager dans les paysages équatoriens pour découvrir au fil des pages une biodiversité originale, aux couleurs souvent étonnantes, et des écosystèmes qui ne le sont pas moins, comme les forêts de nuages ou les *páramos*. Les images d'Olivier Dangles et François Nowicki ne sont pas seulement belles, elles sont, dans le meilleur sens du terme, réalistes, c'est-à-dire qu'elles donnent à voir, sans filtre, la réalité des écosystèmes et des espèces, à l'exemple des portraits saisissants de grenouilles cornues, du crabe rouge ou de la chouette des terriers. Ce sont des images, mais le lien entre l'Homme et l'animal se fait au travers des regards ; on ne peut que s'arrêter un instant et réfléchir à notre relation au monde vivant.

Il faut s'enthousiasmer pour la biodiversité, et, en la connaissant mieux, la protéger enfin, en Équateur et ailleurs. Merci à *Natura maxima* de nous aider à suivre ce chemin.

PRÉFACE

Natura maxima, c'est un livre aux photographies exceptionnelles, une référence scientifique qui donne à voir l'incroyable biodiversité de l'Équateur, un territoire relativement petit mais extrêmement hétérogène, situé dans le nord-ouest de l'Amérique du Sud. Mais ce n'est pas un simple livre. *Natura maxima* nous propose un voyage initiatique sur les traces de grands naturalistes comme Alexander von Humboldt et Charles Darwin, qui se sont émerveillés face à la richesse de la biodiversité de l'Équateur et des Galápagos. De la beauté du condor, en vol à plus de 4 800 m d'altitude, au-dessus de l'Antisana enneigé, à la diversité des orchidées et des broméliacées dans les forêts de nuages, en passant par les forêts tropicales, cet ouvrage est un véritable régal pour les yeux.

Cependant, en Équateur, comme dans la plupart des régions tropicales, la biodiversité est menacée. La superficie originelle des forêts tropicales côtières de l'Équateur a diminué de plus de 95 %. Alors que l'élevage de bétail et la frontière agricole menacent les forêts andines et les *páramos*, l'industrie extractive, minière et pétrolière, et les monocultures dégradent la forêt amazonienne, et le tourisme et les migrations exercent une pression sur la région insulaire et son modèle de développement durable. Face à l'érosion de la biodiversité, nous peinons à réagir efficacement et à conclure des accords défendant son importance et le bien commun. Et pourtant, l'Équateur est encore un pays mégadivers. Mais il est urgent de restaurer, de conserver et de gérer durablement ses ressources.

Natura maxima tire la sonnette d'alarme et nous appelle, nous citoyens, à prendre nos responsabilités pour protéger la biodiversité, et à réfléchir sérieusement au modèle de développement que nous souhaitons mettre en œuvre. Il appelle toutes les générations à agir en faveur du développement durable et à se mobiliser pour protéger la biodiversité de demain. L'Équateur ne peut plus se contenter de discours politiques et écologiques. Des mesures éclairées et urgentes, fondées sur la recherche scientifique, doivent être prises pour assurer le bien-être de l'humanité sans compromettre son avenir.

Natura maxima nous fait réfléchir au rôle de la recherche scientifique dans la conservation de la biodiversité. Mais de quel type de recherche avons-nous besoin pour assurer cela ? Il ne peut y avoir de conservation si nous ne tenons pas compte du rôle de l'Homme dans son environnement, c'est ce que nous avons compris au fil des décennies. Nous devons donc mettre en place une nouvelle façon de faire de la recherche : une recherche qui prenne en compte toute la complexité des interactions socio-écologiques liées à la protection de la nature, qui intègre des discours et approches multiples, qui s'exprime dans plusieurs langages, qui facilite la création d'espaces inter- et transdisciplinaires et qui soit à la fois plus humaine, participative et citoyenne. Et peut-être une science qui réfléchisse à la meilleure façon d'évaluer son impact sur la conservation de la biodiversité et sur la vie des populations locales.

La dernière partie de *Natura maxima* nous amène à réfléchir sur le rôle de l'éducation dans la valorisation de la biodiversité : comment rapprocher les citoyens équatoriens de cette biodiversité ? C'est à la fois un défi et un art. Nous devons être suffisamment créatifs pour élaborer des projets pédagogiques visant à faire prendre conscience de la valeur, et non du prix, de la biodiversité. Des projets qui permettent de nouer des liens émotionnels avec la nature, afin de retrouver cette biophilie latente chez les jeunes. Mais nous devons surtout générer une « conscience d'une origine commune, d'une appartenance mutuelle et d'un avenir partagé par tous », comme le mentionne l'encyclique *Laudato si'*. Éduquer à la conservation, c'est aussi éduquer à la beauté de la vie et de la science, et c'est en cela que *Natura maxima* est un outil précieux.

Rommel Montufar
Professeur à l'Université pontificale catholique de l'Équateur (PUCE)



Araçari à bec d'ivoire (*Pteroglossus azara*) - Parc National Yasuni

AVANT-PROPOS

Sur les traces de Humboldt

«[...] une certaine intégrité scientifique dans le traitement des faits
n'est pas du tout incompatible avec un style pittoresque. »

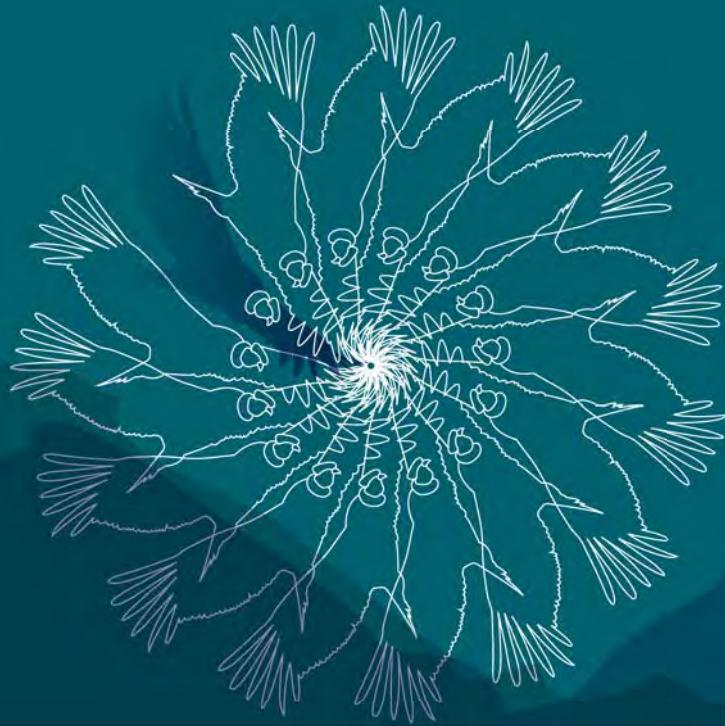
Alexander Von Humboldt, *Kosmos*, 1845.

Lorsque le naturaliste et explorateur allemand Alexander von Humboldt et son compagnon français Aimé Bonpland débarquèrent sur le continent sud-américain, le 16 juillet 1799, ils furent éblouis par l'incroyable richesse animale et végétale. Humboldt écrivit à son frère : « Nous sommes dans un pays divin... Quels arbres ! Et quelles couleurs chez les oiseaux, les poissons et même les langoustes... ! Nous courions partout comme des fous ; les trois premiers jours nous étions tout à fait incapables de classer quoi que ce soit ; nous ramassions un objet et le jetions pour en prendre un autre. Bonpland ne cessait de me dire qu'il allait devenir fou s'il continuait à découvrir autant de merveilles... »¹. De nos jours, ces sentiments continuent à animer les biologistes qui se rendent pour la première fois dans la zone tropicale de l'Amérique du Sud.

Humboldt pensait que les tropiques devaient être considérés comme un espace aussi bien esthétique que scientifique². L'esprit humain pouvait donner un sens – par le biais de la science – à l'apparente monotonie des forêts sombres à la végétation indifférenciée, à la lenteur des fleuves et à l'immuabilité des montagnes. Pour connaître vraiment la nature, il est nécessaire à la fois de ressentir un sentiment d'amour et d'extase, et de comprendre les lois mathématiques et physiques. À l'époque de Humboldt, la fusion entre l'étude empirique de la nature et les sentiments qu'elle suscite était la seule façon de compenser les épreuves endurées lors du voyage dans la nature tropicale.

Dans cet ouvrage, nous essayons de suivre modestement les traces de Humboldt... En combinant photographies prises sur le terrain et dessins avec des données scientifiques issues de revues internationales, cet ouvrage invite le lecteur à voyager à travers la biodiversité équatorienne, « la variété et la variabilité entre les organismes vivants et leur complexité écologique³ ». Il ne présente évidemment qu'une faible partie de l'exceptionnelle diversité du vivant observée en Équateur, qui pour de nombreux groupes taxonomiques n'a pas d'égal. Cette diversité englobe d'innombrables formes de vie, depuis l'univers des virus et des champignons jusqu'aux arbres gigantesques et aux vertébrés qui les peuplent, avec une large variété d'habitats, depuis la profondeur de l'océan jusqu'à la canopée et aux ruisseaux glaciaires. C'est pourquoi nous avons choisi ici de présenter cette biodiversité en privilégiant les espèces caractéristiques, charismatiques, colorées, venimeuses ou en danger d'extinction. Nous nous excusons par avance d'avoir laissé de côté des groupes entiers d'organismes et d'écosystèmes, par exemple les poissons et la faune invertébrée des côtes des Galápagos ou la flore très caractéristique des vallées andines sèches et des forêts côtières. Cette omission tient à l'absence d'opportunités (et aussi de capacité) de prendre des photos dans ces endroits et non à un manque d'intérêt. Nous espérons que les images présentées ici et les textes qui les accompagnent feront prendre conscience de l'extraordinaire diversité des écosystèmes et des espèces en Équateur, et de leurs relations étroites avec les êtres humains, de sorte que la conservation de la biodiversité dans ce pays ne soit pas envisagée seulement sur un plan matériel mais également sur un plan éthique et moral.





LES ANDES : source de biodiversité

« Dans plusieurs pays tropicaux, l'altitude élevée non seulement des montagnes mais également de vastes territoires permet aux habitants des régions chaudes – entourés de palmiers, de bananiers et autres magnifiques formes végétales caractéristiques de ces latitudes – d'observer également des formes végétales qui, nécessitant une température plus froide, sembleraient appartenir à d'autres régions [...]. **Ainsi, il est donné à l'homme habitant ces régions d'observer, sans devoir abandonner sa terre natale, toutes les formes de végétation éparpillées dans le monde,** et tous les mondes grandioses qui peuplent la voûte céleste d'un pôle à l'autre. »

(23)

Alexander von Humboldt, *Aspects de la nature*, 1849.

Les bandes altitudinales de Humboldt

Humboldt fut le premier scientifique à entreprendre une étude systématique et précise des effets de facteurs physiques comme l'altitude sur les plantes⁴. Tout comme la végétation change avec la latitude, Humboldt a démontré, à partir d'observations effectuées dans les Andes, que la répartition des plantes varie systématiquement avec l'altitude. Nous savons maintenant qu'une ascension verticale de 600 m correspond à peu près à une trajectoire de 1 000 km vers le nord, ce qui explique pourquoi la végétation alpine dans les zones tropicales est semblable à celle des latitudes septentrionales⁵. Humboldt a réalisé une synthèse graphique de ses résultats sous la forme du célèbre « tableau physique des régions équinoxiales » qui représente trois pics d'une chaîne de montagnes, l'un coloré par la végétation tandis que les deux autres sont couverts par les noms des plantes rencontrées à une altitude spécifique⁶. De chaque côté du tableau, une vingtaine de colonnes indiquent les changements d'altitude, de température, de composition de l'air, de forces gravitationnelles, de géologie, de type de faune, d'agriculture, etc. En plaçant sur cette illustration des isothermes (lignes qui relient les points ayant la même température moyenne), il présenta le monde tropical entouré par des bandes climatiques. Associées aux limites de distribution d'espèces végétales et animales, ces bandes ont alors représenté une avancée conceptuelle majeure dans la compréhension des facteurs régissant la répartition des espèces. Elles permirent également à Humboldt de donner une nouvelle image du globe à ses contemporains : notre planète pouvait être appréhendée davantage comme un arrangement complexe de bandes climatiques que comme une combinaison simpliste de régions tempérées « civilisées » vs des régions tropicales « primitives »⁷.

Grâce à ses 42 instruments scientifiques⁸, Humboldt a mis l'accent sur l'importance de l'hétérogénéité du milieu physique pour expliquer la diversité observée le long de gradients d'altitude sous les tropiques. De nos jours, les scientifiques disposent d'instruments de haute technologie leur permettant d'enregistrer des variations climatiques sur de longues périodes de temps et de mesurer non seulement des valeurs instantanées, comme le fit Humboldt, mais également la variabilité de ces paramètres (par exemple, des valeurs maximales et minimales) auxquels sont exposés les organismes. De nombreux paramètres physiques tels que la température de l'air, les précipitations, la force du vent et la variabilité de ces conditions se modifient le long du gradient d'altitude. Ainsi la température de l'air, en général, diminue de 0,6 °C lorsque l'altitude augmente de 100 m, alors que les précipitations augmentent à plus faible altitude⁹. Ces recherches ont ainsi permis d'affiner notre connaissance des facteurs physiques qui limitent la répartition des espèces et qui contrôlent la répartition de la diversité biologique le long des gradients d'altitude. Les modèles de distribution de la biodiversité en fonction de l'altitude sont généralement complexes, surtout dans des paysages hétérogènes comme les Andes équatoriennes¹⁰. Cependant, il est généralement admis que la richesse spécifique de la majorité des groupes d'organismes diminue en allant des zones basses aux zones les plus élevées, sans toutefois que ce modèle soit homogène sur l'ensemble des gammes d'altitudes¹¹. Par exemple, il a été démontré que la diversité de plusieurs groupes d'oiseaux et d'amphibiens est maximale aux altitudes intermédiaires¹²⁻¹⁴. En Équateur, le couplage entre le gradient altitudinal et les gradients latitudinal et longitudinal favorise la diversité des espèces.

Notre planète pouvait être appréhendée davantage comme un arrangement complexe de bandes climatiques que comme une combinaison simpliste de régions tempérées « civilisées » vs des régions tropicales « primitives ».

LES ANDES : un laboratoire de l'évolution des espèces

Quels sont les principaux progrès réalisés par les scientifiques depuis les travaux de Humboldt sur la répartition des espèces en altitude ? Humboldt a décrit avec précision les types de plantes observées dans les Andes selon l'altitude et il les a reliées à l'environnement physique. Cependant, l'existence de relations n'implique pas nécessairement celle de mécanismes, et la recherche de mécanismes est restée un axe majeur des recherches des biologistes depuis Humboldt. La théorie de l'évolution proposée par Charles Darwin dans *L'Origine des espèces* publiée en 1859, et qui différait de la conception du monde selon Humboldt, constitua une avancée majeure. Nous savons maintenant que l'extraordinaire biodiversité reconnue en Équateur est née des interactions entre les processus écologiques et évolutifs qui sont apparus à diverses échelles d'espace et de temps. Pour comprendre l'origine et le maintien de cette biodiversité, il faut retracer la façon dont l'histoire régionale et les interactions écologiques locales ont affecté et continuent d'affecter les populations d'espèces actuelles¹⁵.

À l'échelle régionale, la diversification des espèces en Équateur est liée aux événements climatiques et tectoniques survenus au cours de l'orogénèse des Andes¹⁶. Le soulèvement des Andes fut entrecoupé de périodes de stabilité relativement longues (dizaines de millions d'années) et de soulèvements rapides de 1 500 m ou plus pendant des périodes relativement courtes (1 à 4 millions d'années)¹⁷. Ce soulèvement se produisit par étapes de l'ouest vers l'est et affecta diverses régions à différentes époques, ce qui explique en partie l'extraordinaire diversification de la faune et de la flore néotropicales¹⁸⁻¹⁹. Dans de nombreux cas, les espèces d'altitude étaient issues d'espèces côtières à la suite de mécanismes de dispersion ou colonisation vers les zones de montagne. Elles ont ensuite été isolées en raison de modifications de l'habitat provoquées par le climat, et se sont différenciées²⁰. Par exemple, certaines familles de plantes rencontrées sur les hautes terres en Équateur proviennent des latitudes tempérées et ont été capables de coloniser la cordillère d'Amérique du Sud en passant par les chaînes montagneuses de l'Amérique centrale¹⁸.

Les premiers scientifiques explorateurs ont noté une répartition géographique singulière de certains groupes taxonomiques, recensant des espèces proches mais différentes des deux côtés des Andes. Dans la majorité des cas, cette divergence date du soulèvement des Andes qui a fragmenté les populations d'espèces ancestrales et les a réparties entre l'actuel bassin amazonien et la côte Pacifique²¹. La séparation des faunes et des flores suite à la formation des Andes a ainsi généré une grande biodiversité, un processus appelé « vicariance ». Le soulèvement des Andes eut également un impact sur le biote amazonien, puisqu'il a formé une nouvelle barrière et a profondément changé l'hydrologie et le climat de la région¹⁷. Au cours de millions d'années marquées par des événements biogéographiques complexes, ces populations ont ainsi évolué dans des directions différentes, conformément à la loi de sélection naturelle, entraînant une importante radiation des différentes espèces présentes aujourd'hui en Équateur. Cette radiation a été mise en évidence pour divers groupes de plantes^{18-22,23}, d'oiseaux²⁴⁻²⁵, d'amphibiens²⁶⁻²⁸ et de reptiles²⁹. En raison de leur isolement extrême, nombre de ces espèces sont endémiques, ce qui signifie

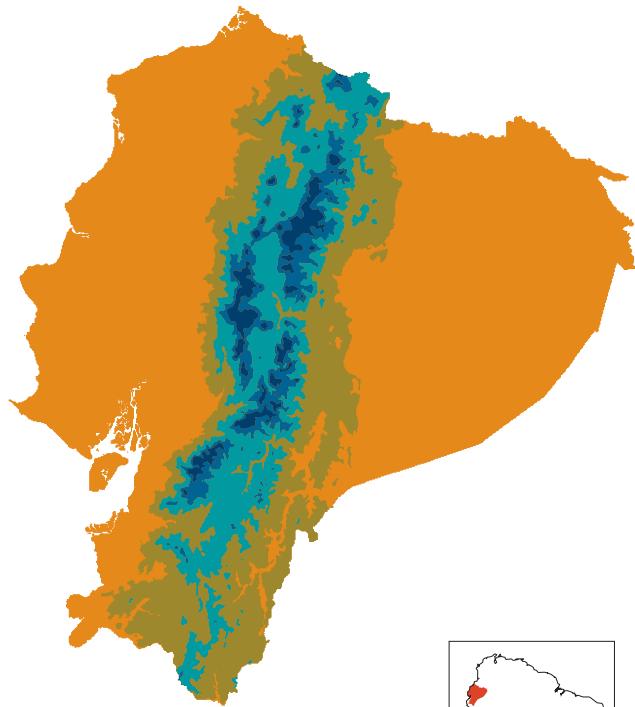
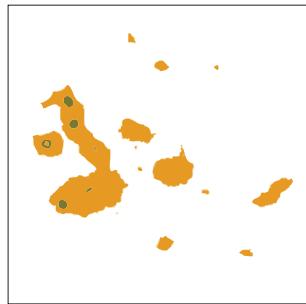
L'extraordinaire biodiversité reconnue en Équateur est née des interactions entre les processus écologiques et évolutifs qui sont apparus à diverses échelles d'espace et de temps.

qu'on ne les trouve dans aucune autre partie du monde. Parmi les 4 500 espèces endémiques de plantes vasculaires dénombrées en Équateur, 67,5 % se trouvent dans la région andine, ce qui confirme l'idée que l'endémisme se concentre davantage dans les zones de montagne³⁰. De plus, la présence d'amples versants orientés nord-sud fait des Andes un refuge de choix lorsque les changements climatiques affectent la distribution des espèces végétales et animales. Lors d'une baisse ou d'une augmentation des températures, les espèces pourront presque toujours trouver de nouveaux habitats favorables sur ces versants en migrant vers les zones basses ou en altitude.

Des processus évolutifs similaires ont eu lieu dans les îles Galápagos et sont à l'origine de l'apparition de différentes espèces. De même que les Andes ont formé une barrière géographique entre l'Ouest et la région amazonienne à l'est, l'isolement des îles Galápagos a favorisé la spéciation et, par conséquent, un pourcentage élevé d'espèces endémiques³¹⁻³². Autre facteur important, les courants océaniques le long de la côte continentale et des îles Galápagos influent fortement sur la biogéographie des espèces terrestres : d'une part, le courant froid de Humboldt, provenant de l'Antarctique et qui se dirige vers le nord le long de la côte occidentale de l'Amérique du Sud ; d'autre part, le courant chaud lié au phénomène El Niño, qui s'écoule le long de l'équateur. Les deux courants ont une grande influence sur les types de climat dans les îles et sur la grande variété de vie marine rencontrée dans les eaux équatoriennes³³.

L'histoire géologique seule n'explique cependant pas l'incroyable diversité d'espèces présentes en Équateur. Il existe en effet d'autres mécanismes éco-évolutifs qui agissent à des échelles temporelles et spatiales plus petites. Entre autres, les interactions entre espèces revêtent une importance particulière dans la genèse et le maintien de la biodiversité équatorienne et seront décrites au troisième chapitre de cet ouvrage. Un autre mécanisme concerne la dynamique temporelle et spatiale de la grande variété d'habitats, tant dans les terres hautes que basses, ce qui favorise la diversification des espèces. Par exemple, sur les versants des Andes, les fréquents glissements de terrain augmentent la dynamique de la végétation et par conséquent la diversité de certaines vallées, notamment dans la partie sud du pays³⁴. Dans la Cordillère et dans la forêt tropicale amazonienne, l'irrégularité des terrains crée également une grande variété d'habitats qui présentent une extraordinaire hétérogénéité de sols et de microclimats, à l'origine d'une ségrégation des espèces végétales et animales³⁵⁻³⁷. Même dans les écosystèmes agricoles fragmentés de la côte, l'hétérogénéité du paysage favorise la diversité des insectes³⁸. L'instabilité et l'hétérogénéité locales entraînent, par conséquent, le maintien de la biodiversité à une échelle plus grande³⁹.

SCHÉMA DES PRINCIPALES ZONES ÉCOLOGIQUES LE LONG DU GRADIENT D'ALTITUDE EN ÉQUATEUR



Échelle graphique
1:9:500.000

| | |
|-------------|--|
| 4 000-6 300 | |
| 3 800-4 000 | |
| 2 500-3 800 | |
| 1 000-2 500 | |
| 0-1 000 | |

Altitude (m)

5 000

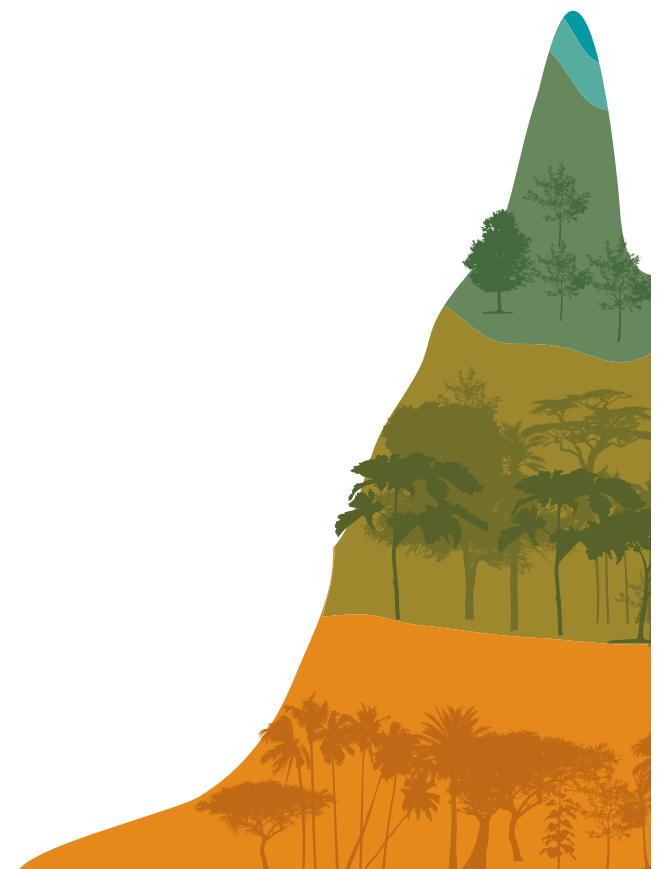
4 000

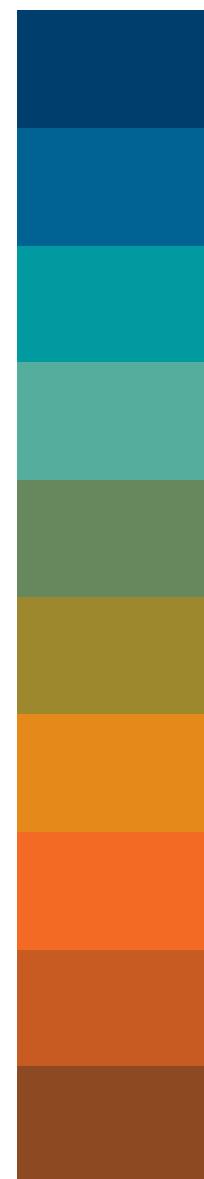
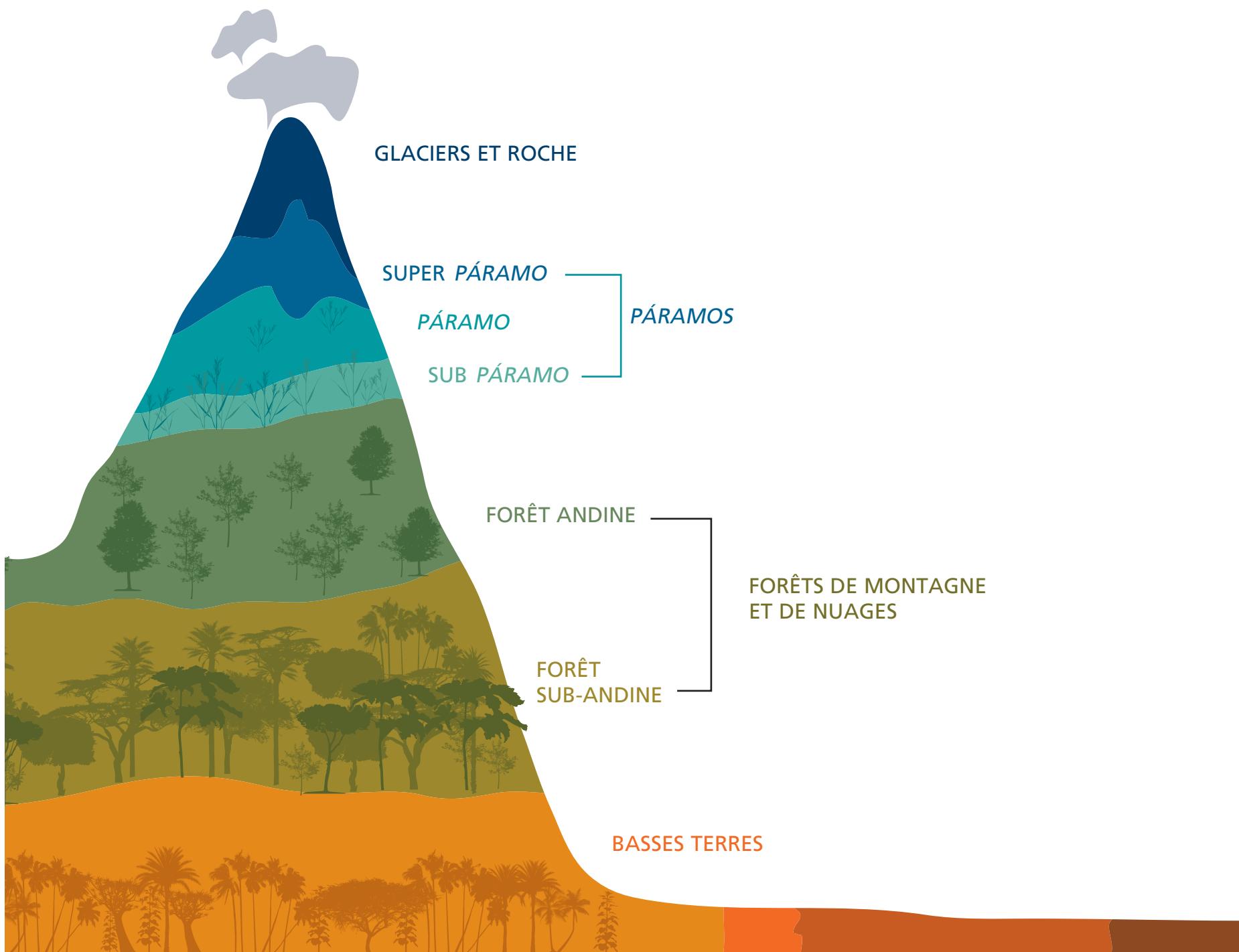
3 000

2 000

1 000

0







> 4800 m

LA ROCHE ET LES GLACIERS

Au-delà de la limite des neiges éternelles, la vie est restreinte à de petits invertébrés qui se nourrissent d'algues et de bactéries proliférant dans la neige et la glace. Peu de plantes et d'animaux peuvent survivre dans ces habitats extrêmes.

Condor des Andes (*Vultur gryphus*) survolant l'Antisana – Réserve écologique d'Antisana (5500 m)
La vie est particulièrement rude aux altitudes froides et dépourvues d'oxygène, à plus de 5000 m. Certains oiseaux, comme le condor, possèdent des mécanismes régulateurs uniques chez les vertébrés leur permettant d'oxygéner leur cerveau et de supporter ces conditions extrêmes⁴¹. Ils peuvent ainsi voler à haute altitude, où l'oxygène est rare, mais où l'air exerce moins de résistance au vol.







Ruisseau Crespo – Réserve écologique de l'Antisana (4 700 m)

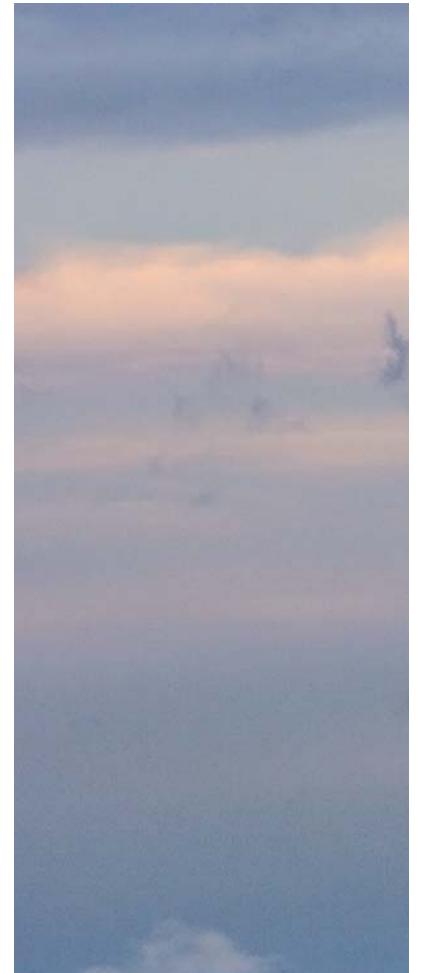
La grande majorité des ruisseaux alimentés par les glaciers en zone tropicale se concentrent dans les Andes. Les ruisseaux glaciaires tropicaux sont des écosystèmes uniques, radicalement différents de ceux des régions tempérées. Encore peu connus, ces écosystèmes semblent toutefois abriter une diversité singulière d'invertébrés aquatiques adaptés à d'importantes variations de débits périodiques des eaux, dues à une fonte diurne et à des gels nocturnes⁴⁴.

À gauche :

Renard des Andes (*Pseudalopex culpaeus*) – Parc national du Cotopaxi (5 000 m)

Le renard des Andes est adapté à la rareté de l'oxygène. Son hémoglobine possède en effet une plus grande affinité pour l'oxygène que celle des espèces des basses terres⁴². C'est un chasseur solitaire qui peut marauder à des altitudes supérieures à 4 800 m. En raison de conditions de vie difficiles, il montre peu de sélectivité dans le choix de ses proies.⁴³

Malgré des conditions environnementales difficiles, on estime que les montagnes équatoriennes abritent environ 1 500 espèces de plantes vasculaires⁴⁵. Par conséquent, 10 % de toute la flore vasculaire de l'Équateur se concentre sur 5 % du territoire⁴⁶.



(34) **Gentiane (*Gentianella cerastioides*) – Réserve écologique de l'Antisana (4 700 m)**
Le genre *Gentianella* possède une répartition mondiale, principalement dans les habitats alpins ou arctiques. Originnaire de l'est de l'Asie, ce genre s'est répandu de l'Amérique du Nord jusqu'en Amérique du Sud, où il s'est produit une forte radiation d'espèces, probablement due à une large zone alpine ouverte à la colonisation⁴⁷.



Volcan Tungurahua (5023 m)

(35)

Les éruptions volcaniques engendrent de grands volumes de cendres qui peuvent être transportées par le vent sur plusieurs centaines de kilomètres et influencer sur les conditions climatiques régionales, qui affectent à leur tour la biodiversité^{48, 615}. À une échelle plus grande, les éruptions volcaniques de forte ampleur qui se sont produites ces 450 dernières années ont refroidi temporairement l'environnement. Ces effets ont cependant pu être masqués au XX^e siècle par l'augmentation générale de la température⁴⁹.



LES PÁRAMOS

Ces écosystèmes constitués par la végétation tropicale des Andes abritent des espèces végétales et animales spécifiques dont beaucoup ne se retrouvent dans aucune autre région d'altitude au monde.

4 800 - 3 500 m



*Páramo du volcan Antisana avec vue sur le Cotopaxi
– Réserve écologique de l'Antisana (4 600 m)*

Bien que certaines plantes vasculaires soient recensées sur le Chimborazo à 5 100 m d'altitude, elles sont généralement observées en Équateur à des altitudes inférieures à 4 800 m. Le pourcentage le plus élevé d'endémisme pour ces plantes apparaît à plus de 4 500 m. Des conditions particulières liées au climat et au sol limitent la présence de ces « plantes endémiques » à des zones de faible superficie ou isolées³⁹.



Buse variable (complexe *Buteo poecilochrous/polyosoma*)

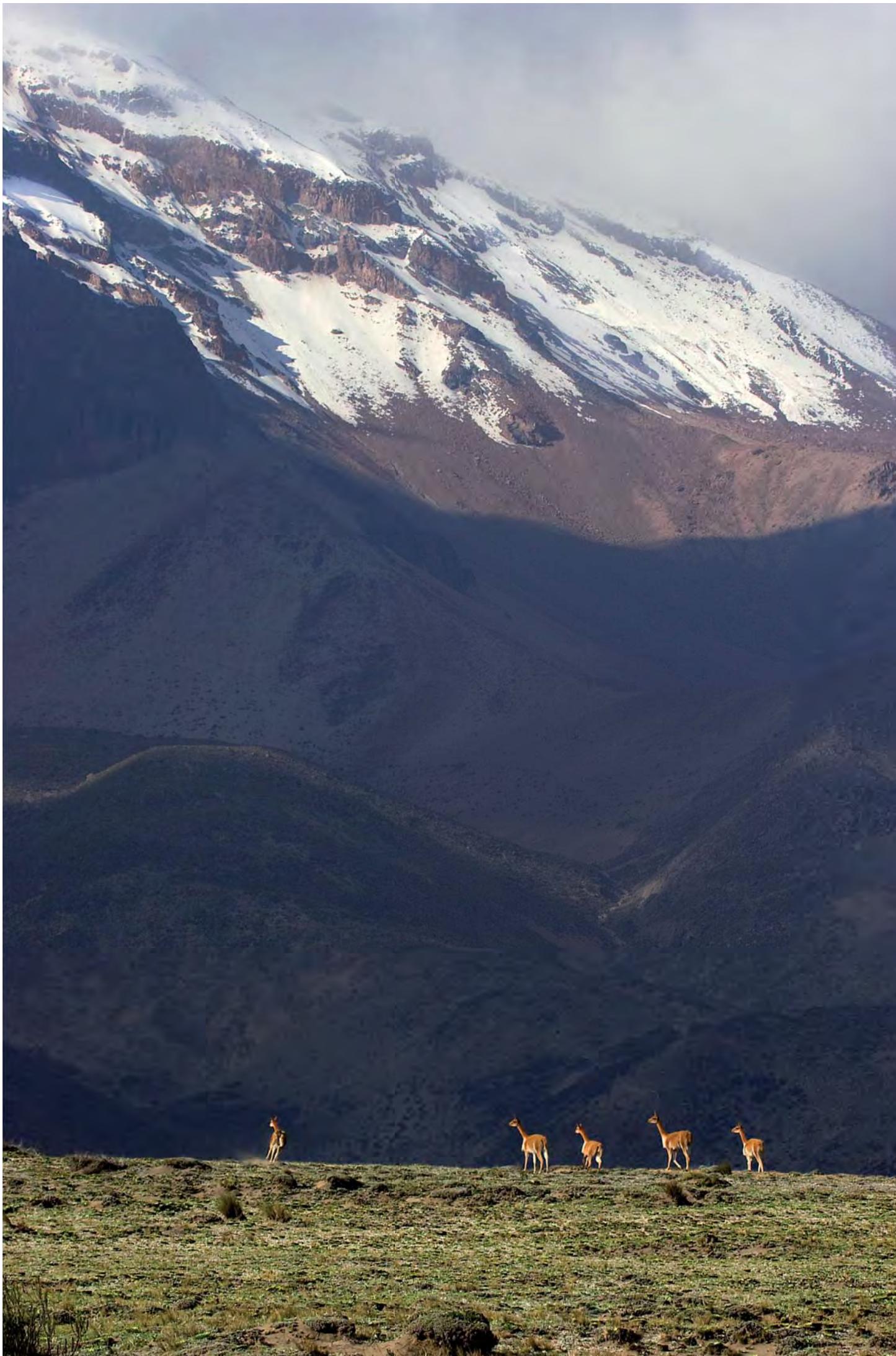
Réserve écologique de l'Antisana (4 300 m)

La buse variable se rencontre à différentes altitudes dans les terres hautes et basses de l'Équateur. Les biologistes débattent sur le fait de savoir si les populations de buses observées à basse et haute altitude sont deux espèces différentes (*B. polyosoma* et *B. poecilochrous*) qui auraient divergé lors de la dernière glaciation, il y a 12 000 ans⁵⁰⁻⁵¹. Cette controverse illustre les effets subtils de l'altitude sur la morphologie et le comportement des espèces, pouvant entraîner la spéciation.



Faucon aplomado (*Falco femoralis*) – Réserve écologique de l'Antisana (4 100 m)

Bien que son aire de répartition couvre toute l'Amérique du Sud, depuis les plaines côtières jusqu'à une altitude de 4 500 m dans les Andes, le faucon aplomado est un oiseau relativement rare en Équateur, localisé dans des zones ouvertes au-dessus de 3 000 m⁵². Il est possible que la rareté de cet oiseau dans les plaines équatoriennes soit due non pas aux préférences écologiques, mais aux conséquences de la dégradation de l'habitat et à l'accumulation des effets de la pollution, auxquels cet oiseau est très sensible⁵³.



Il n'existe aucune preuve que l'Équateur appartienne à l'aire de répartition originelle des vicognes⁵⁴. Les troupeaux actuels, limités à la réserve faunistique du Chimborazo, proviennent d'opérations d'introduction réalisées afin d'encourager un plan régional de conservation de l'espèce⁵⁵.



Vigogne (*Vicugna vicugna*)

Réserve faunistique du Chimborazo (4 200 m)

À l'origine, l'aire de répartition des vigognes couvrait le nord du Pérou et s'étendait jusqu'à l'altiplano, à des altitudes allant de 3 200 à 4 800 m, comprenant la Bolivie, le nord du Chili et de l'Argentine. Outre l'objectif de la conservation de l'espèce, l'introduction des vigognes dans la réserve faunistique du Chimborazo permet de soutenir le développement des populations indigènes voisines. Une production moyenne de laine de vigogne peut en effet constituer une source de revenus significative. Chaque kilo de laine (obtenu avec cinq vigognes) peut être vendu 300 dollars⁵⁵. La population actuelle de vigognes en Équateur avoisine les 2 700 individus⁵⁶.





Cinclode brun (*Cinclodes fuscus*) – Páramo de la Virgen (4 100 m)

Les 13 espèces du genre *Cinclodes* se sont adaptées à une grande variété d'altitudes le long des Andes⁵⁹. Trois espèces se limitent aux *páramos* et aux forêts de *Polylepis*, trois autres espèces se rencontrent exclusivement dans les régions côtières et sont probablement les espèces de passereaux les plus adaptées au milieu marin⁶⁰. Le cinclode brun est le champion du groupe en termes d'aire de répartition, puisqu'on le trouve au niveau de la mer et jusqu'à 5 000 m d'altitude⁶¹.

À gauche :

Hibou des marais (*Asio flammeus*) – Réserve écologique de l'Antisana (4 000 m)

Dans les pâturages des *páramos*, la diversité d'oiseaux est faible par rapport aux autres habitats terrestres des régions néotropicales⁵⁷. Une étude réalisée dans la réserve écologique de Cotachi-Cayapas entre 3 500 et 4 000 m d'altitude a recensé 40 espèces d'oiseaux sur un total de 600 points d'échantillonnage⁵⁸. La répartition de cette diversité est fortement influencée par la complexité de l'habitat. Le hibou des marais, par exemple, a besoin d'une couverture végétale suffisante pour assurer sa nidification⁵⁷.





Les *páramos* forment
une ceinture discontinue
qui s'étend du nord du Pérou
à l'Équateur, à la Colombie
et jusqu'au Venezuela
et couvrent environ 35 000 km².
L'Équateur, à lui seul,
englobe 51 %
de cette surface⁶⁴.

Cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*) - Réserve écologique de l'Antisana (3 900 m)

En Amérique du Sud, les populations de cerfs de Virginie qui peuplent les *páramos* et habitats forestiers au-dessus de 3 000 m sont séparées géographiquement de celles peuplant les savanes et les forêts décidues en dessous de 1 000 m. Des études de génétique des populations au Venezuela ont révélé que ces deux populations forment deux groupes distincts appartenant à deux sous-espèces⁶². Cela montre comment l'hétérogénéité d'un habitat le long d'un gradient d'altitude peut favoriser la spéciation par l'isolement génétique des populations.



Lichen crustacé (*Parmeliaceae*) sur un bloc rocheux – Parc national du Cotopaxi (4 000 m)

Les écosystèmes d'altitude en Équateur partagent de nombreuses formes de vie avec les biomes de toundra à l'échelle du globe. Les lichens crustacés forment une croûte sur le substrat et leur forme leur permet de résister à des conditions extrêmes d'humidité et de température. Ces microlichens ne semblent pas atteindre la grande diversité observée dans les toundras des zones tempérées, probablement à cause de l'humidité excessive qui favorise les macrolichens⁶³.



Ruisseau de páramo – Parc national de Cayambe-Coca (4 000 m)

Les grands plateaux andins sont drainés par de nombreux ruisseaux de faible pente qui présentent une turbulence limitée et un substrat fin et stable, contrastant avec la majorité des zones montagneuses dans le monde. Ces ruisseaux abritent une flore aquatique abondante et variée composée de genres présents en zone tempérée, adaptés aux basses températures ; aucun genre n'est endémique du páramo. Un seul ruisseau de páramo peut abriter jusqu'à 20 espèces de plantes principalement semi-aquatiques et quelques espèces amphibiées⁶⁵.

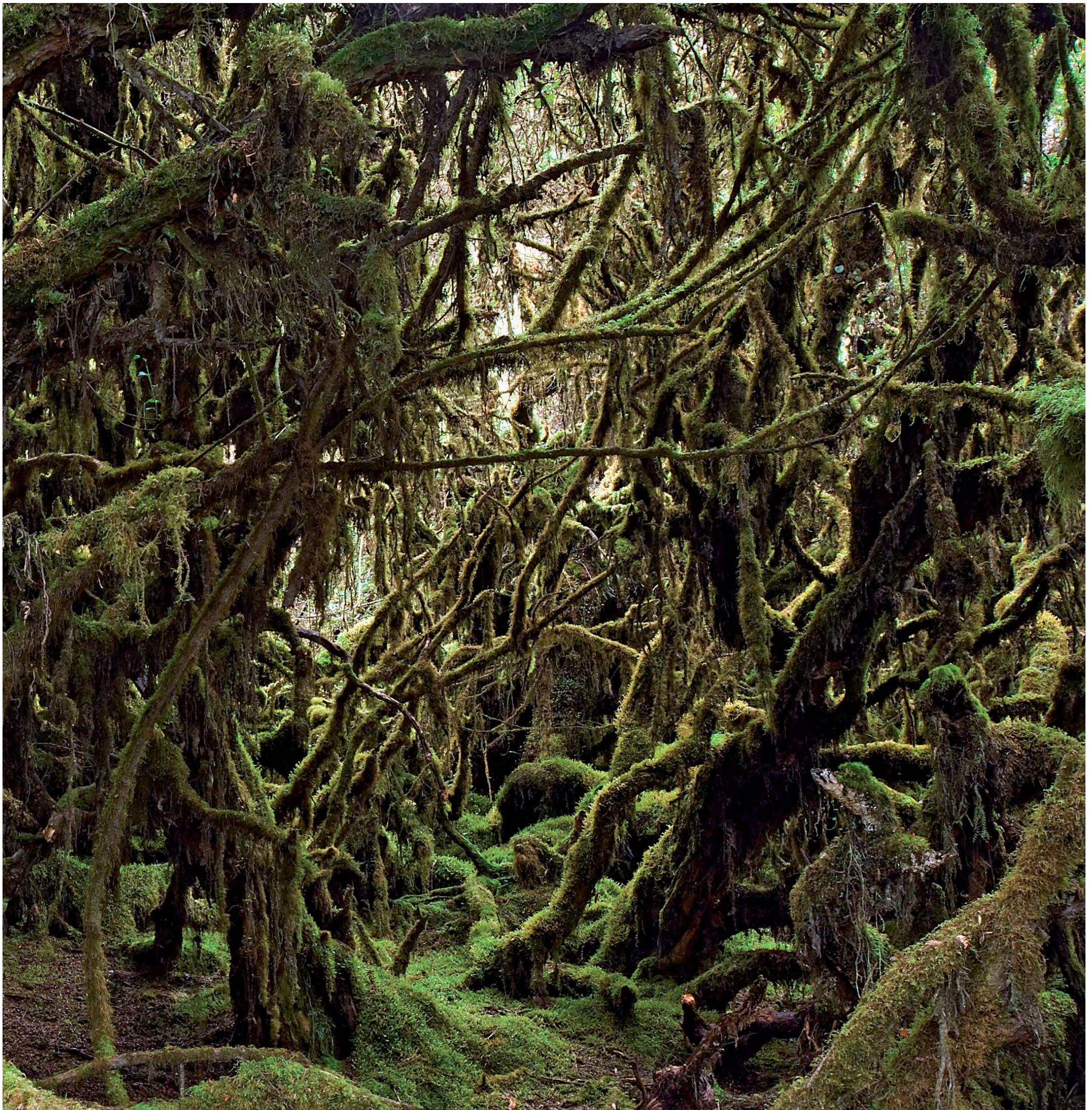
LES FORÊTS DE MONTAGNE ET DE NUAGES

En raison de l'humidité qui s'élève depuis les plaines, ces forêts se trouvent enveloppées d'un brouillard épais au moins pendant une partie de la journée⁴⁰, d'où leur nom. Cette région à la topographie abrupte est particulièrement riche en plantes telles que les orchidées et les broméliacées, mais elle héberge également un grand nombre d'oiseaux et de batraciens, dont la diversité atteint son niveau maximal à ces altitudes intermédiaires.

3 500-1 000 m

Forêt de *Polylepis* (*Polylepis pauta*) – Parc national de Cayambe-Coca (3 500 m)

À leur altitude la plus extrême, les forêts de nuages se transforment en petites forêts enchantées (*elfin forests*) dont les troncs entremêlés sont recouverts de plantes épiphytes. Dans ces habitats, la diversité des épiphytes vasculaires (par exemple, les broméliacées et les orchidées) est généralement favorisée par un couvert de mousse et une accumulation de matière organique. Le développement et la survie de ces épiphytes sont particulièrement sensibles non seulement à l'abattage des arbres mais aussi aux changements microclimatiques et à l'augmentation de la sécheresse⁴⁰.





Les Andes tropicales
abritent environ
2 800 espèces d'oiseaux,
soit 28 % des espèces
dénombrées dans
le monde⁶⁷.

Coq-de-roche péruvien (*Rupicola peruvianus*) – Nanegalito (1 900 m)

La variation de la lumière dans les forêts tropicales a déterminé, en partie, la grande diversité des oiseaux rencontrés dans ces habitats. Par exemple, pour séduire les femelles, les coqs-de-roche mâles ont besoin de deux types d'habitats présentant une lumière spécifique : les « forêts ombragées » et les « clairières ». Au cours de la parade nuptiale, les mâles exposent une partie de leur plumage dans des clairières et ils gardent le reste du corps à l'ombre. Ainsi, ils créent des signaux de couleur très contrastés permettant d'influencer le choix de la femelle⁶⁸.



Cabézon toucan (*Semnornis ramphastinus*) – Nanegalito (2 000 m)

Le nord-est du Chocó équatorien possède la plus grande diversité d'oiseaux endémiques du continent américain (50 espèces, dont le cabézon toucan)⁵²⁻⁷⁰. À l'image de leurs voisins de la forêt amazonienne, ces oiseaux sont très sensibles à la fragmentation de leur habitat. Une expérience de grande envergure menée en Amazonie, basée sur la capture de presque 50 000 oiseaux, a révélé que des fragments d'habitat inférieurs à 100 hectares perdent la moitié des espèces en moins de quinze ans⁷¹. En fait, il arrive souvent que les populations de ces fragments ne puissent pas subvenir à leurs besoins, les oiseaux se dispersant peu et évitant les bordures et les habitats ouverts⁷².



Dans de nombreuses régions inexplorées du versant oriental des Andes, il y a de fortes probabilités de découvrir de nouvelles espèces d'amphibiens.



Anolis (*Anolis aequatorialis*) – Réserve intégrale Otonga (2 000 m)

Les espèces du genre *Anolis* présentent en général une température corporelle inférieure à celles d'autres espèces de lézards. Cette caractéristique a contribué à étendre l'aire de répartition de certaines de ces espèces vers des milieux plus froids tels que ceux rencontrés dans les parties les plus hautes des forêts de nuages⁶⁶.

À gauche :

Grenouille arlequin (*Atelopus palmatus*) – Parc national du Sangay (2 200 m)

Les versants à l'est des Andes abritent une grande diversité d'amphibiens avec de nombreuses espèces endémiques des forêts subtropicales. Nos connaissances sur cette région sont encore fragmentaires, en raison de l'escarpement, de l'éloignement et de l'accessibilité réduite de ces territoires⁷³. Des expéditions scientifiques réalisées dans cette région permettent ainsi de découvrir des espèces d'amphibiens inconnues, certaines – comme celle représentée sur la photographie – étant probablement nouvelles pour la science.

La superficie originelle des forêts de nuages
et de montagne a diminué de 90 %⁷⁴.
Seule la moitié des 10 % restants est protégée⁷⁵.





Forêt de nuages – Réserve de Maquipucuna (1 600 m)

La richesse spécifique des plantes ligneuses en Equateur diminue avec l'augmentation de l'altitude depuis les plaines amazoniennes⁷⁶. Si ces forêts sont souvent moins diverses que les régions voisines de plaine à une échelle de 0,01 à 0,1 km², elles sont cependant plus diverses à une échelle de 10-100 km²⁸⁰. En général, les forts pourcentages d'endémisme des plantes vasculaires se rencontrent dans les forêts andines au-dessus de 1 500 m⁷⁷. La diversité des épiphytes vasculaires atteint un pic entre 1 500 et 2 500 m d'altitude⁷⁸. Ces plantes permettent d'intercepter d'énormes quantités d'eau des nuages et des précipitations, qui représentent près de 40 % de la totalité des apports hydrologiques à la canopée⁷⁹.





Milan bidenté (*Harpagus bidentatus*) – Réserve intégrale Otonga (1 200 m)

Les forêts de nuages équatoriennes réparties sur les deux versants de la cordillère sont très importantes pour la conservation des oiseaux, en raison de leur grande diversité d'espèces et de leur fort taux d'endémisme. Une étude à l'échelle du continent a révélé que le volcan Sumaco et ses contreforts, au nord-est de l'Équateur, présentent la densité d'espèces d'oiseaux la plus élevée des Andes⁸¹. Dans le cas des rapaces comme le milan bidenté, l'accélération de la déforestation dans le nord des Andes peut donner lieu à une diminution considérable du nombre d'individus et à une probable réduction de leur aire de répartition⁸².





Serpent vert de vigne (*Oxybelis brevirostris*) – province d'Esmeraldas (1 000 m)

Le versant ouest des Andes équatoriennes appartient au point chaud (hot spot) de biodiversité appelé Tumbes-Chocó-Magdalena. Cette région s'étend du canal de Panamá jusqu'au nord-ouest du Pérou. On a estimé à plus de 320 les espèces de reptiles observées dans cette zone, parmi lesquelles presque 100 sont endémiques. *O. brevirostris* appartient à la famille de reptiles la plus diversifiée de la région, les Colubridés, avec 122 espèces répertoriées⁸⁴.

À gauche :

Grenouille arboricole (*Dendropsophus sarayacuensis*) – Parc national du Sangay (1 000 m)

Le succès écologique des amphibiens dans les Andes tropicales et subtropicales est évident avec plus de 800 espèces répertoriées (dont 600 endémiques). Plusieurs anoures andins, comme les grenouilles arboricoles, présentent une diversité maximale aux altitudes intermédiaires (1 000-2 000 m)¹⁴. Des études moléculaires suggèrent qu'ils sont associés à une colonisation ancienne de ces altitudes et non à des taux de diversification plus élevés⁸³.

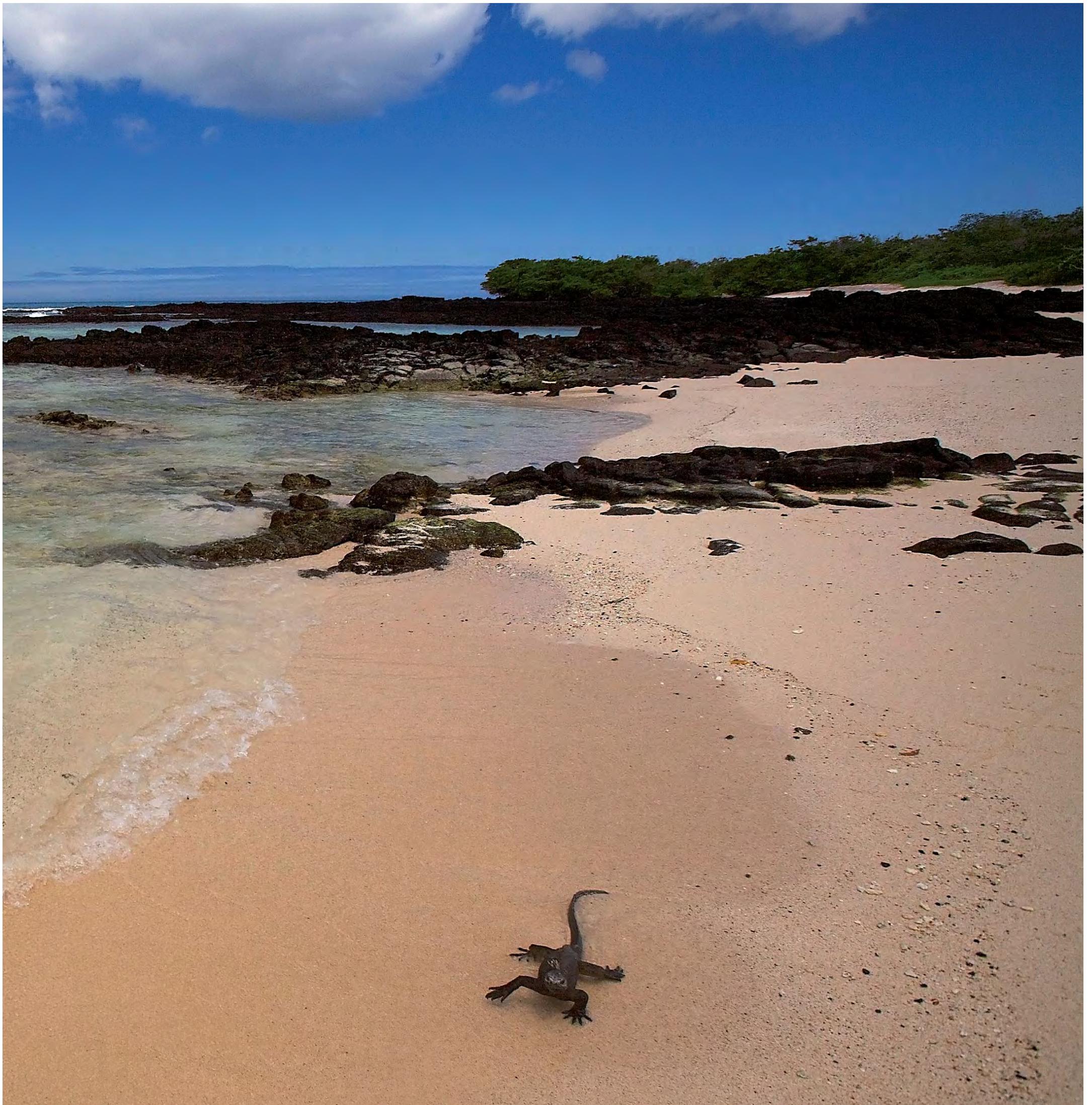


< 1 000 m

LES BASSES TERRES

Les basses terres de l'Équateur comprennent une immense variété d'écosystèmes et la biodiversité y est surprenante. La côte continentale est marquée par un fort gradient annuel de pluviométrie, alors que la région amazonienne se caractérise par des températures chaudes et des précipitations abondantes et régulières. À ces régions continentales s'ajoutent les îles volcaniques Galápagos qui jouissent d'une faune et d'une flore uniques.

Iguane marin (*Amblyrhynchus cristatus*) – Parc national des Galápagos-île de Santa Cruz (0 m)
Il existe à ce jour 40 taxons de reptiles dans les Galápagos – tous endémiques de l'archipel⁸⁵ –, et tous sont issus de seulement 9 à 10 lignées originaires du continent. Ces espèces et sous-espèces de reptiles sont généralement isolées sur différentes îles ou différents volcans d'une même île⁸⁶. Seule exception : les différentes populations d'iguanes marins sont considérées comme une seule espèce, bien que leur couleur et leur taille varient selon les îles. La raison en est probablement le taux élevé de migration des mâles entre les îles⁸⁷.





On estime que la canopée
des forêts tropicales abrite presque
40 % des espèces existantes.
En outre, elles constituent
de formidables réserves d'eau
en contrôlant l'évapotranspiration
et en interceptant près du quart
des pluies et brouillards⁸⁸.

Singe-écureuil (*Saimiri sciureus*)
Parc national Yasuní (300 m)

Les voûtes des arbres dans les forêts tropicales représentent un grand milieu ouvert dans lequel les animaux se déplacent et se nourrissent. Cette structure complexe a déterminé les adaptations locomotrices des singes néotropicaux telles que leurs modes de déplacement et l'utilisation de queues préhensiles⁸⁹.

À droite :

Ara rouge (*Ara macao*)
Parc national Yasuní (300 m)

De nombreuses espèces d'oiseaux sont étroitement dépendantes de la canopée. Il a été démontré qu'une diminution de 21 à 40 % de la surface de la canopée engendre une baisse significative du nombre d'oiseaux dans ces forêts⁹⁰.







Affluent du fleuve Napo – Parc national Yasuní (300 m)

Les fleuves néotropicaux abritent un grand nombre de poissons endémiques et d'espèces d'invertébrés. Une étude portant sur un fleuve de 2 000 km dans le bassin amazonien a révélé que, particulièrement dans le cas des poissons électriques, les affluents de premier ordre sont des écosystèmes clés dans le maintien de la grande diversité des poissons. Non seulement les affluents hébergent plus d'espèces, mais ils contribuent également à augmenter la diversité des poissons dans le fleuve principal après la confluence⁹³.

À gauche :

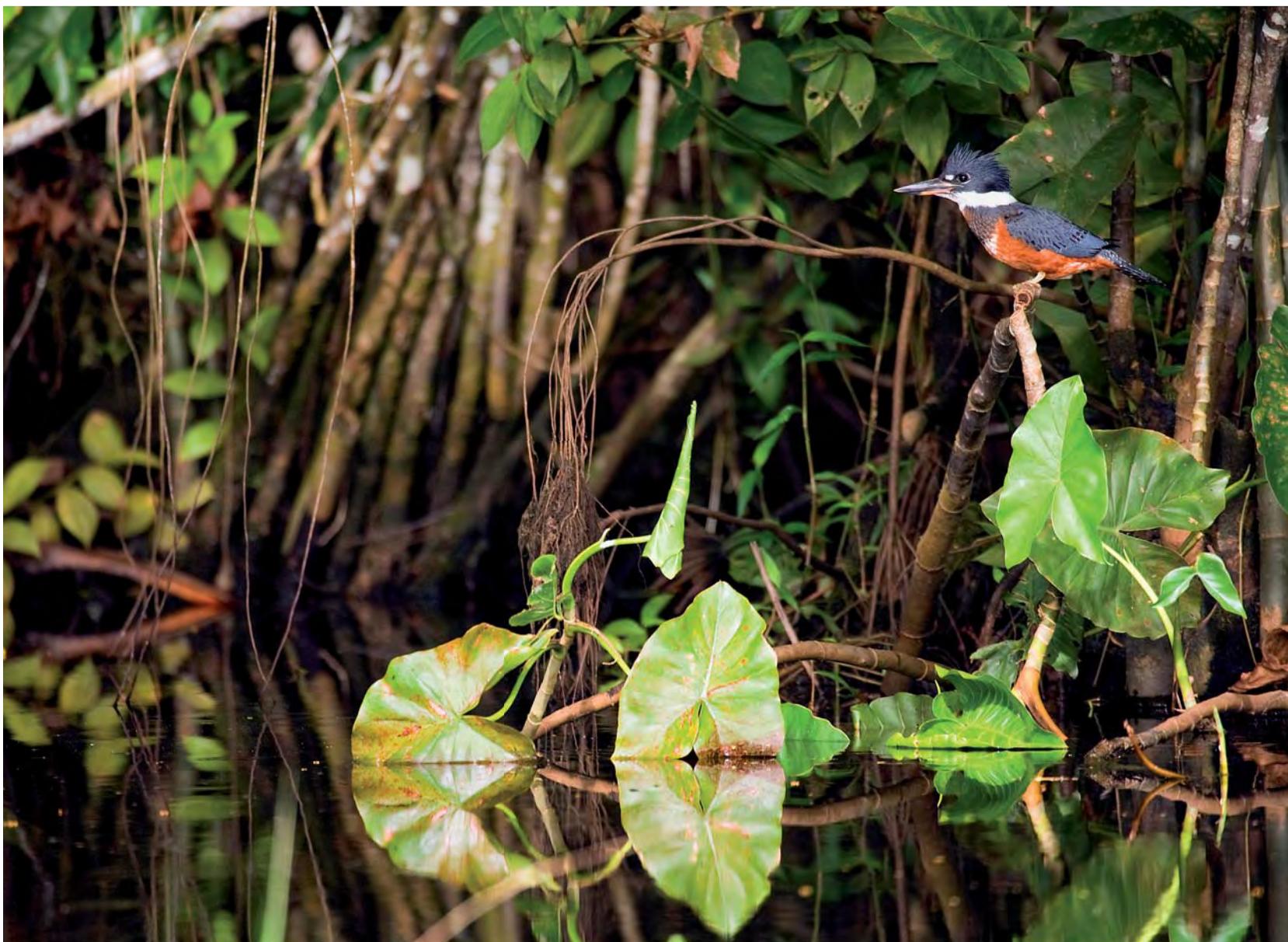
Scarabée doré (*Euchroma giganteum*) – Province d'Esmeraldas (800 m)

La répartition altitudinale des insectes néotropicaux est relativement peu connue, en raison des difficultés d'échantillonnage et d'identification des communautés d'insectes. On sait cependant que, pour la majorité des insectes, l'altitude est un facteur qui influence significativement leur répartition⁹¹. On observe en effet chez plusieurs groupes une baisse de la richesse spécifique à plus haute altitude en raison de conditions défavorables telles que des températures plus basses⁹².



Caïman noir (*Melanosuchus niger*) – Parc national Yasuní (300 m)

Les populations de caïmans noirs sont relativement nombreuses dans des zones isolées de l'Amazonie équatorienne, surtout dans les bras morts et autres marais des bassins des fleuves Aguarico et Napo⁹⁴. Génétiquement différentes des populations du Brésil, du Pérou et de Guyane française, les populations équatoriennes se sont probablement répandues à partir de l'Amazonie centrale il y a 10 000 à 40 000 ans, lorsque le réseau hydrographique alternait entre montée et baisse des eaux⁹⁵⁻⁹⁶.



Martin-pêcheur à ventre roux (*Megascops torquata*) – Parc national Yasuní (300 m)
Sur les 3800 espèces d'oiseaux recensées dans la zone néotropicale, seules 178 (soit moins de 5 %) se rencontrent dans les plaines des deux versants des Andes⁹⁷. C'est le cas du martin-pêcheur à ventre roux, que l'on trouve principalement en dessous de 1 300 m. La répartition actuelle s'explique par des dispersions de l'espèce dans les vallées (2000 m) du nord des Andes⁹⁸ : le martin-pêcheur à ventre roux maraude à des altitudes élevées (3000 m)⁵².





Palétuvier rouge (*Rhizophora mangle*) et héron strié (*Butorides striatus*)

Parc national des Galápagos-île de Santa Cruz (0 m)

Les répartitions en altitude et en latitude du palétuvier rouge sont limitées par son besoin constant d'eau chaude et salée. Bien que cette espèce puisse pousser en eau douce, la compétition avec les autres plantes l'en empêche généralement. Le palétuvier rouge influence également la répartition locale d'autres espèces. Tandis que la canopée fournit un habitat aux oiseaux, ses racines aériennes permettent aux invertébrés marins de s'y fixer et aux poissons de s'y réfugier¹⁰⁰.

À gauche :

Pic ouentou (*Dryocopus lineatus lineatus*) – Parc national Yasuní (300 m)

Pour de nombreuses espèces, le soulèvement du nord des Andes a séparé les organismes aujourd'hui rencontrés dans les zones basses de la région. Des deux côtés des Andes, les populations ont été isolées en raison d'un flux génétique et d'une dispersion limités, ce qui a permis la mise en place de processus de spéciation⁹⁹. C'est le cas du pic ouentou, dont deux sous-espèces sont présentes en Équateur et diffèrent en taille (le grand *lineatus* dans l'Est et le petit *fuscipennis* dans l'Ouest)⁵².



Bécasseau sanderling (*Calidris alba*) – Mompiche (0 m)

En Équateur, les conditions chaudes et humides associées à l'épisode El Niño de 1997-1998 ont affecté considérablement la masse corporelle de plusieurs espèces d'oiseaux côtiers, soit directement en augmentant les besoins du métabolisme, soit indirectement en diminuant la disponibilité des proies¹⁰¹. De tels phénomènes peuvent avoir un effet significatif sur la survie des oiseaux, surtout pour des espèces migrantes comme le bécasseau sanderling qui doit se rendre dans l'hémisphère nord pour nidifier.

À droite :

Grand chevalier (*Tringa melanoleuca*) – Mompiche (0 m)

Le grand chevalier est une des rares espèces d'oiseaux équatoriens que l'on trouve à toutes les altitudes le long des versants andins. Il peut ainsi être observé depuis des habitats côtiers jusqu'aux lacs des *páramos*. Bien que les conditions soient moins favorables en altitude, sa présence dans ces milieux s'explique en partie par une compétition moindre avec les individus d'autres espèces¹⁰² ou de la sienne.





Pinson de Darwin (*Geospiza fuliginosa*) – Parc national des Galápagos-île de Santa Cruz (10 m)

La répartition des espèces de pinsons de l'archipel des Galápagos révèle l'importance de l'isolement géographique dans les processus de spéciation. Les 14 espèces actuelles de pinsons de Darwin sont issues de la spéciation d'un seul ancêtre, originaire du continent sud-américain. Les îles étant isolées les unes des autres et présentant des conditions écologiques différentes, les populations de pinsons se sont différenciées au cours de millions d'années et ne peuvent désormais plus se reproduire entre elles¹⁰⁴.

(72)

À droite :

Iguane terrestre (*Conolophus pallidus*) – Parc national des Galápagos-Seymour (20 m)

L'évolution de nombreuses espèces terrestres continentales a été déterminée par le soulèvement des Andes, tout comme celle des espèces insulaires l'a été par l'histoire volcanique des îles Galápagos. Les iguanes terrestres en sont un bon exemple puisqu'ils représentent l'une des évolutions les plus anciennes de l'archipel survenue il y a quelque cinq millions d'années. Il est probable que certains volcans, à l'heure actuelle sous l'eau, aient été au-dessus du niveau de la mer au moment de l'arrivée des iguanes, permettant à quelques-uns d'entre eux de gagner la terre ferme et d'évoluer séparément¹⁰⁵.



Selon Darwin, les îles Galápagos sont un laboratoire naturel de l'évolution. Étant donné la jeunesse du système insulaire, de nombreuses espèces sont encore en cours de spéciation¹⁰³. Les pinsons de Darwin, universellement connus, et les iguanes terrestres sont deux exemples de l'évolution par la sélection naturelle qui a façonné en grande partie la diversité de la vie sur la Terre.





L'ÉQUATEUR : terre de mégadiversité

« Si un voyageur aperçoit une espèce en particulier et désire en rencontrer d'autres spécimens, c'est en vain qu'il regardera dans toutes les directions. Des arbres de formes, dimensions et couleurs différentes vous entourent, mais il est rare que vous puissiez retrouver les mêmes. De temps en temps, on s'approche d'un arbre qui ressemble à celui que l'on recherche et on s'aperçoit qu'en fait il est différent. On peut enfin rencontrer un deuxième spécimen à 800 m de distance, ou on peut complètement échouer, jusqu'à ce qu'on tombe dessus par hasard. »

(75)

Alfred Wallace, *Un récit des voyages sur les fleuves Amazone et río Negro*, 1895.

LA FORÊT TROPICALE AMAZONIENNE : l'épicentre mondial de la biodiversité

L'immense majorité des espèces recensées en Équateur vivent dans la forêt tropicale amazonienne¹⁰⁶. Plusieurs études ont suggéré que l'ouest du bassin amazonien, y compris l'Amazonie équatorienne, est sans doute le biome le plus riche de la planète¹⁰⁷⁻¹¹⁵. Les chiffres sont tout simplement stupéfiants. Dans le parc national Yasuní, sur 25 ha de forêts, on trouve plus de 1 100 espèces d'arbres¹¹⁶. En comparant des parcelles similaires dans d'autres forêts tropicales, on s'aperçoit que Yasuní présente la plus grande diversité d'arbres jamais enregistrée¹¹⁷. Il en est de même pour les lianes¹¹⁸ et les épiphytes¹¹⁹. En ce qui concerne la faune, des comparaisons similaires peuvent être établies. Ainsi, sur un seul site dans le río Aguarico (province du Napo), il est possible de rencontrer 185 espèces d'amphibiens et de reptiles¹¹². Comparativement, la France – un des pays d'Europe les plus diversifiés – n'abrite que 76 espèces. Plusieurs sites dans l'est de l'Équateur accueillent plus de 500 espèces d'oiseaux sur moins de 50 km²¹³. Plus de 100 espèces de chauves-souris coexistent sur quelques hectares à Yasuní¹²⁰. Au total, presque la moitié de toutes les espèces de mammifères du bassin amazonien se trouvent en Amazonie équatorienne^{54, 121}. Enfin, on estime à 35 000 le nombre d'espèces d'insectes rencontrées dans un rayon de 3 km à Yasuní, soit 40 % des espèces décrites dans toute l'Amérique du Nord¹²².

Plusieurs hypothèses sont avancées pour expliquer la remarquable diversité observée dans les forêts tropicales de la plaine amazonienne : le rôle joué par les cours d'eau en tant que barrières, qui suggère que les grands fleuves sont responsables de l'isolement des espèces ; la fonction de refuge assurée par la forêt amazonienne durant les glaciations du Pléistocène ; ou encore la forte hétérogénéité écologique qui caractérise les habitats amazoniens¹²³. Comme mentionné dans le chapitre précédent, la proximité de la cordillère des Andes a également considérablement augmenté la diversité locale de certains groupes. C'est par exemple le cas des plantes épiphytes, dont les espèces andines contribuent de façon substantielle (15 %) à la grande diversité observée à Yasuní¹¹⁹. Enfin, l'extrême diversité de la forêt tropicale s'explique également par la complexité de la structure tridimensionnelle de la canopée, qui permet la diversification des niches écologiques et la stratification verticale des espèces⁸⁸. 20 à 25 % des invertébrés se trouvent uniquement dans la canopée¹²⁶ et on y observe 10 % des plantes vasculaires épiphytes⁸⁸. Si la canopée de la forêt tropicale se trouve au cœur de la diversité¹²⁴, elle reste néanmoins l'un des habitats les moins connus sur Terre¹²⁵.

Presque la moitié de
toutes les espèces
de mammifères
du bassin amazonien
se trouvent
en Amazonie
équatorienne.

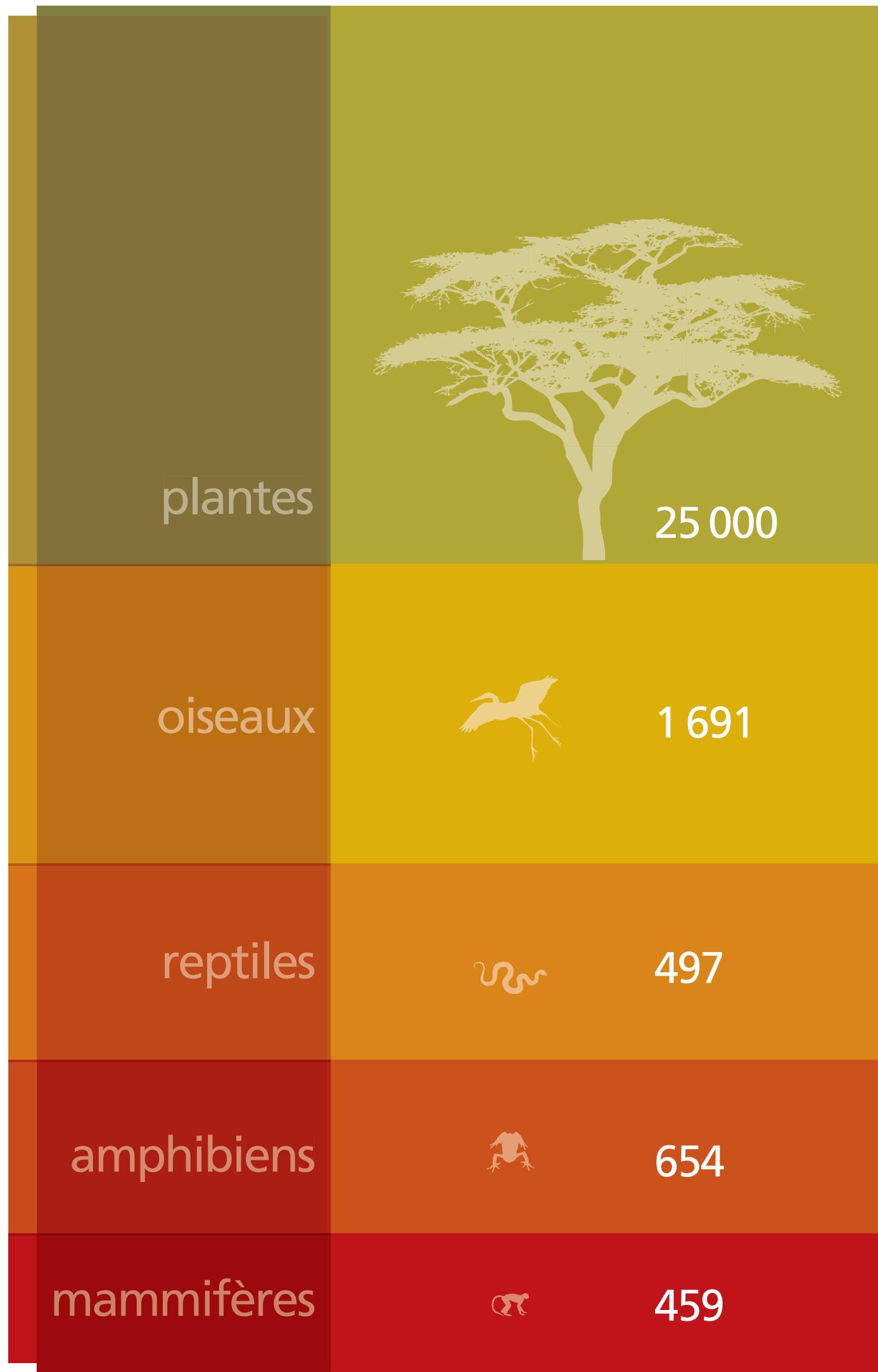
A light blue silhouette of a creature with eight arms and a large, rounded body, set against a dark blue background. The creature's arms are spread out, and it has a prominent head with small horns or antennae. The silhouette is centered and occupies most of the frame.

les invertébrés

probablement
plusieurs
millions

Les plantes et les vertébrés sont les espèces les plus connues du grand public. Cependant, les arthropodes (invertébrés aux segments articulés) sont les acteurs prépondérants de cette biodiversité puisqu'ils constituent actuellement 80 % des espèces décrites. Ils pourraient représenter jusqu'à 97 % de la richesse spécifique totale de notre planète¹⁹⁸.

Les nombres d'espèces cités dans cette partie ont été actualisés le 1/11/2021 à partir du site: <https://bioweb.bio>.



L'Équateur, un des 12 pays de mégadiversité dans le monde

Si une grande partie de la biodiversité de l'Équateur est due à la diversité de la forêt tropicale amazonienne, ce pays profite également d'une position géographique privilégiée. En effet, le territoire équatorien inclut trois régions biogéographiques majeures en termes de biodiversité : le bassin amazonien, la région Tumbes-Chocó-Magdalena (s'étendant du sud de l'Amérique centrale à l'extrême-nord du Pérou) et les Andes tropicales. Les recherches entreprises au niveau mondial ont classé les Andes tropicales comme première région de la planète en termes de nombre d'espèces végétales et animales et de taux d'endémismes élevés¹²⁷⁻¹²⁹. La région Tumbes-Chocó-Magdalena abrite également une grande diversité d'espèces et d'écosystèmes singuliers, comme la forêt la plus humide du monde ou les dernières forêts tropicales sèches côtières en Amérique du Sud¹³⁰⁻¹³¹. C'est ainsi que l'Équateur, avec d'autres États qui présentent une biodiversité plus grande que la majorité des pays tempérés, ont été qualifiés de pays « mégadiversifiés »¹³². À la suite de la conférence de Cancún, au Mexique, en février 2002, 12 pays détenant 70 % de la biodiversité mondiale ont adopté une déclaration spécifiant la création d'un groupe de pays riches en biodiversité partageant les mêmes engagements¹³³. Ce groupe fut conçu comme un dispositif de consultation et de coopération visant à promouvoir leurs intérêts et leurs priorités en matière de préservation et d'utilisation durable de la diversité biologique¹³⁴. Ce chapitre illustre les raisons pour lesquelles l'Équateur appartient à ce groupe. Même s'il est le plus petit pays de cet ensemble, il abrite à lui seul plus d'espèces végétales que certains États à la superficie trente fois supérieure¹³⁵. Il présente en outre, pour de nombreux groupes, la plus forte densité de diversité animale et végétale au monde¹³⁶.

Combien y a-t-il d'espèces en Équateur ?

La connaissance du nombre d'espèces constitue un préalable essentiel pour traiter certaines questions liées à la fonction des écosystèmes et à leur évolution, de même que pour identifier les priorités en termes de conservation¹³⁷⁻¹³⁸. Cependant, c'est un travail limité dans le temps et dont le compte à rebours s'accélère au fur et à mesure que les perturbations humaines augmentent¹³⁹. Dans les écosystèmes mégadiversifiés de l'Équateur, la réponse à cette question suppose que les scientifiques puissent faire face à deux défis majeurs : l'échantillonnage et l'identification des espèces. Premièrement, étant donné la quantité considérable d'espèces différentes, il est impossible de faire des inventaires complets dans un délai raisonnable pour de nombreux groupes¹⁴⁰. De plus, l'échantillonnage peut être rendu plus complexe dans le cas d'espèces nocturnes ou rares¹⁴¹⁻¹⁴², d'espèces cryptiques, d'espèces vivant dans la canopée¹⁴⁴⁻¹⁴⁵, dans le sol¹⁴⁶ ou dans l'eau¹⁴⁷. La taille des échantillonnages étant la plupart du temps insuffisante, les scientifiques ont recours à des méthodes mathématiques sophistiquées pour évaluer la biodiversité, et les activités d'inventaire de la biodiversité vont donc bien au-delà du simple dénombrement d'espèces¹⁴⁸⁻¹⁵¹. Deuxièmement, l'identification des espèces en Équateur constitue souvent un exercice compliqué, plus encore en l'absence de littérature taxonomique fiable¹⁵²⁻¹⁵³. Dans le groupe spécifique des insectes, une grande proportion d'espèces collectées dans les pays tropicaux est souvent composée d'espèces nouvelles pour la science. À titre d'exemple, ce sont environ 2 300 nouvelles espèces de scarabées (*Coleoptera*) qui sont décrites chaque année au niveau mondial depuis 1979, principalement en provenance des forêts tropicales humides¹⁵⁴. Au cours des dernières décennies, les progrès scientifiques réalisés

L'Équateur présente la plus forte densité de diversité animale et végétale au monde.

dans la résolution des problèmes d'échantillonnage et d'identification ont toutefois permis d'augmenter considérablement nos connaissances sur la diversité des espèces et leur répartition en Équateur. De 10 % à 15 % des plantes qui ont été répertoriées dans les 80 volumes de la *Flora del Ecuador Series* sont des espèces nouvelles. Le nombre d'espèces décrites récemment est impressionnant, non seulement dans le cas des invertébrés¹⁶²⁻¹⁶³ et des plantes^{155-161, 614}, mais aussi chez les vertébrés et les reptiles¹⁶⁴⁻¹⁶⁷. La diversité des espèces d'amphibiens a augmenté de 50 %¹⁶⁸ depuis 1985, et une quantité importante de nouvelles espèces ont été décrites en Équateur ces cinq dernières années^{144, 169-178}. Plus de 230 espèces d'oiseaux ont été ajoutées à la liste nationale d'oiseaux depuis 1970⁵². Dans le cas des mammifères, toutes les espèces vivant sur la planète sont généralement supposées connues des scientifiques¹⁷⁹. C'est cependant loin d'être le cas, non seulement en Équateur où on a recensé de nombreuses espèces nouvelles au cours de la dernière décennie (surtout des chauves-souris¹⁸⁰⁻¹⁸⁶, des rongeurs^{73, 187}, des marsupiaux¹⁸⁸), mais également au niveau mondial, avec 408 nouvelles espèces de mammifères décrites depuis 1993¹⁸⁹ (10 % de la faune connue préalablement). En Équateur, le versant oriental des Andes, à environ 2000 m d'altitude, présente une zone forestière de 1 500 km de long qui est une *terra incognita* pour les mammifères⁷³. On y recense fréquemment de nouvelles espèces et/ou de nouvelles aires de répartition^{188, 190-191}.

Des outils moléculaires pour évaluer la biodiversité

La plupart des études moléculaires qui ont essayé d'estimer la biodiversité dans les régions tropicales sont arrivées à la conclusion que la biodiversité y est plus importante que ce que l'on croyait initialement.

Ces dernières décennies, le développement des outils moléculaires a révolutionné notre connaissance de la diversité spécifique dans les zones tropicales et le reste du monde. Ces outils fournissent de précieuses informations sur la diversité spécifique en détectant les variations au niveau de l'ADN. Ces techniques ont ainsi été utilisées pour une grande variété d'espèces, depuis les champignons microscopiques jusqu'aux grands mammifères¹⁹². Dans le cas des invertébrés, la plupart des études moléculaires qui ont essayé d'estimer la diversité dans les régions tropicales sont arrivées à la conclusion que les tropiques ont une biodiversité plus importante que ce que l'on croyait initialement. En effet, une grande part de cette diversité est composée d'espèces dites « cryptiques » qui ne peuvent pas être distinguées des autres espèces sans une analyse génétique¹⁹³. On a démontré par exemple que le papillon *Astrartes fulgurator*, qui était considéré comme une seule espèce dans son aire de répartition néotropicale, est en fait un complexe d'au moins dix espèces¹⁹⁴. Ces papillons ont des chenilles qui se nourrissent de plantes assez différentes ; les chenilles sont caractéristiques et ont des habitats différents, mais en tant qu'adultes leurs différences sont infimes. En ce qui concerne les batraciens, leur identification a fait l'objet de progrès similaires¹⁹⁵.

Les outils moléculaires ont donc permis aux scientifiques d'avoir accès à la diversité intra-spécifique des organismes vivants, avec des conséquences non seulement en termes d'inventaire de la biodiversité, mais également en termes de conservation. En effet, pour développer des stratégies de conservation appropriées, il est d'important d'identifier de nouvelles espèces ou sous-espèces dont la composition génétique est différente de celle de leurs congénères plus abondants¹⁹⁶. Un exemple frappant est celui du cormoran aptère, oiseau endémique des îles Galápagos (cf. page 169). Près de 1 800 cormorans se répartissent sur moins de 400 km de côtes dans seulement deux îles : Isabela et Fernandina, distantes de moins de 5 km dans la partie la plus étroite. Des études moléculaires ont révélé que l'absence de vol peut limiter le mouvement des individus entre les colonies de sorte qu'ils deviennent génétiquement différenciés¹⁹⁷. Par conséquent, les populations de cormorans doivent être gérées au moins comme deux populations génétiques pour mieux préserver la diversité génétique au niveau de l'espèce. En raison de la faible taille de la population et de la répartition géographique limitée, il est toutefois important de conserver toutes les colonies productives.



LES PLANTES

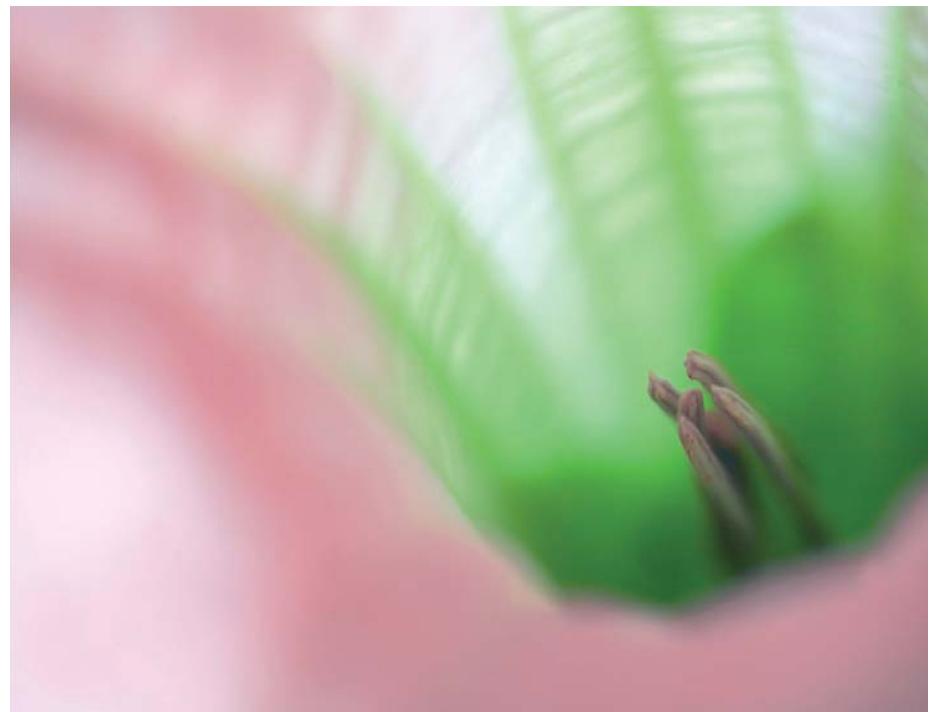
Plus de 25 000 espèces de plantes sont recensées en Équateur, soit environ 10 % de toutes les plantes connues dans le monde. Sur une surface 90 fois plus petite, l'Équateur héberge 1,5 fois plus d'espèces que toute l'Amérique du Nord¹⁹⁹.



Fromager (*Ceiba pentandra*) – Parc national Yasuní

Dans les forêts tropicales, les arbres présentant des stratégies écologiques différentes interagissent avec leur environnement et permettent la coexistence d'une grande diversité d'espèces. Dans le parc national Yasuní, sur une surface qui représente environ 34 terrains de football (25 ha), on a recensé plus de 1 100 espèces d'arbres, plus que dans tous les États-Unis et le Canada réunis²⁰³. Parmi eux, les fromagers sont des arbres géants et de croissance rapide qui peuvent atteindre jusqu'à 50 m de haut.





De haut en bas :
Trompette des anges (*Brugmansia aurea*)
Quito

Ñachak (*Bidens triplinervia*)
Parc national du Cotopaxi

Ipomée (*Ipomoea* sp.) – Pifo

À gauche de haut en bas :

Fleur araignée (*Tibouchina lepidota*)
Réserve de Maquipucuna

Sauge (*Salvia quitensis*)
Réserve géobotanique de Pululahua

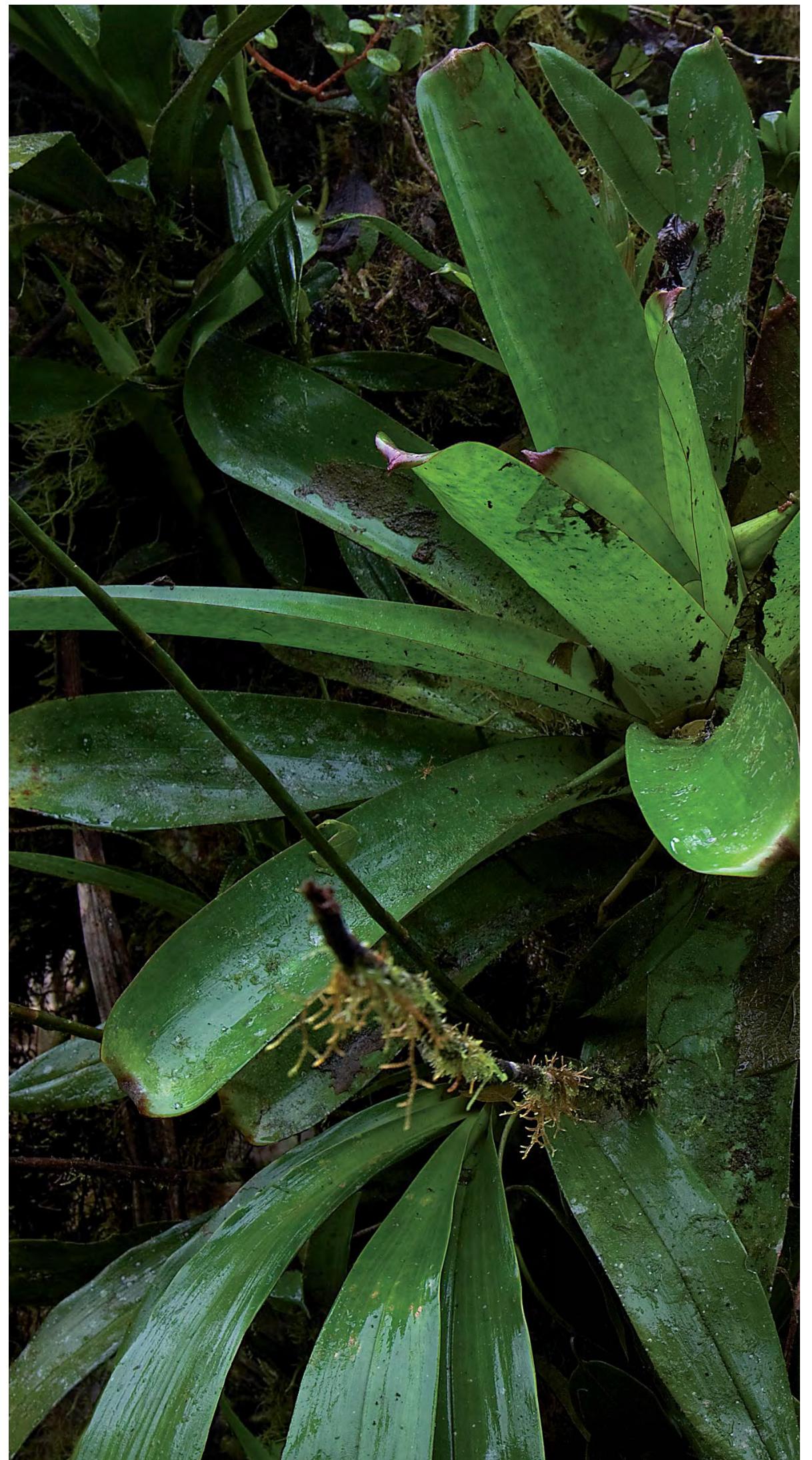
Les plantes à fleurs (Angiospermes) de l'Équateur présentent une grande variété de formes, de couleurs, de stratégies écologiques et de répartition^{107, 204}. Aux deux extrêmes, on peut retenir *S. quitensis*, une espèce endémique dont la répartition se limite à quelques lieux en Équateur, et *B. triplinervia*, qui a colonisé une grande variété d'habitats néotropicaux, grâce à ses graines qui s'accrochent aux vêtements, aux poils ou aux plumes.



En Équateur, les forêts tropicales de montagne, caractérisées par leur climat humide, abritent une impressionnante diversité d'épiphytes comme les broméliacées et les orchidées. On a répertorié jusqu'à 98 espèces différentes d'épiphytes sur un même arbre⁶⁶.

Orchidées (*Oncidium cirrhosum*) et bromélias – Réserve de Bellavista, forêt de nuages

L'incroyable richesse spécifique des orchidées provient de leur habitat principalement arboricole. Sur 25 000 espèces d'orchidées actuellement connues, plus de 70 % vivent dans la canopée²⁰⁶. L'Équateur abrite plus de 4 000 espèces, soit environ 60 % de la diversité des orchidées recensées en Amérique du Sud. Cette famille est la plus diverse de la flore équatorienne et elle comporte une forte proportion (40 %) d'espèces endémiques⁷⁷.







(88) Palo santo (*Bursera graveolens*) – Parc national des Galápagos - île Isabela

La diversité végétale dans l'archipel équatorien des Galápagos est, comme sur le continent, fortement influencée par l'altitude. La végétation se répartit depuis la zone littorale, principalement colonisée par des espèces tolérantes au sel, jusqu'aux zones arides d'altitude, à plus de 300 m, où se développent des espèces tolérantes à la sécheresse²⁰⁷.

Grâce à des processus de coévolution, la pollinisation par les animaux a joué un rôle prépondérant dans la diversification des plantes²⁰⁸.



Chuquiragua (*Chuquiraga jussieui*) et colibri du Chimborazo (*Oreotrochilus chimborazo*)
Réserve écologique de l'Antisana

(89)

La pollinisation par les colibris au cours de l'évolution de plusieurs espèces de plantes néotropicales a eu pour conséquence une augmentation du taux de spéciation²⁰⁹. Des études génétiques ont montré que certains groupes pollinisés par les colibris comprennent plus d'espèces que les groupes pollinisés par les insectes, suggérant ainsi que ces oiseaux ont joué un rôle clé dans la diversification de la flore néotropicale²¹⁰.

LES INVERTÉBRÉS

La diversité spécifique des invertébrés n'est pas précisément connue en Équateur, mais elle est probablement très élevée.

Les invertébrés représentent près de 99 % de la vie animale sur la planète, ce qui correspond à des millions d'espèces. On évalue entre 4 et 6 millions le nombre d'espèces d'insectes, dont 80 % n'ont pas encore été décrites. Des espèces identifiées, on ne connaît souvent que le nom scientifique et peu de chose de leur biologie/écologie¹⁷⁹.

Criquet juvénile (*Caelifera*) – Réserve intégrale d'Otonga

Notre connaissance de la diversité spécifique des insectes équatoriens en est à ses débuts¹⁶². Les criquets en sont un exemple, puisque seulement 216 espèces ont été identifiées en Équateur, soit probablement un tiers ou même un cinquième des espèces existantes²¹¹. Les scientifiques découvriront sans doute de nombreuses autres espèces en Équateur et dans d'autres régions tropicales. Une étude entreprise sur les orthoptères de la canopée de la forêt tropicale humide de Bornéo a révélé que 96 % des espèces recensées étaient nouvelles pour la science²¹².





Sauterelle feuille (*Typophyllum* sp.) – Réserve de Siempre Verde

À l'instar de nombreux autres groupes d'insectes, la grande diversité des sauterelles en forêt s'explique en partie par des préférences d'habitats très spécialisées. Certaines espèces ne se rencontrent que dans les parties supérieures de la canopée, d'autres à la surface de la canopée et d'autres dans le feuillage. Certaines espèces sont dépendantes de certaines lianes et épiphytes, alors que d'autres sont caractéristiques du tronc ou des branches. D'autres encore vivent uniquement dans les palmiers²¹³.

Un seul arbre dans la forêt amazonienne orientale peut abriter jusqu'à **48** espèces de fourmis, une diversité analogue à toutes les espèces de fourmis natives des îles Britanniques²¹⁴.



Fourmi (*Crematogaster* sp.) sur une broméliacée – Réserve de Maquipucuna

Les fourmis sont les arthropodes dominants dans la canopée de la forêt tropicale, tant sur le plan de l'abondance que sur celui de la biomasse. De nombreuses espèces de fourmis sont associées à des épiphytes qui leur fournissent du nectar. En retour, les fourmis dispersent leurs graines²¹⁵. Au niveau mondial, l'association entre les arthropodes et les plantes épiphytes est très répandue dans les forêts tropicales. À Bornéo, on peut rencontrer jusqu'à 60 000 insectes dans une seule grande épiphyte, *Asplenium nidus*, ce qui représente une masse d'invertébrés similaire à celle rencontrée dans le reste de la couronne de l'arbre où pousse cette épiphyte²¹⁶.





Membracide (*Alchisme tridentata*) – Mindo

On a dénombré plus de 3 300 espèces de Membracides (famille *Membracidae*) dans le monde, la plus grande diversité se concentrant dans les zones néotropicales²¹⁹. Des études révèlent que la diversité des Membracides diminue avec la latitude depuis la ligne équinoxiale jusqu'au Mexique, l'Équateur représentant un des pays les plus riches en espèces de cette famille²²⁰. Leur diversité se reflète dans la variété des formes et des couleurs du *pronotum*, segment placé derrière la tête dont la fonction n'a pas été élucidée²²¹.

À gauche :

Punaise (*Pentatominae*) – Parc national Yasuní

La majorité des insectes qui vivent dans les forêts tropicales humides sont herbivores. Aussi, la grande diversité des insectes rencontrés dans ces forêts semble être directement fonction de la diversité végétale²¹⁷. La découverte de la possibilité d'estimer la diversité spécifique des insectes herbivores à partir de la diversité végétale a constitué un grand pas pour évaluer la diversité des insectes à l'échelle mondiale²¹⁸.



En un seul jour dans une forêt humide équatorienne, on peut observer plus d'espèces de papillons que durant toute une vie dans les zones tempérées¹⁷⁹. On estime que l'Équateur abrite environ 7 000 espèces de papillons²²².



À gauche : Détail des ailes du papillon chouette (*Caligo* sp.)
Parc national Yasuní

Les papillons néotropicaux se caractérisent par une grande diversité géographique et par la variété des dessins alaires. Des espèces très proches sont identifiables en partie par de petites différences de motifs ou de couleurs sur les ailes²²⁴. Ces motifs étaient déjà reconnus au XIX^e siècle comme « l'histoire et l'écologie écrites en lettres capitales sur les ailes déployées »²²³.



Détail de l'aile d'un papillon de nuit (*Automeris amanda suboscuro*)
Réserve de la forêt de nuages de Bellavista

Bien que les Saturniidae soient parmi les papillons les plus grands et les plus spectaculaires, leur diversité en Équateur est faible (environ 320 espèces²²⁵) comparée à celle des autres familles de papillons de nuit. Dans le sud de l'Équateur, dans une forêt de montagne de 4 000 ha, des chercheurs ont estimé à plus de 1 500 le nombre d'espèces d'une autre famille de papillons de nuit, les Geometridae, ce qui correspond à 7 % des espèces décrites dans le monde²²⁶.



Mygale maçonne (*Idiophthalma* sp.) – Guápulo

Jusqu'à présent, environ 35 000 espèces d'araignées ont été décrites dans le monde. Cependant, la diversité des araignées en Équateur est pratiquement inconnue, même si de nombreuses espèces ont été récemment décrites^{619,621}. Les araignées se rencontrent dans plusieurs habitats et vivent dans des conditions bien déterminées^{227, 622}. Cette tarentule de 15 mm de long vit par exemple dans des galeries souterraines recouvertes de toile. Il est probable que l'ensemble des différents habitats en Équateur abrite une extraordinaire diversité d'araignées.

À droite :

Machaon (*Papilio* sp.) – Réserve intégrale d'Otonga

Les papillons de jour constituent le groupe d'insectes le mieux connu en Équateur. On évalue à environ 2 700 les espèces de Papilionoidea, soit 50-55 % de toutes les espèces de papillons néotropicaux et 25 % des espèces recensées au niveau mondial²²⁸. Dans une forêt tropicale de 500 ha au sein de la province de Sucumbíos, on a recensé plus d'espèces de papillons (676) que dans toute l'Amérique du Nord²²⁹.





Bernard-l'hermite (*Coenobita* sp.) – Mompiche

(100)

En Équateur, peu d'études ont été réalisées sur la biodiversité marine²³⁰. Par conséquent, la diversité de groupes entiers d'invertébrés tels que les crustacés et les mollusques (qui comportent plus de 100 000 espèces dans le monde) est pratiquement inconnue dans ce pays. L'évaluation de cette diversité est rendue difficile en partie par la difficulté d'échantillonner les fonds marins où vivent la majorité des espèces²³¹.



Rencontrer un péripate vivant est le rêve de nombreux naturalistes. Ce furent probablement les premiers animaux à marcher sur terre et ils constituent des « fossiles vivants » dans le sens où ils ont peu évolué au cours des 500 derniers millions d'années²³².

Péripate (Peripatidae) – Guápulo

Les péripates comprennent environ 150 espèces dans le monde et ils sont parmi les rares invertébrés à avoir donné lieu à la création d'une réserve naturelle²³³. L'histoire étonnante de leur évolution et leur physiologie particulière en font, sans aucun doute, des espèces « phares » parmi les centaines de milliers d'invertébrés du sol recensés dans les pays tropicaux mégadiversifiés. La plupart des petites espèces d'acariens, cloportes, collemboles, scolopendres, lombrics, vers plats et nématodes n'ont pas été décrites, faisant du sol un immense réservoir potentiel de biodiversité²³⁴.

LES AMPHIBIENS

Environ **654** espèces d'amphibiens ont été recensées en Équateur, ce qui représente près de **8 %** de tous les amphibiens de la planète.

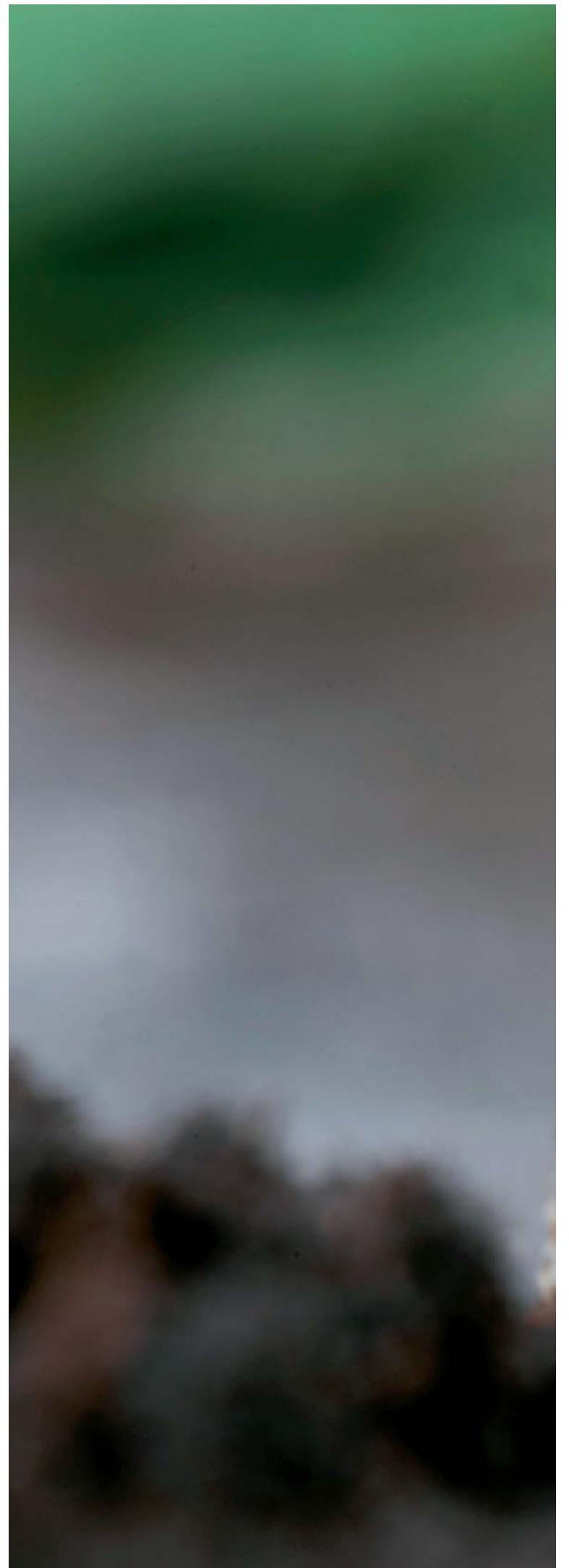
La densité de diversité de ce groupe y est la plus élevée au monde.

Ces dix dernières années, ce sont près de **200** nouvelles espèces qui ont été répertoriées pour l'Équateur²⁰⁰.

Grenouille cornue (*Ceratophrys stolzmanni*)

Province du Guayas

En Équateur, les régions les plus pauvres en amphibiens correspondent aux habitats arbustifs et forestiers secs de la côte sud, où seulement 26 espèces ont été recensées à ce jour¹⁷⁵. Toutefois, les espèces limitées aux habitats secs constituent une herpétofaune très particulière. C'est le cas de la grenouille cornue *C. stolzmanni*, qui fait partie de la liste rouge de la CITES. Répartie sur moins de 20 000 km², cette espèce est classée comme « vulnérable »²³⁵.









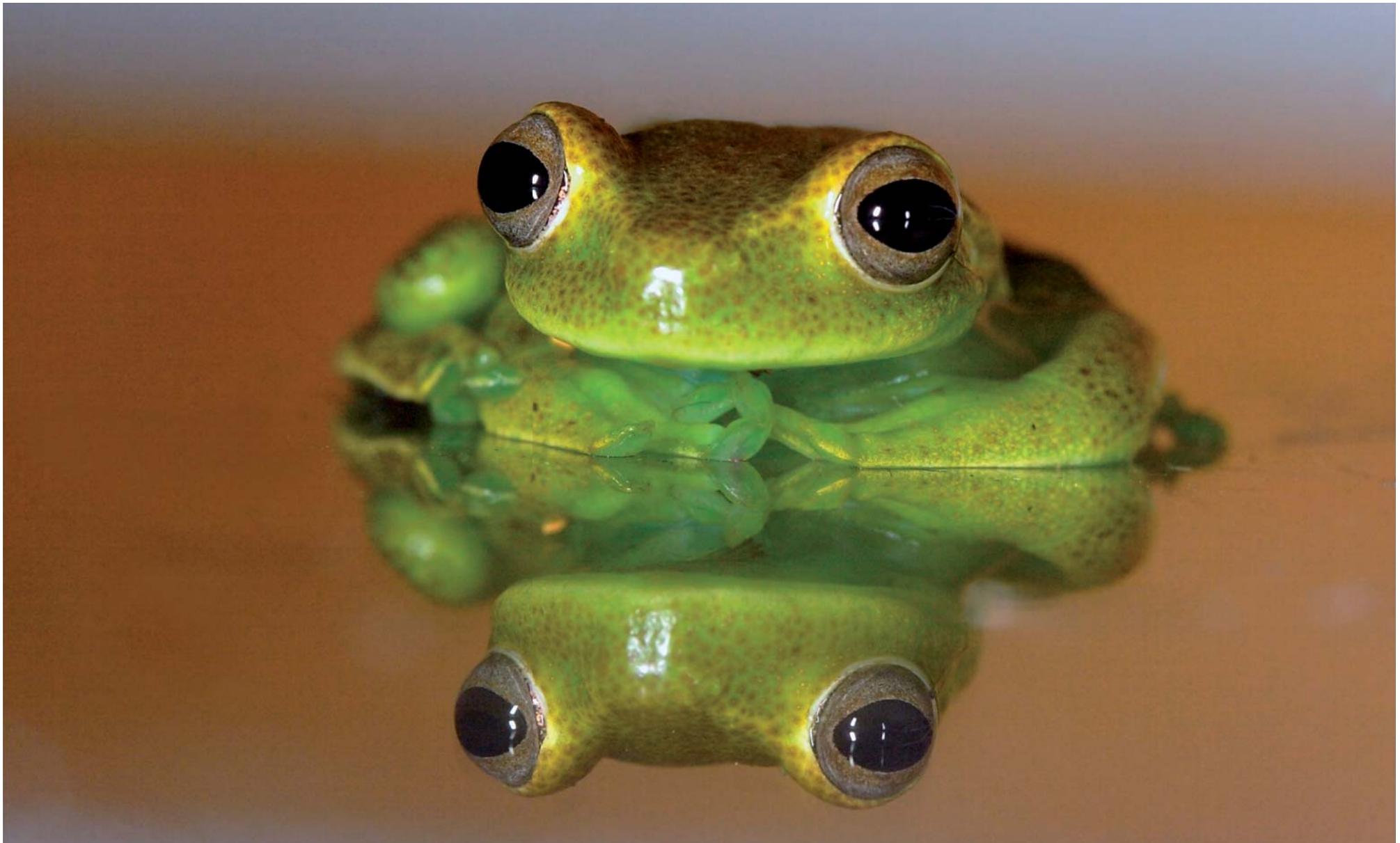
Grenouilles cornues : *Ceratophrys cornuta* – Parc national Yasuní

À gauche :

Ceratophrys stolzmanni – Province du Guayas

Bien qu'elles ne comprennent que six espèces, les grenouilles cornues sont un bon exemple de la grande variété écologique et morphologique que l'on peut rencontrer chez un seul genre. *C. cornuta* est une grenouille de forêt humide avec une grande aire de répartition. Ses paupières sont dotées de cornes allongées et leur couleur est étonnamment constante dans toute son aire de répartition²³⁶. En revanche, *C. stolzmanni* vit dans des habitats secs, ne possède pas de cornes et présente une grande diversité de couleurs (voir le morphe vert de la page précédente). Les couleurs brillantes qui apparaissent lorsqu'elles ouvrent la bouche constituent un signal aposématique pour les prédateurs²³⁷.





Les données moléculaires utilisées pour distinguer les espèces d'amphibiens morphologiquement analogues révèlent que parmi les amphibiens tropicaux, on peut s'attendre à rencontrer jusqu'à 115 % d'espèces supplémentaires¹⁹⁵.

Grenouille arboricole (*Hyaloscirtus alytolylax*) – Réserve intégrale d'Otonga
Quatre-vingts espèces de grenouilles arboricoles (famille Hylidae) ont été recensées en Équateur et jusqu'à 49 espèces ont été dénombrées dans une seule localité en Amazonie²³⁸. *H. alytolylax* se rencontre sur le versant Pacifique des Andes depuis le sud de la Colombie jusqu'à l'ouest de l'Équateur entre 500 et 2000 m d'altitude. Depuis 2004, cette espèce figure parmi les espèces menacées sur la liste rouge de l'UICN. Elle peuple les ruisseaux d'eau douce qui sont en déclin, d'où son classement parmi les espèces « vulnérables »²³⁹.

À gauche :

Crapaud commun (*Rhinella margaritifera*) – Parc national du Sangay
L'utilisation croissante des données moléculaires a confirmé que la diversité des amphibiens est souvent cryptique, c'est-à-dire que de nombreuses espèces ne peuvent être distinguées sans analyse génétique. C'est le cas de l'espèce *R. margaritifera*, qui pourrait représenter un ensemble de 11 espèces dans son aire de répartition en Amazonie²⁴⁰. En raison de cette sous-estimation du nombre d'espèces, la baisse générale des amphibiens observée principalement dans les pays néotropicaux pourrait s'avérer plus importante que prévue¹⁹⁵.



À droite :

Grenouille de cristal
(*Espadarana prosoblepon*)

Réserve intégrale d'Otonga

Les grenouilles de cristal (famille des Centrolenidae) comprennent actuellement plus de 150 espèces identifiées. Originaires d'Amérique du Sud, elles sont endémiques de la région néotropicale. Leur aire de répartition s'étend du Mexique à la Bolivie, avec un groupe isolé dans le sud-est du Brésil et le nord-est de l'Argentine²⁴¹. On a recensé jusqu'à maintenant 60 espèces en Équateur, telle *E. prosoblepon*²⁴². Le nombre d'espèces de grenouilles de cristal est très instable, en raison des espèces nouvelles qui s'ajoutent chaque année. La majorité des genres de grenouilles de cristal se trouvent dans des régions biogéographiques spécifiques, ce qui confirme l'importance de la géographie dans la spéciation de ces amphibiens²⁴³.

À gauche :

Grenouille de cristal
(*Chimerella mariaelenae*)

Parc national du Sangay



LES REPTILES*⁶²⁴

Environ **488** espèces de reptiles ont été dénombrées en Équateur, dont la moitié sont des serpents²⁰¹. Depuis 1900, 13 nouvelles espèces en moyenne sont recensées chaque décennie grâce à l'exploration de nouvelles régions ou à des études réalisées sur des spécimens conservés dans des musées. Cette tendance pourrait se poursuivre dans les prochaines années²⁰².





* Il est toujours d'usage dans la langue quotidienne de classer les serpents, les lézards ou les tortues comme « reptiles » mais aux yeux des méthodes phylogénétiques modernes ce mot n'a plus la valeur de taxon qu'il avait auparavant dans la classification classique.

Serpent arboricole
(*Imantodes inornatus*)
Esmeraldas

La diversité des serpents dans les régions tropicales chaudes est élevée, surtout dans les forêts humides de plaine. On a dénombré jusqu'à 88 espèces dans une seule localité en Amazonie péruvienne²⁴⁴. Plusieurs espèces néotropicales comme celles du genre *Imantodes* se sont probablement diversifiées depuis le sud de l'Amérique centrale et le nord de l'Amérique du Sud et ont ensuite colonisé d'autres régions²⁴⁵.



Iguane vert (*Iguana Iguana*) – Mompiche

Parmi les reptiles, l'ordre des Squamates comprend les lézards, les serpents et les amphisbènes. Les Squamates se divisent en deux principaux groupes selon leur morphologie : les lézards du type iguanes et toutes les autres espèces. Une étape importante de l'évolution entre les deux groupes est marquée par le passage de la langue préhensile des iguanes à la denture des autres lézards et serpents, utilisée pour attraper des proies. Cette évolution morphologique leur a permis de s'attaquer à une variété de proies qui ne sont pas accessibles aux iguanes, avec pour conséquence une plus faible diversification des lézards du type iguanes, qui ne représentent aujourd'hui qu'un cinquième des espèces de lézards²⁴⁷.

En bas :

Iguane nain (*Enyalioides oshaughnessyi*)

Réserve intégrale d'Otonga

La plupart des lézards rencontrés sur un versant des Andes équatoriennes diffèrent de ceux qui peuplent l'autre versant. En Équateur, il existe 12 espèces d'iguanes nains (Hoploceridae)²⁴⁸ ; huit d'entre elles se trouvent uniquement à l'est des Andes, alors que les quatre autres – comme *E. oshaughnessyi* – ne se rencontrent que dans les forêts tropicales et subtropicales de l'Ouest. Une espèce nouvelle a été découverte récemment en Équateur¹⁶⁷, et probablement deux autres en Bolivie et au Pérou²⁴⁹.

À gauche :

Basilic de l'Ouest (*Basiliscus galeritus*)

Réserve de Maquipucuna

La forêt du Chocó contribue de façon significative à l'extraordinaire biodiversité équatorienne. Cette région abrite une des quatre espèces vivantes de lézard basilic, renommé pour sa capacité à courir sur l'eau. Ces lézards sont principalement répartis en Amérique centrale, où ils se sont probablement diversifiés avant de coloniser le nord de l'Amérique du Sud²⁴⁶.







Serpent chat (*Leptodeira septentrionalis*) – Guayas

Les forêts côtières équatoriennes, qui abritent les serpents chats, sont un des écosystèmes les plus menacés au monde : il ne subsiste que 2 % de la forêt primitive²⁵⁴. On dispose de peu d'informations sur la répartition, l'abondance et les populations de reptiles dans ces zones ; seule une des 48 espèces de reptiles recensées dans cette région a été évaluée par l'UICN²⁵⁵. Cependant, dans le cas spécifique de *L. septentrionalis*, la conservation de l'espèce pose peu de problème car elle s'adapte à des zones d'activités humaines.

À gauche, en haut :

Vipère à fosse (*Bothrops taeniatus*) – Parc national Yasuní

À gauche, en bas :

Fer de lance (*Bothrops asper*) – Réserve intégrale d'Otonga

Les vipéridés des genres *Bothrops* et *Bothrocophias* représentent 44 espèces parmi lesquelles douze vivent en Équateur²⁵⁰. La taxonomie est fortement contestée et il a récemment été proposé de diviser le genre *Bothrops* (36 espèces) en plusieurs genres²⁵¹. Pourquoi est-ce important ? Dans l'ouest de l'Équateur, *B. asper* est responsable de 80 % des morsures de serpents²⁵² et en Amazonie, *B. atrox* est à l'origine de 60 % des morsures²⁵³. Étant donné que la composition du venin de chaque espèce est partiellement liée à leur position phylogénique, un système taxonomique basé sur l'évolution des espèces de *Bothrops* peut aider à la production de sérums antivenins et au traitement des envenimations²⁵¹.

LES OISEAUX

On a dénombré environ **1 691** espèces d'oiseaux en Équateur, soit plus de la moitié de toutes les espèces rencontrées en Amérique du Sud. Une telle diversité dans un pays aussi petit est unique au monde⁵².

Chouette des terriers (*Athene cunicularia pichincha*) – Pifo

Jusqu'à maintenant, on a recensé 28 espèces de hiboux et chouettes en Équateur, avec une grande diversité observée dans les forêts de plaine. Ces rapaces, principalement nocturnes, se rencontrent dans une grande variété d'habitats, depuis les îles Galápagos jusqu'aux *páramos* andins. Ces oiseaux sont souvent classés en différentes sous-espèces parfois séparées géographiquement, ce qui augmente le degré de diversité. Par exemple, en Équateur, on trouve deux sous-espèces de chouette des terriers, la race des montagnes, *pichincha*, et la race des plaines du sud-ouest, plus pâle et plus petite, *punensis*⁵².





En haut :
Grallaire ocrée (*Grallaricula flavirostris*) – Nanegalito

En bas :
Grallaire à poitrine jaune (*Grallaria flavotincta*) – Nanegalito



À droite :
Grallaire géante (*Grallaria gigantea*) – Nanegalito

Parmi les oiseaux les plus recherchés, par les ornithologues, les *Grallarias* et les *Grallariculas* appartiennent à la famille des Grallariidae, récemment reconnue²⁵⁶. Cette famille comprend quelque 50 espèces, dont 23 vivent en Équateur. Ces oiseaux présentent leur plus grande diversité dans les forêts humides d'altitude moyenne situées dans le nord et le centre des Andes²⁵⁷. La plupart des espèces vivent en forêt et passent inaperçues tant elles sont discrètes. Cinq espèces de *Grallarias* et de *Grallariculas* ont été ajoutées à la liste des oiseaux recensés en Équateur depuis 1970⁵². Parmi eux, la grallaire jocotoco, qui a été découverte dans le sud de l'Équateur en 1997²⁵⁸.





(120)

Huîtrier d'Amérique (*Haematopus palliatus galapagensis*)

Parc national des Galápagos-île de Santa Cruz

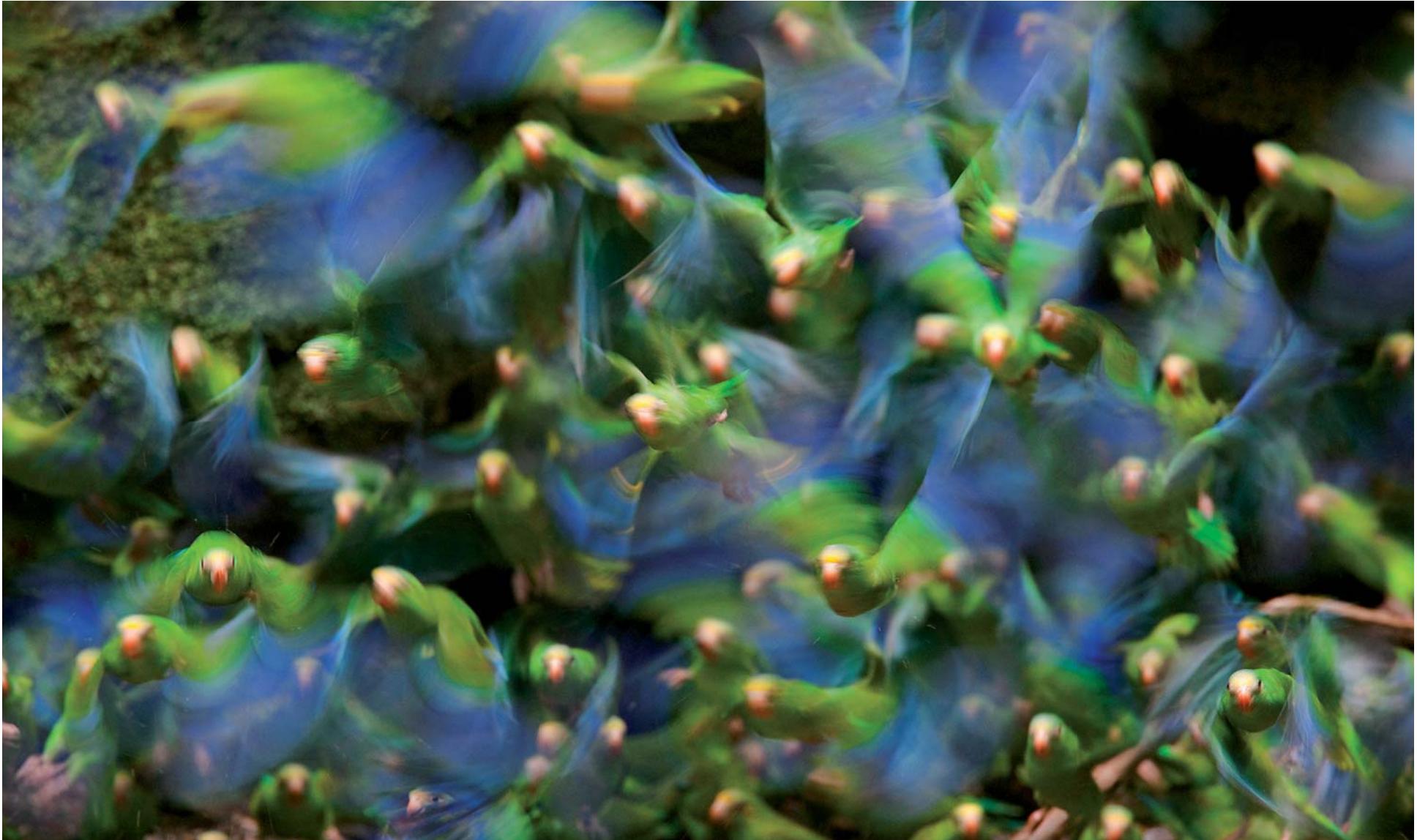
Dans les îles Galápagos, la diversité des oiseaux est assez faible comparée à celle de zones de dimension égale en Équateur, avec seulement 88 espèces résidentes ou de passage. Cependant, avec deux genres endémiques, l'avifaune des Galápagos présente un endémisme plus élevé que n'importe quel autre archipel, soit 26 % d'endémisme au niveau des espèces et 58 % au niveau des sous-espèces (telles que l'huîtrier d'Amérique)²⁵⁹.



(121)

Bécasseau de Baird (*Calidris bairdii*) – Parc national du Cotopaxi

Bien que la plupart des 223 espèces d'oiseaux aquatiques recensées en Équateur soient confinées aux 2 500 km de la côte Pacifique, y compris les îles Galápagos et les îles continentales²⁶⁰⁻²⁶¹, certaines d'entre elles, comme le bécasseau de Baird, peuvent également être rencontrées à plus de 4 000 m d'altitude.



« La première chose qui étonnerait un nouvel arrivant dans la forêt de Haute Amazonie, c'est la rareté des oiseaux : de fait, il m'arrivait souvent lors de mes explorations dans les parties les plus riches et les plus variées de la forêt de ne rencontrer aucun oiseau pendant toute une journée. Cependant, le pays est peuplé de centaines d'espèces d'oiseaux, dont beaucoup sont, en réalité, très abondantes et certaines remarquables par leurs plumages étincelants. »

Henry Water Bates, *Le naturaliste sur le fleuve Amazone*, 1892.



Ara rouge (*Ara macao*) – Parc national Yasuní

(123)

À gauche :

Perruche aux ailes couleur cobalt (*Brotogeris cyanoptera*) – Parc national Yasuní

Les perroquets néotropicaux sont au nombre de 149 sur un total de 330 espèces reconnues dans le monde²⁶². En Équateur, la plupart des 46 espèces recensées se rencontrent dans les forêts humides de plaine et certaines dans les forêts de montagne à plus de 3000 m d'altitude⁵². La diversification des perroquets en Amérique du Sud coïncide avec le soulèvement des Andes et la formation ultérieure d'habitats secs et ouverts, ce qui a pu faciliter la spéciation écologique depuis les zones ouvertes vers les zones boisées²⁶³.

Buse des Galápagos (*Buteo galapagoensis*)
et cactus géants (*Opuntia echios* var.
barringtonensis) – Parc national
des Galápagos-île de Santa Fé
76 % des 292 espèces que comptent les rapaces
diurnes dans le monde vivent principale-
ment ou uniquement sous les tropiques²⁶⁴. Sur
les 67 espèces recensées en Équateur⁵², peu
présentent une morphologie et un plumage
variables dans leur aire de répartition comme
la buse des Galápagos. En fait, la buse évite
de traverser de grandes étendues d'eau, et
ses huit populations reproductives actuelles
sont génétiquement et morphologiquement
différentes²⁶⁵⁻²⁶⁶.







Ibis à face noire (*Theristicus melanopis*) – Réserve écologique d'Antisana

(126)

À droite :

Bihoreau violacé (*Nyctanassa violacea*) – Estuaire du fleuve Muisne

Traditionnellement, tous les grands oiseaux aux pattes et bec longs associés à l'eau tels que les cigognes, les hérons, les ibis et les spatules appartiennent à l'ordre des Ciconiiformes. En Équateur, ce groupe est composé de 29 espèces vivant dans une grande diversité d'habitats, depuis les forêts de mangrove jusqu'aux *páramos* humides⁵². Récemment, des expériences pratiquées sur l'ADN des Ciconiiformes ont démenti la classification précédente basée sur la morphologie, et suggèrent que les hérons et les ibis sont plus proches des pélicans que des cigognes²⁶⁷.





Hoazin huppé
(*Opisthocomus hoazin*)

Parc national Yasuní

Les hoazins huppés présentent certaines particularités telles qu'un système digestif unique qui utilise la fermentation bactérienne pour réduire en morceaux les matières végétales qu'ils consomment²⁶⁸ et des griffes alaires dont les juvéniles se servent pour s'agripper aux branches de l'arbre de nidification²⁶⁹. La classification de cet oiseau énigmatique a laissé les biologistes perplexes depuis sa description il y a plus de 200 ans. Les hoazins furent à l'origine classés avec les gallinacés en raison de leur ressemblance avec les faisans. De récentes études moléculaires indiquent que ces oiseaux sont plus proches des coucous ou des touracos, petite famille d'oiseaux vivant en Afrique subsaharienne²⁷⁰.

À droite :

Sylphe à queue violette
(*Aglaiocercus coelestis*)

Réserve de Bellavista,
forêt de nuages

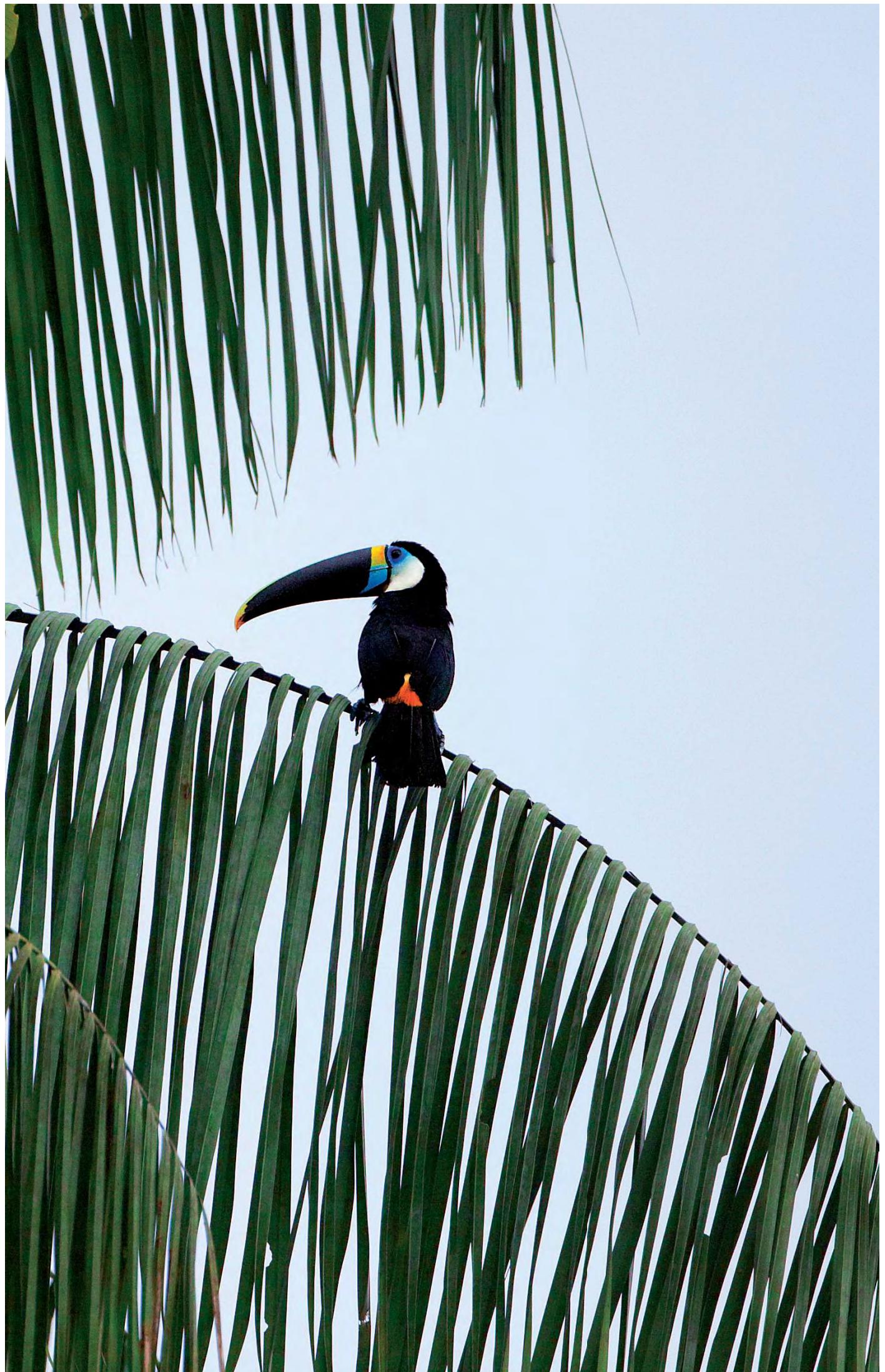
L'Équateur abrite 132 espèces de colibris regroupées en 57 genres, soit 40 % de toutes les espèces de colibris dans le monde. Les colibris sont passés par une phase de radiation évolutive exceptionnelle et ils représentent la deuxième plus grande famille d'oiseaux dans le Nouveau Monde²⁷¹. Des analyses moléculaires révèlent que les plaines d'Amérique du Sud sont probablement le lieu d'origine de ces oiseaux. Ensuite, les colibris ont colonisé des régions d'Amérique centrale et du Nord avec pas moins d'une trentaine d'événements de migration différents²⁷².

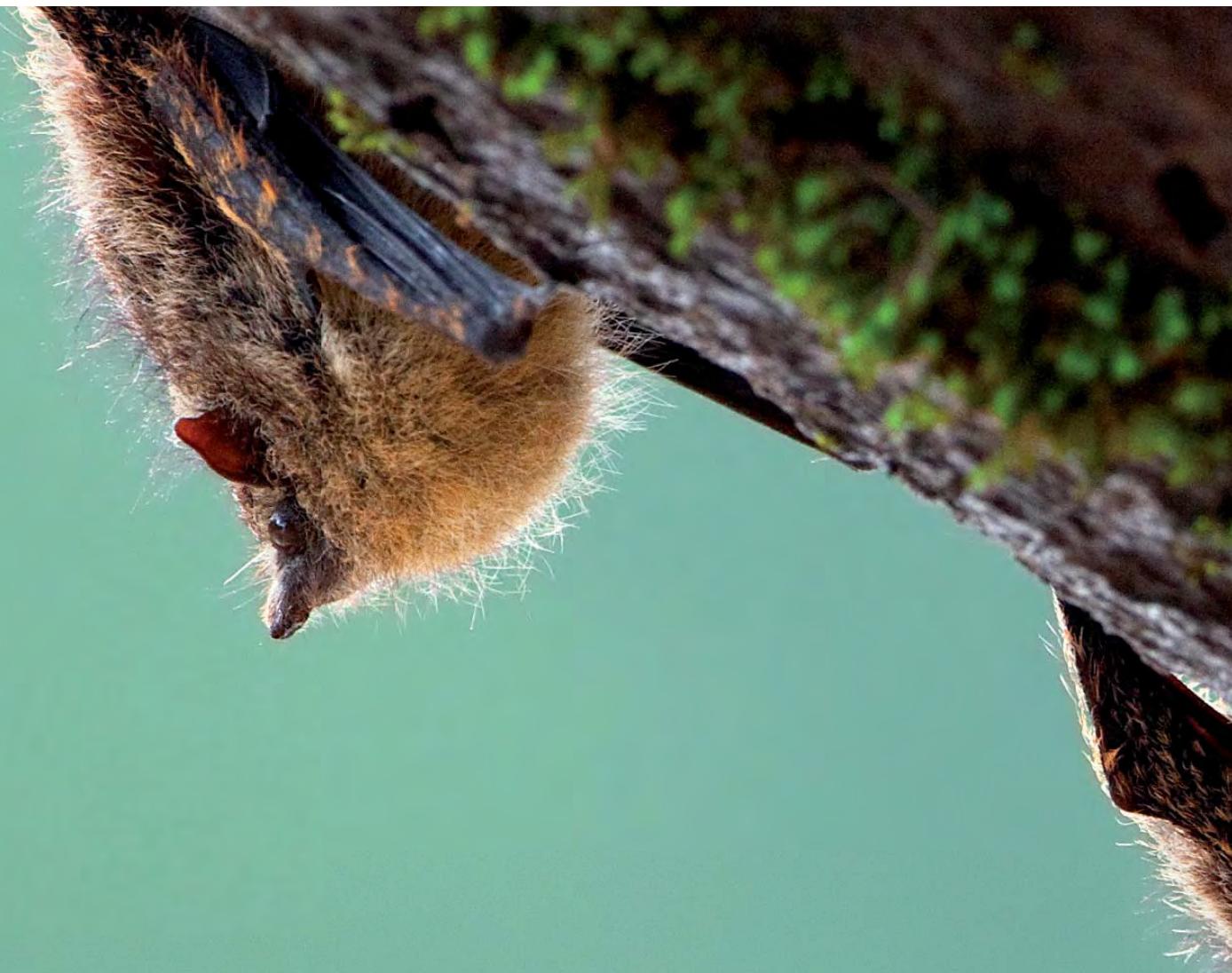


En regardant les mâles et les femelles des **132** espèces de colibris¹²⁷ présentes en Équateur, on peut penser que l'évolution a usé de toutes les combinaisons possibles de couleurs et de caractéristiques morphologiques pour des oiseaux de si petite taille.



À gauche :
Toucanet à croupion rouge
(*Aulacorhynchus haematopygus*)
Réserve de Maquipucuna
Toucan à bec rouge (*Ramphastos
tucanus*) – Parc national Yasuní
Selon la classification retenue, 35 à
40 espèces de toucans ont été identi-
fiées dans le monde, toutes endé-
miques des zones néotropicales^{271,273}.
En Équateur, 19 espèces ont été
dénombrées dans les forêts humides
de plaine et dans les forêts de monta-
gne sur les deux versants des Andes,
avec 12 espèces sur le versant est et 7
sur le versant ouest⁵². La grande diver-
sité de ces oiseaux frugivores a proba-
blement évolué en réponse à la
diversité des fruits produits dans la
canopée²⁷⁴.





LES MAMMIFÈRES

L'Équateur abrite 459 espèces de mammifères, ce qui place le pays au premier rang mondial de diversité de ce groupe par mètre carré⁵⁴.

Chauve-souris à long nez (*Rhynchonycteris naso*) – Parc national Yasuní

Après les rongeurs, les chauves-souris (ordre des chiroptères) constituent le deuxième groupe en nombre d'espèces de mammifères au niveau mondial, mais le premier en Équateur. Environ 179 espèces de chauves-souris représentent près de 40 % de la faune des mammifères en Équateur. De nouvelles espèces sont continuellement décrites ou recensées dans des régions peu explorées telles que les forêts de Chocó ou les versants des Andes^{183, 281}. On estime qu'une seule localité dans les forêts humides de l'Ouest amazonien peut abriter jusqu'à 110 espèces de chauves-souris, nombre qui dépasse tous ceux connus pour n'importe quel ordre de mammifères dans n'importe quelle autre région du monde⁶⁰⁷.





Loutre géante (*Pteronura brasiliensis*)
Parc national Yasuní

En Amazonie, jusqu'à 20 espèces de carnivores peuvent être en concurrence pour la capture de proies (incluant la compétition intraspécifique) dans la même zone ; c'est pourquoi elles ont dû développer des stratégies pour s'éviter. Celles-ci ont influé sur leur activité diurne ou nocturne, leur habitat en forêt ou dans les clairières, dans les arbres ou au sol²⁷⁵. Par exemple, chez les espèces de la famille des Mustélinés, dont sept vivent en Équateur, la compétition interspécifique est réduite entre des espèces majoritairement arboricoles ou aquatiques²⁷⁶.

En bas :

Capybara (*Hydrochoerus hydrochaeris*)
Parc national Yasuní

Les rongeurs constituent le deuxième groupe de mammifères les plus diversifiés d'Équateur avec 127 espèces recensées. Ce groupe présente le taux d'endémisme le plus élevé, avec 27 % d'espèces endémiques. L'endémisme est présent surtout dans les îles Galápagos et sur les versants des Andes, où des événements orogéniques et volcaniques ont entraîné la diversification⁵⁴.

À droite :

Tapir du Brésil (*Tapirus terrestris*)
Parc national Yasuní

En Équateur, les trois espèces de tapirs (tapir de Baird, tapir des montagnes et tapir du Brésil) sont les seules représentantes non domestiques de mammifères ongulés ayant un nombre impair de doigts (bien que la présence d'une population sauvage du tapir de Baird puisse être mise en doute). Les biologistes continuent à se demander si ces animaux sont plus proches des ongulés au nombre pair de doigts (comme les pécaris) ou des carnivores²⁷⁷. Le tapir du Brésil se limite à la région amazonienne.





La région amazonienne compte environ
215 espèces de mammifères, soit 47 %
de toutes les espèces présentes dans le pays⁵⁴.
Le tapir du Brésil est l'une d'entre elles.





**Renard des Andes (*Pseudalopex culpaeus*)
Réserve écologique de l'Antisana**

L'Équateur abrite 32 espèces de carnivores, qui incluent les familles des chats, des chiens, des ours, des loutres, des lions de mer et des mouffettes. Alors que les forêts humides de l'Amazonie présentent la plus grande diversité de carnivores, les Andes tropicales abritent proportionnellement plus d'espèces de grande taille²⁷⁸. La taille des carnivores s'étend de 50 g pour la belette andine à 200 kg pour l'ours à lunettes. Outre cette différenciation entre les espèces, il existe une grande variation à l'intérieur d'une même espèce. Par exemple, le poids d'un renard des Andes adulte peut varier de 3,4 à 13,8 kg dans toute son aire de répartition (depuis les régions montagneuses du sud de la Colombie jusqu'en Patagonie)²⁷⁹.



Opossum des Andes à oreilles blanches (*Didelphis pernigra*) – Mindo

Les marsupiaux sont l'un des groupes de mammifères les plus anciens d'Amérique du Sud. Ils se caractérisent par une poche ventrale dans laquelle les femelles transportent leurs petits. Ce groupe est probablement apparu il y a 60 millions d'années, il s'est ensuite dispersé de l'Antarctique à l'Australasie²⁸⁰. 98 espèces vivent actuellement dans le Nouveau Monde, dont 23 en Équateur^{54, 282}. Bien que les marsupiaux du Nouveau Monde aient été les premiers à être recensés, décrits et classés par les biologistes, leur intérêt zoologique a été éclipsé par la découverte des marsupiaux d'Australasie. Nous avons une connaissance limitée des divers marsupiaux néotropicaux et le nombre d'espèces répertoriées dans certains genres, surtout dans les Andes, va sûrement augmenter avec les recherches futures²⁸²⁻²⁸⁴.



Pécari à collier (*Pecari tajacu*) – Parc national Yasuní

En Équateur, les ongulés à nombre pair de doigts comprennent dix espèces de pécaris, de camélidés et de cervidés. Ces dernières décennies, les espèces amazoniennes de ce groupe telles que les pécaris ont fait l'objet d'une chasse excessive. Une étude effectuée entre 2005 et 2007 sur un marché hebdomadaire de gibier sauvage près du parc national Yasuní a révélé la vente de 11 717 kg de viande, dont 55 % de viande de pécaris. Presque la moitié de cette viande était vendue à des restaurants à des prix 1,3 à 2 fois plus élevés que la viande d'animal d'élevage²⁸⁵.





Baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*)

Parc national de Machalilla

En Équateur, on dénombre 30 espèces de baleines et dauphins, soit environ 30 % de toutes les espèces de cétacés au monde. Alors que le dauphin rose vit dans les rivières et lagunes d'Amazonie, tous les autres sont répertoriés dans les régions côtières de l'Équateur et dans l'archipel des Galápagos, ainsi qu'en pleine mer. Pendant l'hiver, dans les deux hémisphères, les baleines à bosse migrent des pôles, où elles se nourrissent, vers les zones tropicales et subtropicales le long de la marge continentale, des îles côtières et des archipels pour se reproduire²⁸⁶. De juin à septembre, entre 400 et 2 600 baleines rejoignent les eaux équatoriennes pour s'accoupler, allaiter et élever leurs jeunes. Durant cette période, elles ne s'alimentent que très peu, voire pas du tout²⁸⁷.





Titi
(*Calicebus discolor*)
Parc national Yasuní

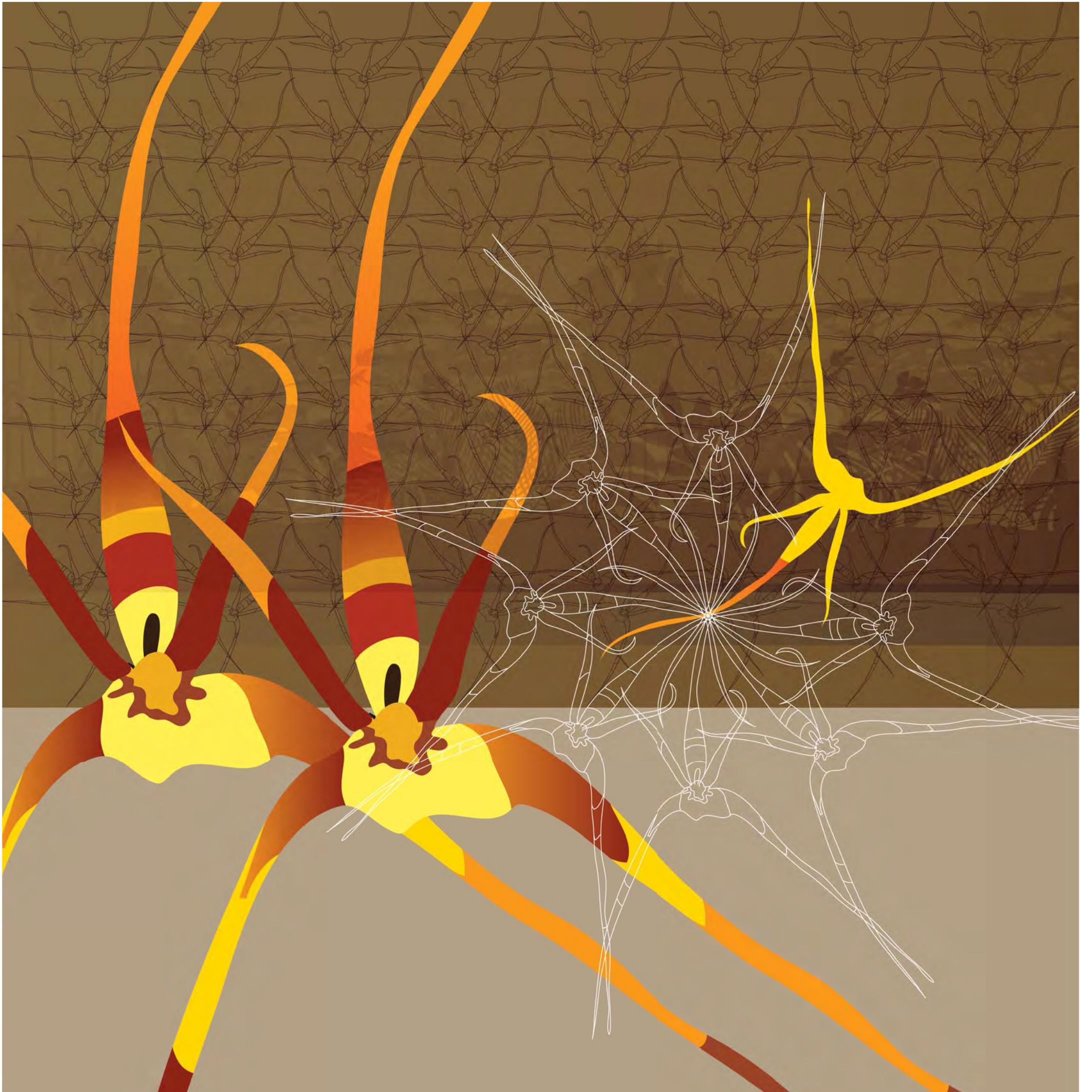
En Équateur, on recense actuellement 20 espèces de singes, presque toutes vivant exclusivement dans les arbres. Les forêts d'Amazonie équatorienne abritent souvent des communautés de singes comprenant jusqu'à 9 espèces différentes qui coexistent dans la même zone, surtout lorsque la productivité primaire est élevée²⁰⁴. Les différents modes de locomotion et les morphologies crâniennes de ces singes permettent de distinguer leur répartition selon les strates forestières et l'utilisation des ressources. En général, les espèces les plus petites se rencontrent dans les strates forestières les plus basses, tandis que les plus grandes passent plus de temps dans les strates supérieures²⁹⁰.

À droite :

Tamarin à manteau doré
(*Saguinus tripartitus*)
Parc national Yasuní

Le nombre d'espèces de singes existant dans les zones néotropicales fait encore débat en raison de la présence de nombreuses races géographiques. La taxonomie du groupe change donc constamment²⁸⁸. Par exemple, la famille des tamarins est particulièrement diverse, avec environ 14 espèces et sous-espèces vivant dans l'ouest de l'Amazonie, dont une a été récemment découverte²⁸⁹.







LA LUTTE pour la vie

« Darwin a observé que toutes les espèces vivantes produisent un nombre de descendants supérieur au nombre arrivant à l'âge adulte. [...] Pour expliquer pourquoi certains survivent et d'autres pas, Darwin a également remarqué que les individus d'une même espèce ne sont pas tous identiques : certains sont mieux "adaptés" que d'autres à leur environnement. Par conséquent, les plus "aptés" sont ceux qui survivent et se reproduisent. **La plupart des individus et des espèces sont perdants dans ce combat pour la vie, mais au cours de l'évolution apparaissent une étonnante diversité du vivant et des millions de nouvelles espèces.** »

(145)

John Haught, *Science et religion : du conflit à la conservation*, 1995.

Dans le premier chapitre de cet ouvrage, nous avons montré comment, à de grandes échelles de temps et d'espace, la diversité et la composition de la flore et de la faune équatoriennes ont essentiellement été déterminées par le soulèvement des Andes et les événements climatiques et géographiques qui y sont liés. À des échelles plus petites, les différentes espèces qui vivent ensemble dans une grande variété d'écosystèmes ont procédé à des ajustements rapides et complexes permettant la cohabitation dans une communauté, en évoluant ensemble et en établissant des relations qui donnent à ces ensembles d'espèces leurs caractéristiques et leur stabilité. Dans leur lutte pour la vie, les espèces ont développé des stratégies comportementales qui ont favorisé et conservé jusqu'à aujourd'hui l'extraordinaire diversité du vivant. Pour illustrer ce processus, nous allons nous pencher sur deux études de cas.

Comment tant d'espèces d'arbres peuvent-elles coexister à Yasuní ?

Dans un écosystème, chaque espèce doit faire face au défi de survivre et de se reproduire différemment. La « niche écologique » occupée par une espèce est la somme de toutes les formes d'utilisation des ressources présentes dans l'environnement (l'espace, les éléments nutritifs, la température, la lumière, les sites de reproduction, etc.)²⁹¹. La répartition des niches est un processus clé dans lequel les espèces ont exploité différemment les ressources, ce qui leur permet de coexister²⁹²⁻²⁹³. Parfois, les espèces ne sont pas capables d'occuper toute leur niche en raison de la présence ou de l'absence d'autres espèces. L'interaction entre espèces peut prendre différentes formes et avoir des effets positifs ou négatifs sur la survie et la répartition^{102, 294-298}. L'étude de ces interactions est fondamentale pour comprendre la coexistence et la répartition des espèces, avec des conséquences importantes pour la conservation de la biodiversité²⁹⁹.

Dans leur lutte pour la vie, les espèces ont développé des stratégies comportementales qui ont favorisé et conservé jusqu'à aujourd'hui l'extraordinaire diversité du vivant.

Des recherches conduites en Amazonie équatorienne nous ont apporté des données essentielles pour aider les scientifiques à traiter ce problème fondamental en écologie. Depuis 1995, l'Université pontificale catholique d'Équateur (PUCE) a entrepris en collaboration avec l'université d'Aarhus du Danemark et le Smithsonian Tropical Research Institute une étude exhaustive sur les communautés de plantes dans une parcelle forestière de 50 ha au sein du parc national Yasuní. Cette parcelle fait partie d'un réseau international d'environ 35 parcelles au niveau mondial³⁰⁰⁻³⁰¹. On y a recensé plus de 150 000 arbres appartenant à plus de 1 100 espèces différentes¹¹⁶. Sur la moitié de la parcelle sont inventoriées régulièrement les graines d'arbres, les plantules, les lianes et la structure et la concentration en éléments nutritifs du sol³⁰²⁻³⁰³. On dénombre 644 espèces d'arbres sur un hectare de cette parcelle, plus que nulle part ailleurs dans les autres forêts tropicales¹¹⁵. Bien que plusieurs hypothèses aient été avancées pour expliquer cette grande diversité dans les forêts tropicales³⁰⁴⁻³⁰⁵, il semble que le nombre élevé d'espèces d'arbres à Yasuní puisse être expliqué par de subtiles stratégies permettant à chaque espèce d'occuper sa propre niche²⁰³. Des arbres qui poussent les uns à côté des autres dans le même habitat peuvent utiliser des stratégies très différentes pour survivre (telles que des feuilles ou des semences de

taille différente). À plus grande échelle, une forte interaction entre les arbres et l'hétérogénéité des ressources environnantes telles que la lumière, la topographie et les éléments nutritifs du sol crée et conserve la diversité. Par exemple, la survie et la croissance des palmiers dans la forêt de Yasuní dépendent en grande partie de la quantité de lumière disponible, et ces adaptations à la lumière diffèrent entre les espèces³⁰⁶⁻³⁰⁷. La coexistence des espèces forestières peut être facilitée par de faibles niveaux de lumière, alors que ces derniers réduisent les taux de croissance et, par conséquent, le pouvoir d'exclusion par la compétition avec d'autres espèces³⁰⁸. L'hétérogénéité environnementale produite par la dynamique de la chute naturelle des arbres, qui donne naissance à des clairières, est un facteur important permettant à de nombreuses espèces de coexister³⁰⁹⁻³¹⁰. La topographie de la forêt joue également un rôle dans la répartition des niches, avec par exemple un quart de toutes les espèces présentes sur les crêtes qui diffèrent de celles rencontrées dans les vallées³¹¹. Enfin, la répartition des arbres s'explique en partie par l'adaptation des espèces à des sols hétérogènes³¹²⁻³¹³, et par la compétition inter- et intraspécifique^{311, 314}. Des arbres de même espèce tendent à se rassembler en petites formations qui ne comportent que peu d'individus³¹⁵.

Cette lutte acharnée pour la vie dans les forêts tropicales humides entraîne, outre une diversité spécifique sans égal, un faible nombre d'individus par espèces³¹⁶. Cela est vrai pour les plantes mais également pour les animaux, notamment les insectes. Une étude sur les papillons qui se nourrissent de fruits en décomposition, tant en forêt que dans la canopée, réalisée pendant une période de cinq ans en Amazonie équatorienne, a révélé que 14 % de toutes les espèces collectées étaient représentées par un seul individu²²⁹. De même, une étude portant sur des scarabées collectés dans des échantillons de la canopée à Yasuní, menée pendant deux ans et demi, a montré que les espèces représentées par un seul individu atteignaient presque 30 % des espèces collectées, avec seulement 10 espèces sur 318 représentées par plus de 50 individus³¹⁷.

Pourquoi les oiseaux ont-ils des becs si étonnants ? Un exemple : l'énigmatique toucan

En feuilletant le guide de terrain *Birds of Ecuador*, on observe que les quelque 1 600 espèces décrites présentent une incroyable diversité de forme et de couleur du bec. L'aspect du bec est une caractéristique clé pour la survie et la reproduction, et probablement l'un des meilleurs exemples pour expliquer la diversification des espèces d'oiseaux³¹⁸. Chez de nombreuses espèces, il semble que la sélection sexuelle ait conduit à des couleurs de bec très voyantes³¹⁹. La couleur du bec indiquant les caractéristiques distinctives de l'oiseau et sa bonne condition physique³²⁰, elle peut être un critère de choix du partenaire par les femelles et les mâles³²¹. De plus, on pense qu'elle peut s'avérer un atout pour les mâles dans la compétition avec leurs congénères³²². Mais, que dire de la forme ? À quelques exceptions près, les oiseaux utilisent leur bec pour accéder aux ressources alimentaires. La forme du bec (y compris

La biodiversité est en évolution permanente car les contraintes environnementales ont modelé et continuent à influencer les plantes et les animaux dans leur lutte pour survivre et se reproduire.

la longueur) est adaptée au choix des proies et aux méthodes de capture³²³. Les becs des pinsons de Darwin représentent l'exemple le plus classique de ces adaptations et ont eu une grande importance dans le développement de la théorie de l'évolution³²⁴. L'ancêtre commun des pinsons des îles Galápagos a divergé en de multiples espèces, très caractéristiques des différents milieux, avec des formes de bec spécifiques variant avec le mode d'alimentation³²⁵. Alors que les pinsons terrestres possèdent des becs relativement gros et robustes aptes à broyer les graines de différentes tailles, le pinson des cactus a un bec étroit et pointu bien adapté pour se nourrir des cactus *Opuntia*. Ces adaptations font que les pinsons n'ont pas à entrer en compétition avec d'autres espèces¹⁰⁴. Dans le cas des pinsons de Darwin, les becs ont évolué vers des formes différentes au fil des générations. Lorsque le bec d'un oiseau a une caractéristique particulière, celui-ci augmente ses chances de survivre et de transmettre ses gènes à la génération suivante et permet, selon Darwin, « la survie du mieux adapté »³²⁶⁻³²⁷. Ce processus constitue le fondement de la théorie de la sélection naturelle. De même, on a suggéré que les différences dans la morphologie du bec entre les femelles et les mâles chez certaines espèces d'oiseaux ont été favorisées par un partage des ressources³²⁸⁻³³⁰ : en accédant à la nourriture à des niveaux différents sur les fleurs, l'écorce des arbres ou les sédiments, les mâles et les femelles peuvent éviter la compétition, même si les deux consomment précisément le même type d'aliments.

La grande taille du bec du toucan (presque aussi gros que son corps chez certaines espèces) et ses couleurs vives en font l'un des appendices les plus spectaculaires du monde animal. Longtemps, les biologistes sont restés perplexes devant les significations possibles d'un bec aussi gros et coloré. Comme dit précédemment, il existe deux mécanismes d'évolution fondamentaux qui sont à l'origine de la forme du bec du toucan : la sélection sexuelle et la sélection naturelle. Charles Darwin pensait que le bec du toucan pouvait servir à attirer des partenaires pendant la période de reproduction, ce qui favoriserait les oiseaux aux becs plus gros³³¹. En ce qui concerne les mécanismes de la sélection naturelle, des chercheurs ont émis l'hypothèse que les becs longs et courbes permettent au toucan d'atteindre les fruits qui seraient autrement hors de sa portée¹⁷⁹ et de les peler³³². Mais on pourrait avancer d'autres raisons. Pour survivre, tous les oiseaux et mammifères doivent réguler leur température corporelle et la maintenir constante. Ainsi, les toucans établissent un équilibre entre la quantité de chaleur qu'ils produisent et celle qu'ils échangent avec le milieu³³³. En filmant avec une caméra infrarouge, des chercheurs ont montré comment les toucans régulaient le flux sanguin vers leur bec et, par conséquent, comment ils contrôlaient la température de leur corps en fonction de la température extérieure ou de la vitesse du vent³³⁴. Le bec joue un rôle de régulateur thermique et sa température peut varier de 10 °C en quelques minutes. Ainsi, en plus de leurs multiples usages, les becs des oiseaux peuvent remplir des fonctions assez inattendues. D'autres animaux gèrent leurs propres échanges de chaleur : les éléphants, dont les oreilles leur permettent de réguler leur température corporelle³³⁵, les canards, dont les becs peuvent émettre de la chaleur³³⁶.

Ces deux études de cas montrent comment les contraintes environnementales ont influencé et continuent à influencer la répartition, l'écologie, le comportement et la forme des espèces végétales et animales dans leur lutte pour survivre et se reproduire. La biodiversité est ainsi en constante évolution. Dans les pages qui suivent, nous allons présenter divers exemples, observés dans plusieurs écosystèmes d'Équateur, de la façon dont les espèces luttent pour leur survie.



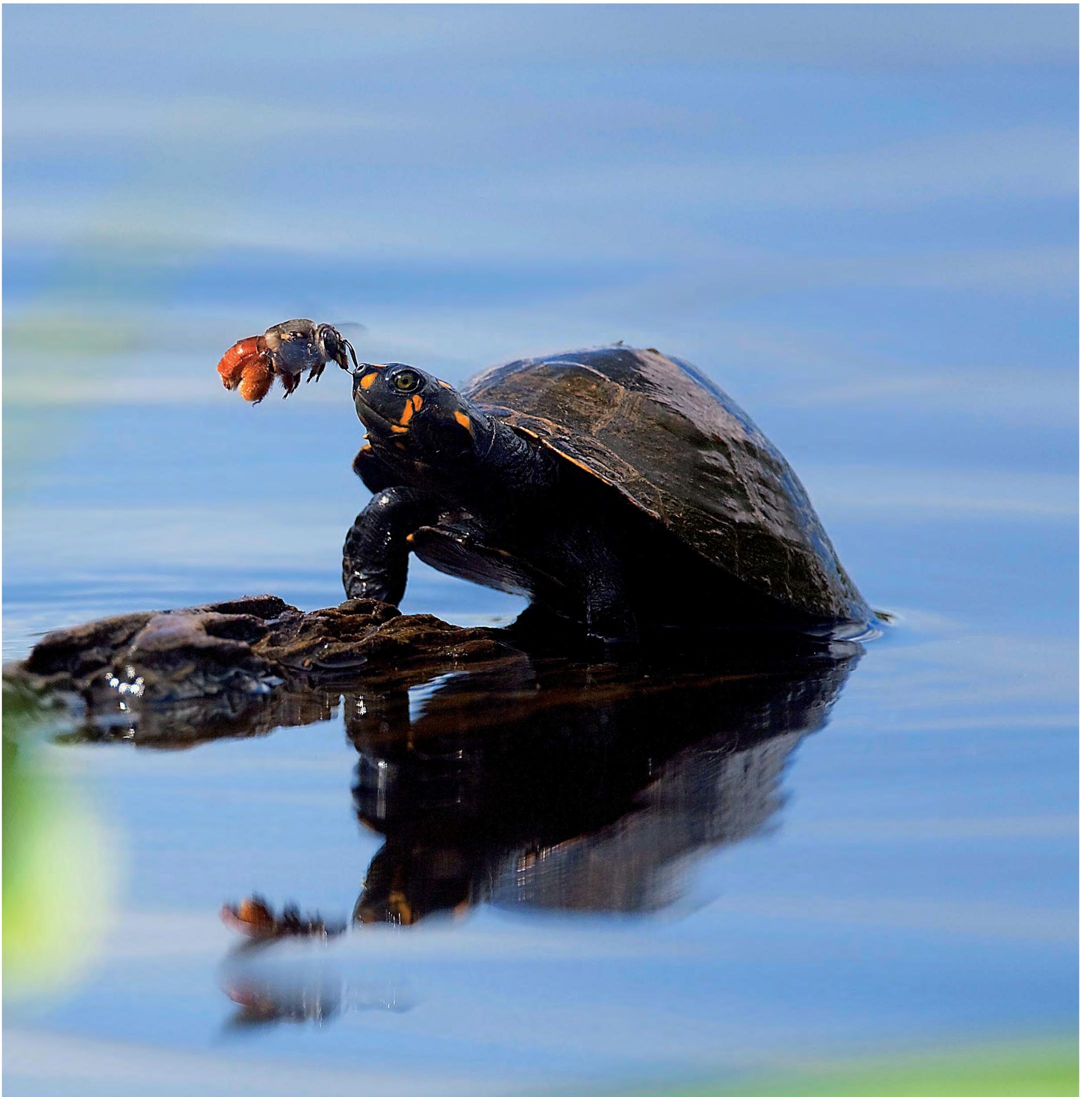
Toui de Deville (*Brotogeris cyanoptera*)
Parc national Yasuní

Dans plusieurs régions d'Amérique du Sud, les perroquets, perruches et aras se posent en bandes bruyantes sur des bancs d'argile où ils se nourrissent de particules du sol qui améliorent leur digestion³³⁹. Plusieurs espèces de perroquets essaient d'éviter la compétition en utilisant le banc d'argile à différentes heures de la journée. Cependant, lorsque certaines espèces sont présentes en même temps, celles qui sont de taille supérieure ou celles qui sont en bandes plus nombreuses éloignent généralement les autres espèces vers un côté du banc ou vers les arbres aux alentours. Ce type de dynamique profite à toute la communauté de perroquets : les oiseaux qui attendent leur tour sur le banc peuvent surveiller et avertir de tout danger imminent³⁴⁰.



INTERACTIONS ENTRE ESPÈCES

Le terme de biodiversité nous rappelle qu'aucun être vivant ne vit isolément. De multiples interactions entre les millions d'organismes présents sur la Terre contribuent à l'équilibre des écosystèmes et à la vie de notre planète³³⁷⁻³³⁸.



Cette série de photographies est probablement la première à montrer le comportement d'abeilles solitaires se nourrissant des larmes des tortues à taches jaunes. Alors que les abeilles profitent de cette interaction, il semble que les tortues en pâtissent, essayant de chasser les abeilles ou de les fuir en plongeant dans l'eau.

Abeille solitaire (*Centris* sp.) et tortue à taches jaunes (*Podocnemis unifilis*) – Parc national Yasuní

Le sodium est un élément nutritif essentiel à la survie et à la reproduction des êtres vivants : il aide à maintenir le volume de sang, régule l'eau dans les cellules et permet au système nerveux de fonctionner³⁴¹. Bien qu'il soit abondant dans les océans, cet élément est rare sur terre, surtout chez les plantes³⁴². C'est pourquoi de nombreux animaux terrestres qui dépendent des plantes ont besoin de sodium³⁴³⁻³⁴⁴. Chez les insectes, plusieurs espèces de papillons se posent fréquemment sur des sols humides, des excréments et des charognes pour aspirer l'eau et les éléments nutritifs dissous³⁴⁵. Certains insectes se nourrissent également de larmes, surtout sur des animaux tranquilles qui ne peuvent leur échapper comme les grands herbivores, les crocodiles ou les oiseaux endormis. En plus du sodium, les larmes contiennent des protéines pouvant constituer une ressource de grande qualité pendant toute l'année³⁴⁶.





Pélican brun (*Pelicanus occidentalis*) et noddie brun (*Anous stolidus*)

Parc national des Galápagos-île de Baltra

La compétition a généralement des effets négatifs, pouvant entraîner blessures et perte d'énergie. Cependant, elle peut aussi être considérée comme un facteur d'adaptation, d'évolution et de diversification des espèces³⁵⁷. Le noddie brun est un exemple intéressant d'adaptation du comportement sous une pression de compétition. Ces oiseaux sont fréquemment perchés sur la tête des pélicans pendant que ces derniers pêchent, essayant de capturer les alevins qui leur échappent²⁰⁷.

À droite :

Mante (*Choeradodis rhomboidea*) et mouche (*Sarcophagidae*)

Réserve intégrale d'Otonga

La capacité d'un prédateur ou d'une proie à la survie est en partie déterminée par la sensibilité de ses organes sensoriels. C'est pourquoi les interactions entre un prédateur et sa proie sont influencées par la façon dont les espèces ont accès aux informations relatives à leur milieu, dont elles les traitent et y répondent³⁵⁸⁻³⁵⁹. Alors que les mantidés utilisent la vision binoculaire pour juger si leur proie se trouve à une distance suffisante pour être attaquée³⁶⁰, le système visuel de la mouche lui fournit les informations neuronales nécessaires pour fuir en une fraction de seconde³⁶¹.



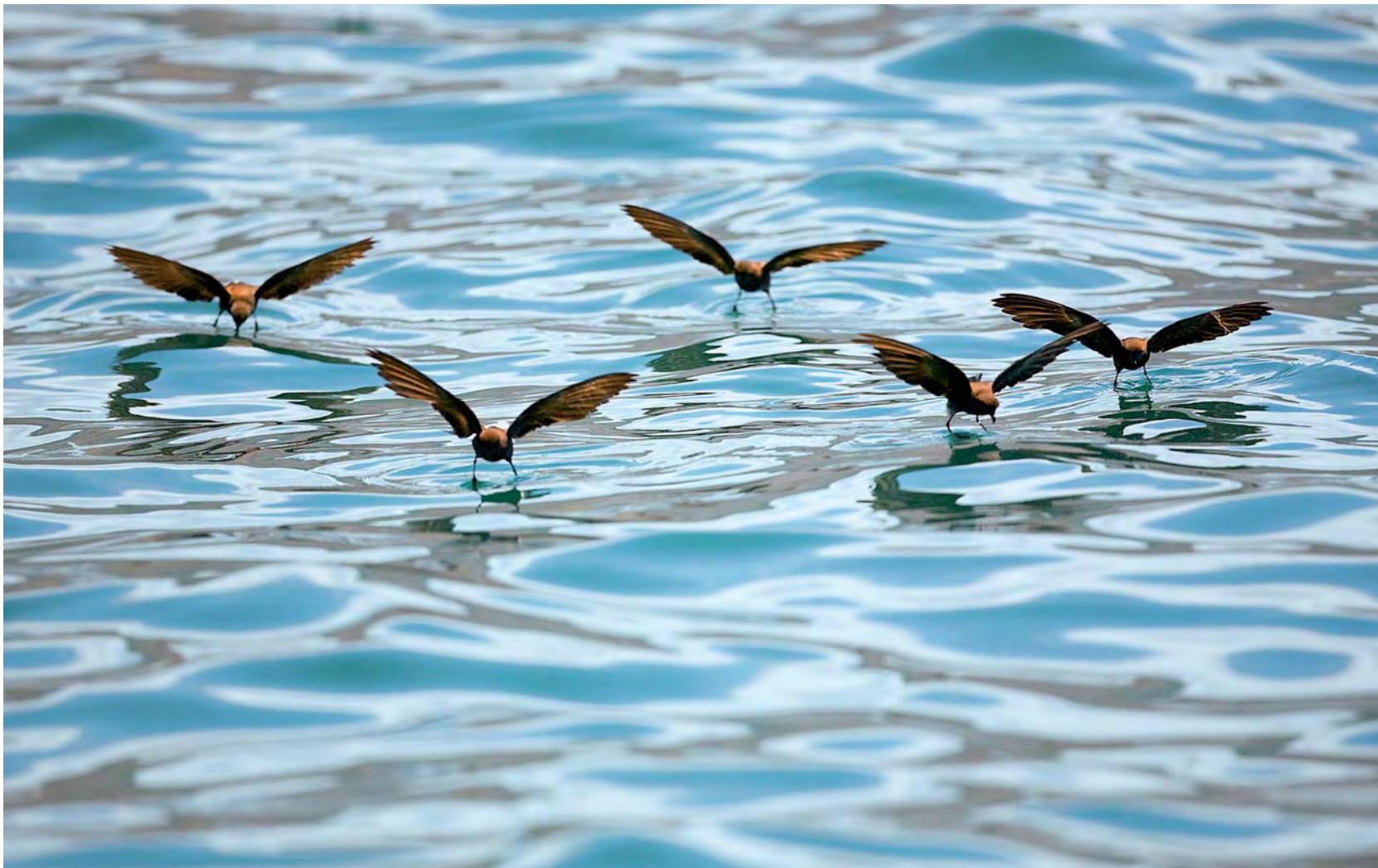
Les interactions négatives telles que la compétition, la prédation et le parasitisme jouent un rôle important dans la structuration des communautés naturelles⁵.



Les interactions positives comme le mutualisme et le commensalisme jouent un rôle crucial dans les communautés naturelles, en réduisant les contraintes environnementales et en créant de nouvelles niches dont beaucoup d'espèces dépendent³⁵⁰. Dans les îles Galápagos, la croissance et la survie des plantes terrestres sont facilitées par les éléments nutritifs d'origine marine amenés sur terre par les lions de mer.

**Lion de mer des Galápagos (*Zalophus wollebaeki*) et pourpier de mer (*Sesuvium portulacastrum*)
Parc national des Galápagos – île Plaza Sur**

Dans les îles Galápagos, la croissance et la répartition des plantes côtières sont limitées par la faible quantité d'éléments nutritifs présents dans les sols, en raison de leur origine volcanique récente et des conditions climatiques difficiles. Curieusement, les plantes sont « aidées » par les lions de mer qui, en se nourrissant dans l'océan, transportent les éléments nutritifs d'un système marin riche à un système terrestre pauvre sur lequel ils viennent se reposer et se reproduire. Les éléments nutritifs transportés se retrouvent à des concentrations élevées dans les sols et sont mis à profit par les plantes côtières³⁵¹.



(158)

Océanite d'Elliot (*Oceanites gracilis galapagoensis*) – Parc national des Galápagos au large de l'île Floreana

La grande majorité des oiseaux marins se déplacent en groupes, probablement pour augmenter leur chance de rencontrer des proies rassemblées en bancs dans l'immensité de l'océan³⁴⁷. Une fois qu'ils sont dans une zone favorable, les océanites volent souvent dans le vent, effleurant la surface de l'eau avec leurs pattes et attrapant à coups de bec les organismes planctoniques dont ils se nourrissent³⁴⁸. Ces oiseaux marins peuvent également utiliser des signaux olfactifs à courte distance qui les aident à localiser leurs proies³⁴⁹.



Iguane marin (*Amblyrhynchus cristatus*) et lézard de lave (*Microlophus albemarlensis*)
Parc national des Galápagos-île Fernandina

Les lézards de lave se perchent sur la tête des iguanes au repos et profitent de ce poste d'observation pour attraper des mouches et autres insectes. C'est également un bon moyen pour prendre le soleil ou détecter d'éventuels partenaires ou adversaires³³. Les avantages potentiels pour les iguanes n'apparaissent pas clairement, car ce sont généralement des oiseaux comme les moqueurs et les pinsons qui se chargent de supprimer les parasites de leur peau.



(160)

Gentiane (Gentiana sedifolia) sur un coussin (Xenophyllum rigidum) – Réserve écologique d'Antisana

Les plantes en coussin, souvent colonisées par d'autres espèces végétales telles que les gentianes, sont particulièrement bien adaptées aux conditions des *paramos* équatoriens. À plus de 4700 m d'altitude sur les versants de l'Antisana, ces coussins favorisent l'implantation de douzaines d'espèces de plantes en leur fournissant des éléments nutritifs, de l'eau, une protection contre le vent et des températures plus chaudes. Sans ces coussins, la survie d'autres espèces végétales serait fortement limitée³⁵², d'où l'importance de leur présence pour maintenir la diversité végétale dans les écosystèmes andins de haute altitude.



Regroupement de punaises (*Hemiptera*) – Parc national Yasuní

Les insectes déploient une grande variété de stratégies adaptatives pour se défendre contre les prédateurs. Chez les punaises, l'association des couleurs noire, jaune ou rouge produit un contraste qui est identifié par les prédateurs comme un signal de danger potentiel (cf. aposématisme)³⁵³⁻³⁵⁴. Les regroupements d'insectes peuvent renforcer l'efficacité de cette stratégie, puisqu'un groupe d'individus produit un signal aposématique plus important que les individus isolés. Les prédateurs sont généralement plus réticents à attaquer des punaises regroupées qu'isolées, ce qui augmente la survie de ces insectes³⁵⁵⁻³⁵⁶.



Colibri flavescent (*Boissonneaua flavescens*)

Réserve de Bellavista

Les colibris défendent souvent des groupes de fleurs contre des membres de leur propre espèce. La durée et l'issue des conflits de territoire dépendent principalement de deux facteurs : la valeur de la ressource défendue pour la survie de chaque individu et la faculté de l'adversaire à se battre³⁶³. Lorsque la ressource alimentaire qu'ils défendent est de grande valeur, les mâles sont plus disposés à s'engager dans des combats acharnés. Sinon, ils déploient des effets de gorge qui demandent moins d'énergie³⁶⁴.

En bas :

Fou de Grant (*Sula granti*)

Parc national des Galápagos-île d'Española

Les interactions entre mâles et femelles sont une étape clé dans la vie des animaux : pour optimiser la reproduction, les individus doivent choisir un partenaire qui leur permettra d'engendrer le plus grand nombre possible de descendants robustes. Chez les oiseaux marins, la plupart des espèces forment des couples qui perdurent d'une période de reproduction à la suivante. L'avantage de ce type d'accouplements est de réduire risques et difficultés éventuels liés à la recherche d'un partenaire tels que blessures ou prédation, gaspillage de temps et d'énergie, ou absence d'opportunités de reproduction³⁶⁵. Chez les fous de Grant toutefois, des « divorces » peuvent intervenir, permettant aux femelles d'accéder à des partenaires physiquement plus « frais »⁶¹⁸.



À droite :

Lion de mer des Galápagos (*Zalophus wollebaeki*)

Parc national des Galápagos-île d'Española

Le jeu est une activité courante des jeunes lions de mer et inclut une variété de comportements tels que poursuites, joutes ou morsures inhibées³⁶⁶. Pendant longtemps, le jeu chez les mammifères a été considéré comme une préparation à l'âge adulte, comme le fondement de futures hiérarchies sociales³⁶⁷. Bien que les animaux commencent à jouer avec des individus qu'ils peuvent dominer, l'expérience qui consiste à être dans une position subordonnée peut également être bénéfique à long terme. Ces individus ont l'occasion de mettre en pratique des stratégies défensives qu'ils peuvent ensuite utiliser dans de véritables combats³⁶⁸⁻³⁶⁹.



Jouer, se battre et s'accoupler.
Les animaux sont en interaction constante avec les membres
de leur propre espèce pour augmenter au maximum
les possibilités de transmettre leurs gènes.





STRATÉGIES D'ADAPTATION
Tous les organismes vivant de nos jours ont survécu car ils se sont adaptés à leur milieu. Lorsque certains individus engendrent une descendance plus abondante que d'autres, les fréquences de gènes dans les populations se modifient, permettant une meilleure adaptation des individus à des milieux qui ont favorisé leur développement.

Frailejon (*Espeletia pycnophylla*) – Réserve écologique El Ángel

Les conditions environnementales des *páramos* telles que le gel, la sécheresse saisonnière, la faible disponibilité en éléments nutritifs et l'intensité du rayonnement ultraviolet ont façonné l'adaptation de plusieurs espèces de plantes³⁸⁸. Par exemple, les espèces du genre *Espeletia* possèdent de grandes feuilles épaisses et pubescentes ainsi que des tiges qui réduisent la transpiration, conservent la chaleur durant la nuit, produisent une substance antigél pour protéger les jeunes pousses et filtrent la lumière intense du jour^{389, 609}.

A silhouette of a bird's head and neck, showing a very long, thin, and slightly curved beak that extends towards the top right of the frame. The background is a light blue gradient with some faint, wavy lines. The text is positioned in the lower right area of the image.

Depuis le bec des oiseaux
jusqu'aux cornes des scarabées,
l'évolution des formes
extrêmes chez les animaux
a été guidée par la nécessité
d'accéder aux ressources
alimentaires et aux partenaires
sexuels.

Scarabée-rhinocéros
(Megaceras sp.)

Parc national Yasuní

Chez les scarabées-rhinocéros, les mâles utilisent leurs longues cornes contre d'autres mâles de la même espèce lors des combats pour l'accès à un partenaire sexuel. Cependant, l'énergie utilisée pour obtenir de tels appendices engendre un « trade-off » (compromis) avec d'autres fonctions³⁹². En effet, les mâles aux cornes plus longues possèdent des ailes de taille inférieure à celles des mâles aux cornes de petite taille³⁹³. Les ailes plus grandes des mâles aux cornes de taille inférieure leur permettent de voler sur de grandes distances et de s'accoupler en évitant la confrontation avec les mâles aux longues cornes³⁹⁴.

À gauche :

Colibri porte-épée
(Ensifera ensifera)

Réserve Yanacocha

La longueur du bec (9-10 cm) du colibri porte-épée est l'un des exemples les plus spectaculaires de coévolution entre les fleurs (*Passiflora*) et leurs pollinisateurs. Comme Darwin l'avait noté chez les insectes, l'évolution des grands tubes floraux et des grands appendices chez leurs « visiteurs » peut s'expliquer par les mécanismes de coévolution. Dans la plupart des cas, l'interaction est asymétrique : alors que les pollinisateurs peuvent s'alimenter à partir de plusieurs plantes, la plante dépend souvent uniquement de quelques pollinisateurs, voire d'un seul³⁹¹.





Adaptations morphologiques : pattes longues, ailes réduites

Grenouille de verre (*Nymphargus grandisonae*) – Réserve intégrale d'Otonga

Le saut a été utilisé comme mécanisme de fuite par les ancêtres des grenouilles, leur permettant de traverser l'interface air-eau le plus rapidement possible. Ce moyen de locomotion étant très efficace aussi bien dans les habitats terrestres qu'aquatiques, il présente un grand avantage sélectif et constitue une stratégie d'adaptation commune des grenouilles³⁹⁵. Sauter le plus loin possible en distance horizontale permet d'échapper efficacement aux prédateurs³⁹⁶.

(168)

À droite :

Cormoran aptère (*Phalacrocorax harrisi*) – Parc national des Galápagos-île Fernandina

Pour les cormorans des îles Galápagos, les ailes sont un luxe. En effet, elles ne servent ni à échapper aux prédateurs (puisque'il n'y en a pas à l'origine sur les îles), ni à s'assurer de la nourriture (puisque ces oiseaux sont d'excellents plongeurs). Avec une masse corporelle et une puissance musculaire inférieures à celles des oiseaux volants, les cormorans aptères peuvent profiter des ressources non utilisées pour le vol et se constituer une niche écologique singulière pour survivre³⁹⁷.





La convergence évolutive est un processus par lequel deux espèces aux ancêtres différents évoluent indépendamment vers des solutions similaires en cherchant à s'adapter à des milieux semblables.



À gauche :

Pic ouentou (*Dryocopus lineatus lineatus*) – Parc national Yasuní

À droite :

Grimpar nasican (*Nasica longirostris*) – Parc national Yasuní

D'un point de vue évolutif, les grimpars sont apparentés aux fourmiers tels que les cinclodes (voir page 43), mais pas aux pics. Cependant, les grimpars ressemblent aux pics. Ils possèdent des pattes courtes aux doigts puissants et aux griffes acérées, un bec long à modérément long et une queue qui leur fournissent un appui pour grimper aux troncs des arbres³⁹⁸. Les ancêtres des grimpars vivaient en forêt tropicale humide et se nourrissaient au sol. Par la suite, ils ont étendu leur niche alimentaire aux troncs des arbres. La forme de leur crâne a évolué pour qu'ils puissent marteler les troncs, d'où leur remarquable convergence avec les pics, comme dans le cas des genres *Xenops* et *Glyphorynchus*. Les comportements alimentaires des autres grimpars tels que *N. longirostris* ont évolué vers une utilisation accrue du bec pour rechercher et saisir la nourriture dans les crevasses des troncs ou dans les plantes qui y poussent³⁹⁹.



Buse des Galápagos (*Buteo galapagoensis*) – Parc national des Galápagos-île de Santa Fé
Même les prédateurs qui se trouvent au sommet de la pyramide trophique comme la buse des Galápagos peuvent être victimes d'ennemis naturels. Des chercheurs ont par exemple montré que les puces ont des effets négatifs sur l'état de santé des individus de cette espèce et indirectement sur l'étendue de leur territoire⁴⁰⁰. De façon plus générale, les parasites constituent un maillon important des réseaux alimentaires terrestres et aquatiques⁴⁰¹ dont ils influencent la complexité et la diversité⁴⁰².

À droite :

Tapiti (*Sylvilagus brasiliensis*) – Réserve écologique d'Antisana

La vigilance est une stratégie courante contre les prédateurs chez les mammifères et les oiseaux⁴⁰³. Chez les lapins, la vigilance varie avec l'âge et le sexe des individus. Les jeunes lapins ont généralement des niveaux de vigilance inférieurs à ceux des adultes : ils « troquent » la vigilance contre l'alimentation pour maximiser leur croissance. Au contraire, les femelles sont plus vigilantes pendant la gestation, ce qui compense leur moindre capacité à échapper aux attaques des prédateurs⁴⁰⁴.



Pour survivre,
prédateurs
et proies font
face à leurs
propres défis.



(174)

Pour échapper aux prédateurs, de nombreuses espèces d'insectes et d'amphibiens passent une grande partie de leur vie dans des refuges ou à proximité.



À gauche :
Charançon (Curculionidae) – Parc national Yasuní

Grenouille arboricole (*Hyloscirtus alytolylax*)
Réserve intégrale d'Otonga

« Se cacher » semble un comportement banal, mais c'est un acte extrêmement stressant. Le temps passé dans des refuges se paye par la diminution du temps disponible pour se nourrir ou s'accoupler. La décision de sortir de l'abri peut être particulièrement difficile à prendre et la proie doit évaluer les disponibilités alimentaires ainsi que le risque de prédation³⁹⁰. La stratégie mise en œuvre par de nombreuses proies en forêt tropicale consiste à sortir la nuit, lorsque l'activité de certains prédateurs – mais pas de tous – est moins intense.

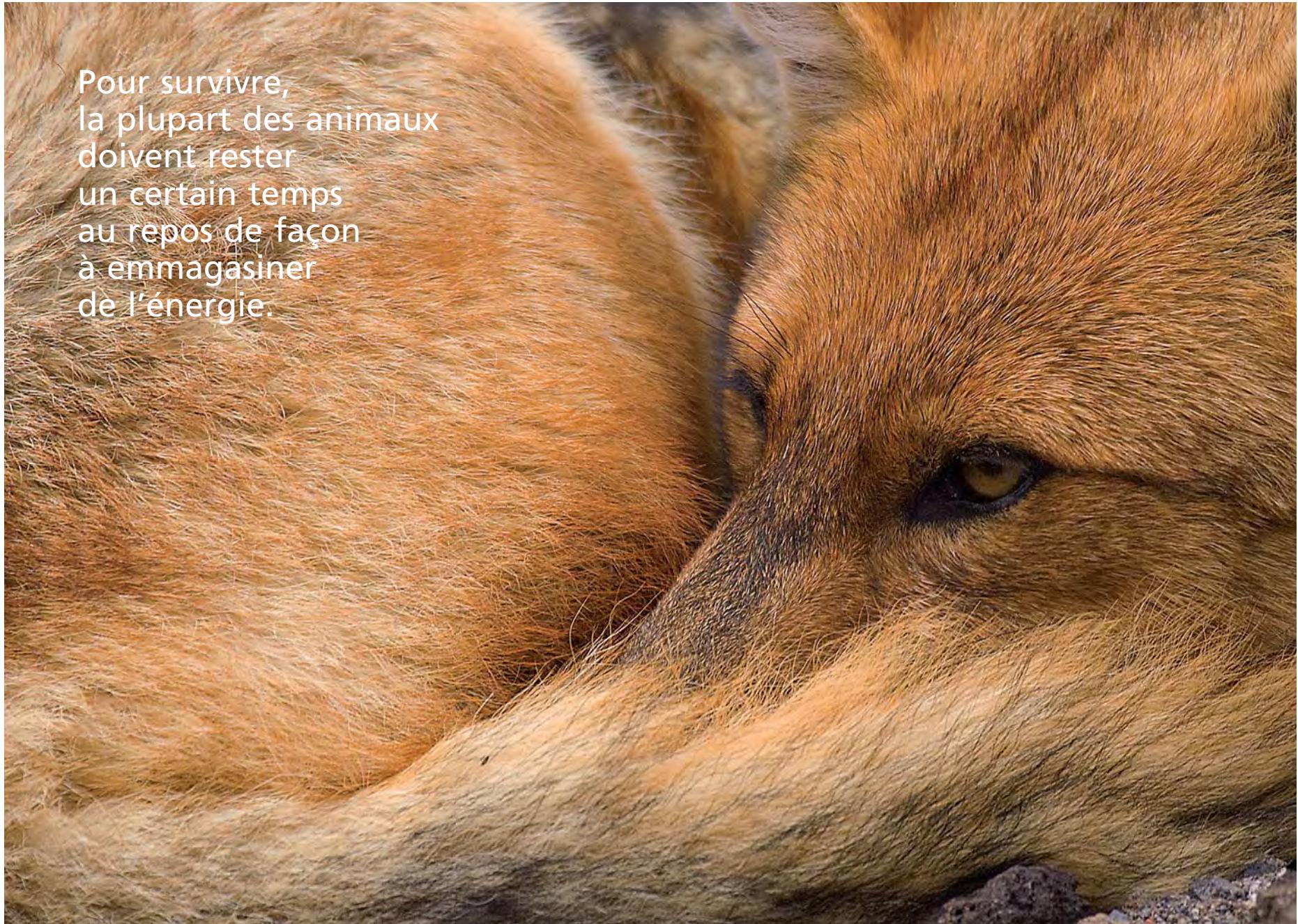


(176)

Tortue géante des Galápagos (*Geochelone elephantopus*)

Parc national des Galápagos-île de Santa Cruz

Comme d'autres reptiles, les tortues géantes comptent sur l'énergie solaire pour réguler leur température corporelle. La variété des positions de repos reflète leur stratégie de thermorégulation : la tortue retient la chaleur en rentrant sa tête et ses membres alors qu'elle la libère en les sortant⁴⁰⁵.



Pour survivre,
la plupart des animaux
doivent rester
un certain temps
au repos de façon
à emmagasiner
de l'énergie.

Renard des Andes (*Pseudalopex culpaeus*) – Parc national du Cotopaxi

Pour survivre dans des milieux extrêmes comme les versants du volcan Cotopaxi, à plus de 5000 m d'altitude, le renard des Andes doit réduire ses dépenses d'énergie. Pour conserver chaleur et énergie, il adopte une position de repos qui réduit les parties du corps exposées à l'air. La récupération physiologique en termes de conservation de l'énergie, de restauration tissulaire et de croissance semble constituer la fonction principale du repos et du sommeil⁴⁰⁶.



L'évolution des espèces a façonné des adaptations physiologiques, morphologiques et comportementales complexes destinées à produire un nombre maximal de descendants en fonction des conditions environnementales. Avec environ 40 modes de reproduction différents, les amphibiens présentent la plus grande diversité de stratégies de reproduction de tous les vertébrés terrestres⁴⁰⁷⁻⁴⁰⁹. On attribue l'évolution de ces stratégies à des facteurs tels que la difficulté à prévoir les conditions environnementales dans lesquelles se développent les juvéniles, à la prédation des œufs et des têtards, ou à la pression parasitaire⁴⁰⁹.

À gauche :

Droite :

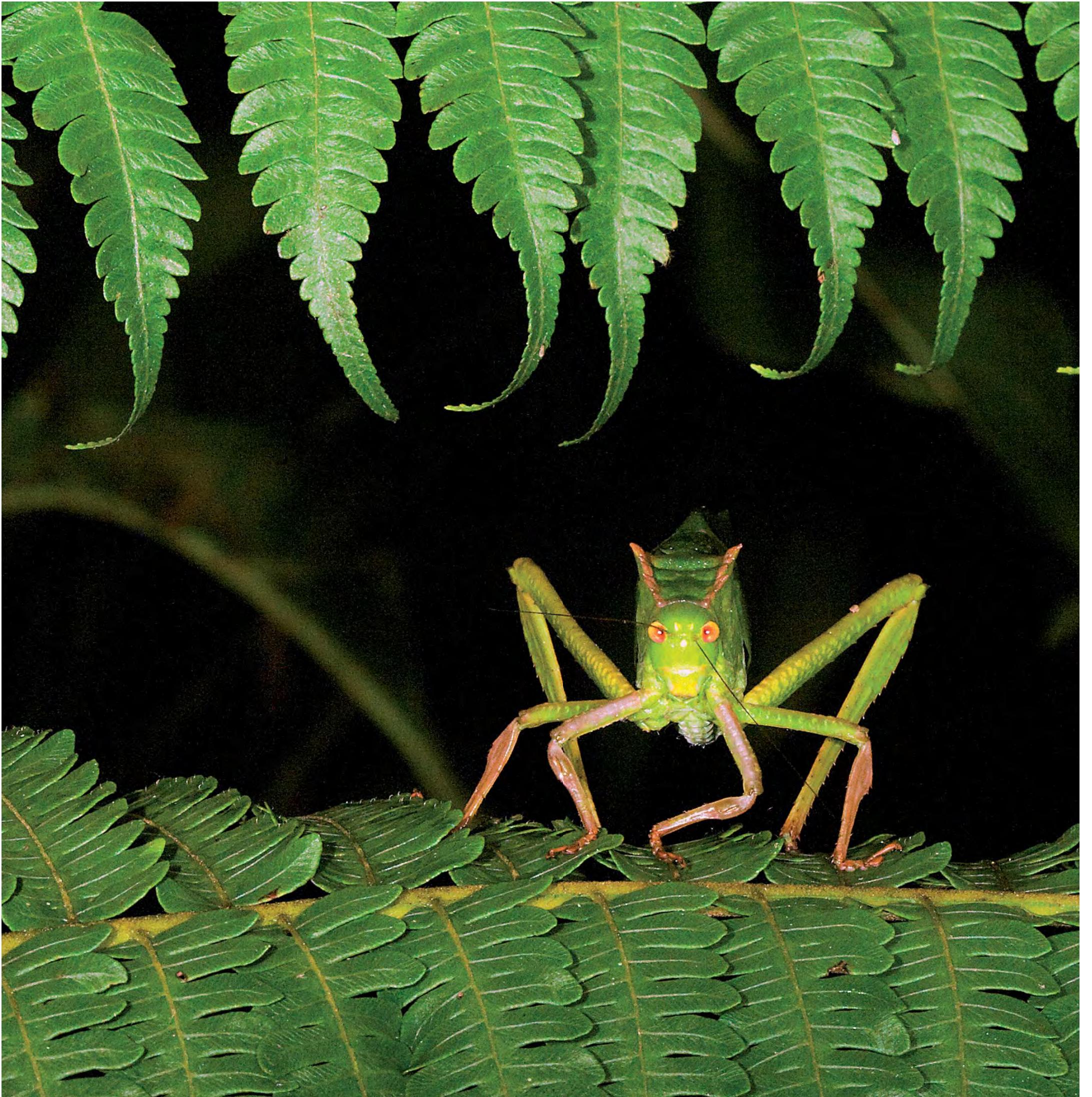
Grenouille marsupiale (*Gastrotheca plumbea*) – Réserve écologique d'Illinizas

Le cycle de vie typique d'une grenouille consiste en un stade aquatique comme têtard, suivi d'une métamorphose et d'un stade adulte semi-aquatique ou terrestre. Cependant, plusieurs anoures ont un développement direct, c'est-à-dire qu'ils ne connaissent pas de stade larvaire aquatique⁴¹⁰. Les grenouilles marsupiales, dont les œufs se développent dans une poche située sur le dos des femelles, expulsent à l'air libre directement des adultes. Cette adaptation éco-évolutive leur a permis de ne pas dépendre de milieux aquatiques⁴¹¹.

Gauche :

Grenouille de verre (*Nymphargus griffithsi*) protégeant ses œufs – Réserve intégrale d'Otonga

Les soins parentaux sont pratiqués dans de nombreuses familles de grenouilles et ont pu évoluer chez les amphibiens pour plusieurs raisons : augmenter le succès de la reproduction en réduisant la prédation par la vigilance et la défense active des stades juvéniles ; diminuer les anomalies du développement en manipulant constamment les œufs ; fournir un micro-habitat plus approprié à la protection des œufs contre la sécheresse, ou déplacer les stades précoces vers des milieux aquatiques appropriés⁴¹²⁻⁴¹³.





APPARENCE

L'apparence est une des clés de la survie, tant dans le règne animal que végétal. Certaines espèces peuvent parfaitement se camoufler dans leur milieu alors que d'autres exhibent leurs couleurs vives et leurs dessins contrastés pour prévenir de leur toxicité.

Sauterelle verte (*Tettigoniidae*) – Réserve de Maquipucuna

Les sauterelles néotropicales sont des insectes herbivores de taille moyenne à grande et de ce fait constituent une ressource alimentaire importante pour de nombreux prédateurs. En raison d'une forte pression de prédation, elles ont développé de nombreux et souvent complexes moyens de protection par des adaptations morphologiques et comportementales. Le camouflage de ces sauterelles est une stratégie efficace pour éviter qu'elles soient détectées par des prédateurs diurnes. Cette stratégie est cependant inutile contre les prédateurs nocturnes comme les chauves-souris, qui peuvent détecter les chants des sauterelles destinés à attirer leurs partenaires³⁷¹. Les sauterelles doivent alors déguiser leurs chants, en limitant leurs appels, en utilisant des fréquences plus élevées ou en leur substituant des vibrations émises dans les plantes³⁷¹.





Sauterelle feuille (*Typophyllum mortuifolium*) – Parc national Yasuní

Le camouflage est une stratégie commune chez les insectes, en particulier pour échapper aux prédateurs diurnes⁶¹⁷. Une étude conduite dans une forêt humide péruvienne a évalué la fréquence de cette stratégie chez les sauterelles : sur les 378 espèces recensées, plus de 70 % présentent des couleurs cryptiques (vert, brun ou les deux) et plus de 10 % imitent les feuilles ou les branches³⁷⁰.

En bas :

Chenille épineuse (*Automeris* sp.) forêt de Mindo

De nombreuses proies telles que les guêpes ou les serpents coraux sont porteurs de signaux colorés destinés à prévenir les prédateurs de leur toxicité. Pour éviter d'être attaquée, la larve d'*Automeris* utilise quant à elle deux types de signaux : la couleur et les poils venimeux. Cette stratégie augmente probablement à la fois le comportement d'évitement des prédateurs et la survie de la chenille³⁷².



À droite :

Orchidée araignée (*Brassia* sp.) Réserve de Maquipucuna

Certaines des 29 espèces d'orchidées du genre *Brassia* sont pollinisées par des guêpes parasites, qui ont pour coutume de déposer leurs œufs dans des araignées³⁷³. Il est possible d'observer la guêpe – probablement attirée par l'apparence de *Brassia* – en train de planter son dard dans l'orchidée, essayant en vain de paralyser une proie imaginaire. La guêpe entre alors en contact avec le pollen de l'orchidée, qui ensuite se colle sur sa tête. Lorsque la guêpe vole vers une autre fleur de *Brassia*, la pollinisation se produit³⁷⁴⁻³⁷⁵.



Des animaux qui ressemblent à des plantes.
Des plantes qui ressemblent à des animaux.



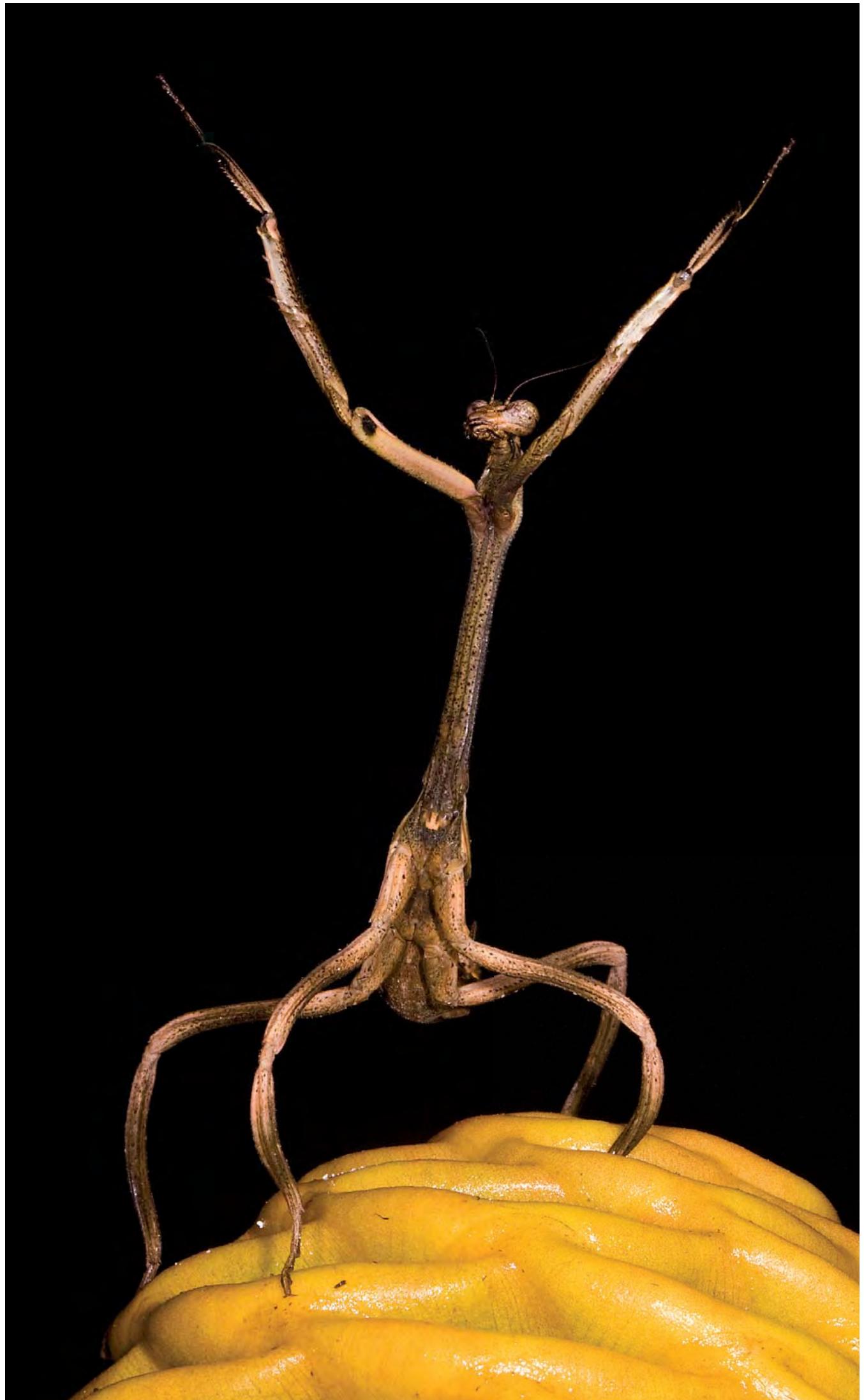
Proscopiidae (*Orthoptera*) – Parc national Yasuní

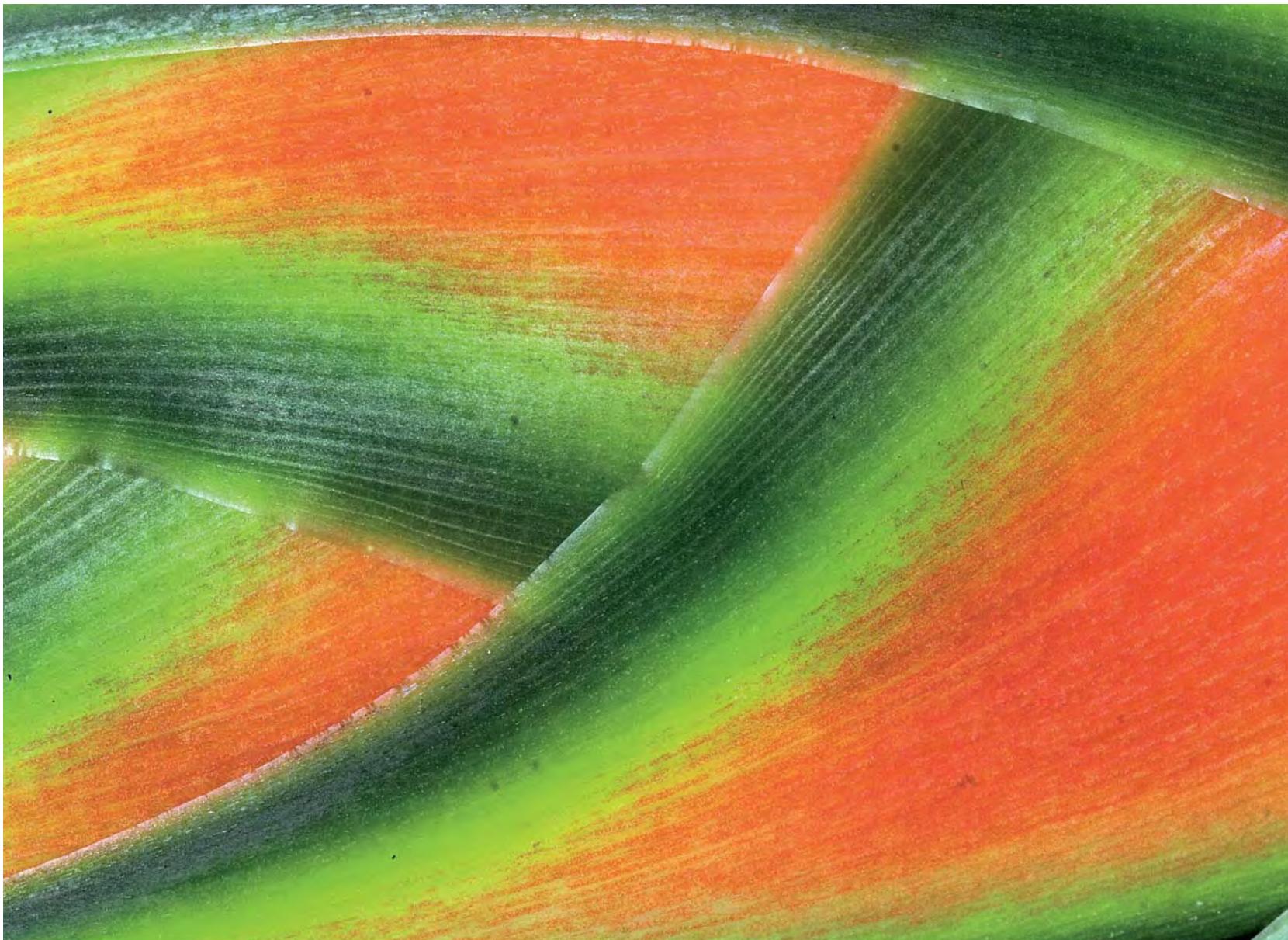
Pour être efficace, le camouflage implique une association de couleurs, de formes et de comportements : il a ainsi donné lieu aux apparences les plus extraordinaires chez les insectes³⁷⁶. Comme les phasmes, les espèces de Proscopiidae présentent des modifications spécifiques de la tête et du corps qui leur donnent l'aspect d'une branche. Les modifications externes de la tête ont été accompagnées d'une évolution singulière de l'architecture du système nerveux céphalique ainsi que de l'organisation du système circulatoire³⁷⁷.

À droite :

Mantidé (*Pseudovates* sp.) – Réserve intégrale d'Otonga

En Équateur, on a dénombré jusqu'à présent 63 espèces et 37 genres de mantidés³⁷⁸⁻³⁷⁹. Leur grande diversité de taille et de forme influe sur leurs comportements de chasse. Alors que les espèces de petite taille ou cryptiques (comme la mante feuille page 155) sont actives le jour, les espèces de grande taille plus facilement détectables, comme cette *Pseudovates*, chassent la nuit dans les zones basses de la végétation³⁷⁸.





Heliconia (*Heliconia* sp) – Mindo

(186)

Dans les pays néotropicaux, un grand nombre de plantes comme les heliconias dépendent exclusivement des colibris pour leur pollinisation¹⁷⁹. Même si les colibris « visitent » des fleurs de toutes les couleurs – surtout en fonction de la qualité du nectar –, les plantes qu'ils pollinisent – comme les 220 espèces d'*Heliconia* – sont généralement rouges. Une des explications possibles est que le rouge se distingue très nettement sur un fond vert, permettant aux oiseaux de localiser plus facilement les fleurs³⁸⁰.



Crabe rouge (*Gecarcinus nobilii*) – Mompiche

La couleur voyante du corps de nombreuses espèces de crustacés dans la zone intertidale est liée à la physiologie et à la reproduction des individus³⁸¹. Chez certaines espèces de crabes, les femelles peuvent identifier les mâles comme conspécifiques grâce à la couleur des pinces. Les mâles peuvent également reconnaître les femelles qui les entourent grâce aux différentes couleurs de leur carapace³⁸². Étant donné que les crabes sont repérés par les prédateurs à cause de leurs couleurs voyantes, il semble que certains puissent modifier leurs couleurs en fonction du risque de prédation.³⁸³





Les couleurs brillantes représentent des signaux fiables de bonne santé qui guident les animaux dans leur choix d'un partenaire sexuel.

Fauvette jaune (*Dendroica petechia aureola*) – Parc national des Galápagos

De nombreuses espèces arborent des couleurs brillantes en raison de pigments appelés caroténoïdes présents dans leur régime alimentaire³⁸⁴. Les caroténoïdes sont des antioxydants et font partie du système immunitaire. Le fait que certains mâles aient un bec ou un plumage plus brillant que d'autres signifie qu'ils mobilisent moins de caroténoïdes pour leurs fonctions immunitaires et qu'ils sont donc en meilleure santé. Ces traits particuliers permettent aux oiseaux d'informer leurs futurs partenaires de leur bon potentiel reproducteur³⁸⁵.



Frégate superbe (*Fregata magnificens*) – Parc national des Galápagos

Chez les frégates, la gorge ornée d'une poche rouge varie de la couleur rose aux couleurs orange et rouge et révèle ainsi potentiellement des informations sur l'état de santé de l'oiseau. Des études récentes ont cependant montré que le son « tambourinant » émis pendant l'accouplement (et amplifié par la poche) distingue mieux que la couleur de la poche les mâles déjà accouplés des mâles peu chanceux. Les femelles semblent en effet préférer les mâles aux poches plus grandes qui émettent des sons tambourinants plus rapides et plus réguliers³⁸⁶.

(190)

À droite en haut :

Tangara masqué (*Ramphocelus nigrogularis*) – Parc national Yasuní

À droite en bas :

Moucherolle vermillon (*Pyrocephalus rubinus*) – Guápulo

Les couleurs criardes de nombreuses espèces d'oiseaux augmentent le risque de prédation (quoique nous devons garder à l'esprit que les oiseaux qui nous semblent les plus voyants ne le sont pas nécessairement pour un prédateur). En termes de lutte pour la vie, ces risques peuvent cependant être contrebalancés par des avantages comme de meilleures opportunités de reproduction³⁸⁷.







POURQUOI CONSERVER LA BIODIVERSITÉ ?

« En allant du terminal jusqu'à votre avion, vous remarquez un homme sur une échelle en train de retirer des rivets de l'aile de l'avion. Quelque peu préoccupé, vous vous approchez de l'employé et vous lui demandez ce qu'il est en train de faire. [...] "Ne vous inquiétez pas, vous dit-il. Je suis sûr que cet avion est beaucoup plus solide qu'il n'y paraît, vous ne craignez rien. En outre, j'ai déjà retiré beaucoup de rivets de ses ailes et il n'est pas encore tombé."

Les systèmes écologiques de la Terre [...] sont semblables aux pièces d'un avion qui font qu'il est un véhicule approprié pour les êtres humains. **Dans la plupart des cas, l'écologue ne peut présager des conséquences de l'extinction d'une espèce pas plus qu'un passager aérien ne peut évaluer celles liées à la perte d'un seul rivet. Mais les deux peuvent facilement prévoir à long terme les résultats de l'extinction des espèces ou du retrait répété des rivets.** Aucun passager aérien sensé n'accepterait aujourd'hui qu'un avion perde continuellement des rivets. »

(193)

Paul et Anne Erlich, *Extinction : les causes et les conséquences de la disparition des espèces*, 1981

En Équateur, comme dans n'importe quel autre pays du monde, la biodiversité est confrontée à de sérieuses dégradations provoquées par les activités humaines pour répondre aux besoins croissants en ressources alimentaires, en eau, en bois, en combustibles et minéraux⁴¹⁴. Il est possible de prévoir les conséquences de certaines dégradations, comme celles entraînées par les transformations dans l'usage des terres, qui sont progressives⁴¹⁵⁻⁴¹⁸. D'autres perturbations, liées aux changements climatiques par exemple, se manifestent par des impacts sur l'environnement relativement aléatoires mais de plus en plus fréquents et importants⁴¹⁹⁻⁴²¹. La disparition d'habitats dans les pays tropicaux se traduit directement par une perte d'espèces⁴²². L'évaluation du taux de perte de biodiversité due à ces impacts s'est révélée difficile dans les écosystèmes tempérés bien étudiés, et elle est presque impossible dans les pays tropicaux mégadiversifiés⁴²³. Peu de données sont disponibles pour l'Équateur, la plupart concernent les plantes et les amphibiens, mais celles dont on dispose sont très inquiétantes. Au cours des 250 dernières années, 19 à 46 espèces de plantes endémiques ont disparu⁴²³ et 155 espèces recensées par des botanistes du XIX^e siècle, autour de Quito, furent collectées dans des forêts qui n'existent plus³⁰. À l'heure actuelle, 282 espèces, soit 7 % de la flore endémique équatorienne, sont classées parmi les espèces en péril⁴²³. On prévoit qu'entre 2 400 et 4 550 espèces végétales auront disparu dans le bassin amazonien⁴²⁴ dans quarante ans. Concernant la faune, 44 espèces d'amphibiens équatoriens ont vu leur abondance diminuer ces 20 à 40 dernières années⁴²⁵, certaines ont même disparu de zones pourtant sauvages comme les *páramos*⁴²⁶. Globalement, les taux actuels de diminution et d'extinction des espèces d'amphibiens sont multipliés par plus de 200 par rapport à ceux déjà enregistrés⁴²⁷. Les taux actuels d'extinction des espèces au niveau mondial sont 100 à 1 000 fois supérieurs à ceux enregistrés au cours des 65 derniers millions d'années⁴²⁸.

Jusqu'à quel point la disparition d'espèces nous touche-t-elle ?

De nombreuses études ont montré que la diminution de la diversité des espèces aura des conséquences importantes sur le fonctionnement des écosystèmes⁴²⁹⁻⁴³⁰ et sur le bien-être des populations humaines^{431, 605, 625}. Nous avons besoin de toutes les espèces, car une diminution de leur nombre, surtout dans des milieux très diversifiés, réduit la stabilité des écosystèmes⁴³². De plus, grâce à des mécanismes de résilience, la biodiversité minimise la probabilité de grands changements dans les écosystèmes en réponse aux changements environnementaux globaux⁴³³⁻⁴³⁴. Si certains processus écosystémiques sont contrôlés principalement par les facteurs abiotiques et sont peu sensibles à la perte de biodiversité, la plupart sont extrêmement dépendants du rôle écologique d'organismes vivants liés par des réseaux alimentaires complexes et interactifs⁴²⁹. En Équateur, par exemple, les singes-araignées se nourrissent de fruits provenant d'au moins 152 espèces végétales et consomment les graines de plus de 98 % d'entre elles. On a estimé qu'ils dispersent environ 195 000 graines par an sur une distance de plus de 1 250 mètres⁴³⁵. La diminution des populations de singes-araignées influe probablement sur la dynamique de la diversité des arbres forestiers⁴³⁶. Dans les pages suivantes, nous nous attachons à mettre en lumière d'autres rôles importants joués par les espèces des écosystèmes équatoriens, depuis les petits invertébrés jusqu'aux super-prédateurs. La disparition de

De nombreuses études ont montré que la diminution de la diversité des espèces aura des conséquences importantes sur le fonctionnement des écosystèmes et sur le bien-être des populations humaines.

ces espèces, surtout celles qui figurent aux deux extrémités des réseaux alimentaires, aura probablement de lourdes conséquences sur le bien-être des populations humaines⁴³⁷⁻⁴³⁸. Malheureusement, contrairement aux fluctuations du prix du pétrole, la diminution du nombre d'espèces ou les extinctions n'ont pas d'impacts immédiats et significatifs sur la vie quotidienne des hommes (sur le coût des déplacements, les ressources alimentaires ou les moyens de chauffage). Dans ce contexte, il est difficile de convaincre les populations et les gouvernements de l'importance majeure de la biodiversité⁴³⁹. Une des approches possibles consiste à attribuer une valeur économique à la biodiversité.

Valeur économique de la biodiversité

Selon le concept des biens et services générés par les écosystèmes, ceux-ci sont directement ou indirectement utiles aux hommes⁴⁴⁰. Les biens consistent en produits tels que les aliments, les fibres, les plantes médicinales, les revenus du tourisme, etc. Les services quant à eux sont représentés par un ensemble de fonctions comme le stockage du carbone, l'approvisionnement en eau, la résistance aux invasions biologiques, la pollinisation, la régulation du climat, la lutte contre les ravageurs ou la fertilité du sol^{431, 612}. Au niveau mondial, presque 60 % de ces services sont exploités de manière non durable⁴¹⁴. Attribuer une valeur économique aux biens et services fournis par les écosystèmes est un outil essentiel, non seulement pour évaluer l'importance relative des différentes composantes du système, mais également pour informer les décideurs qui ignorent ces questions environnementales⁴⁴¹⁻⁴⁴².

Certains des bénéfices directs tirés de la biodiversité ont été évalués pour l'Équateur. Par exemple, la valeur économique des mangroves équatoriennes a été chiffrée à 13 000 dollars par hectare et par an⁴⁴³⁻⁴⁴⁴. Entre 1969 et 2001, on estime que la côte équatorienne a perdu environ 200 000 hectares de mangroves⁴⁴⁵⁻⁴⁴⁶. Dans l'ouest de l'Équateur, la valeur d'une zone de 1 000 m² susceptible d'être la source de nouveaux médicaments est évaluée à 9 177 dollars⁴⁴⁷, ce qui fait de cette région une des plus précieuses en termes de bioprospection parmi les 18 points chauds de biodiversité recensés dans le monde⁴⁴⁸. Au-delà des bénéfices directs, les activités de bioprospection et les programmes de découverte de substances médicinales peuvent induire l'amélioration des infrastructures, le dépôt de brevets locaux, le développement de capacités de recherche et des formations de personnel qualifié avec un impact positif sur la conservation de zones de grande biodiversité⁴⁴⁹. Dans les îles Galápagos, le tourisme rapporte presque 60 millions de dollars par an et fait vivre 80 % des habitants de l'île⁴⁵⁰. Grâce aux Galápagos, l'Équateur est rapidement devenu dans les années 1990 l'une des premières destinations écotouristiques au monde, ce qui a permis de mettre en valeur des centaines de projets communautaires dans le pays⁴⁵¹. Ces deux derniers exemples montrent que, au-delà des revenus monétaires, la biodiversité est essentielle au développement de pays mégadiversifiés comme l'Équateur⁴⁵². Il est difficile d'évaluer les effets plus indirects des services engendrés par les écosystèmes, mais on s'attend à ce que le capital naturel de ces services soit étonnamment élevé⁴⁴⁰. La valeur économique de la séquestration du carbone pour limiter les conséquences du réchauffement global est estimée à 2 000 dollars par hectare dans les forêts primaires et secondaires⁴⁴⁸. Généralement, l'économie néoclassique n'inclut pas ces services dans l'évaluation du bien-être et des revenus, essentiellement parce que parmi eux nombreux sont ceux qui n'ont pas de valeur marchande⁴⁵³⁻⁴⁵⁴ (un air non pollué, la pollinisation...). Or l'évaluation de ces services est cruciale, puisque non seulement elle stimulerait le besoin d'investir dans la conservation de nos ressources naturelles, mais elle contribuerait également à prévoir la

Dans l'ouest de l'Équateur, la valeur d'une zone de 1 000 m² susceptible d'être la source de nouveaux médicaments est évaluée à 9 177 dollars, ce qui fait de cette région une des plus précieuses en termes de bioprospection parmi les 18 points chauds de biodiversité recensés dans le monde.

baisse éventuelle de productivité due à la perte du capital naturel⁴⁵⁵⁻⁴⁵⁶. Au-delà de ces considérations académiques, la rareté croissante des services écologiques du fait de la diminution des habitats sauvages et naturels pourrait leur donner une valeur commerciale jusqu'ici sous-évaluée. Cette reconnaissance a conduit à l'apparition du concept de paiement pour services environnementaux (PSE), par lequel les bénéficiaires extérieurs des services fournis par l'écosystème rémunèrent de manière directe, contractuelle ou conditionnelle les détenteurs locaux de la terre et ceux qui la travaillent, en échange de pratiques garantissant la conservation et la restauration des écosystèmes⁴⁵⁷⁻⁴⁵⁸. En Équateur, plusieurs PSE ont été développés, comme par exemple les fonds pour la conservation des bassins hydrographiques pour l'alimentation en eau potable de Quito⁴⁵⁹ et de Cuenca⁴⁶⁰, le programme PROFAFOR⁴⁶¹ de séquestration du carbone, mis en place il y a seize ans, ou des programmes pour la conservation de la biodiversité dans des systèmes agroforestiers⁴⁶². Bien que l'Équateur soit l'un des pays d'Amérique du Sud dans lequel les PSE sont le plus développés, l'État doit accroître sa participation de manière urgente afin de consolider à long terme de telles opérations⁴⁶³.

Le contact avec la biodiversité devrait nous rappeler que nous faisons partie du processus d'évolution de la vie sur Terre et nous faire comprendre que nous sommes responsables de sa pérennité.

Valeur spirituelle de la biodiversité

Les écosystèmes produisent non seulement des biens et des services essentiels à l'humanité, mais ils sont également porteurs de valeurs religieuses, philosophiques, culturelles, morales, esthétiques ou encore psychologiques⁴⁶⁴. Ces valeurs seront illustrées dans les pages suivantes, c'est pourquoi nous avons décidé de nous pencher ici sur un domaine généralement peu évoqué : la biodiversité comme source d'inspiration pour la biomimétique. La biomimétique est l'application des propriétés biologiques rencontrées dans la nature à la conception de systèmes modernes d'ingénierie. De nombreuses technologies actuelles trouvent leur origine dans les diverses formes et fonctions qui se sont développées dans la nature⁴⁶⁵. La technologie du velcro a été inspirée par les graines de bardane⁴⁶⁶, certains systèmes de refroidissement ont été inventés à partir des termitières⁴⁶⁷, la structure des oreilles des chauves-souris⁴⁶⁸ a inspiré la conception de radars, les propriétés de plantes aquatiques comme le lotus⁴⁶⁹ ont aidé à l'élaboration de peintures autonettoyantes... On trouve d'innombrables exemples d'inventions ingénieuses inspirées de la nature. De très nombreux matériaux observés en milieu naturel combinent des propriétés telles que la miniaturisation, la résistance ou l'adaptabilité et sont des outils précieux pour la conception de technologies innovantes⁴⁷⁰. Il est intéressant de constater que dans certains cas les technologies inspirées de la nature offrent des solutions à des problèmes actuels liés à la préservation de l'environnement. Par exemple, les revêtements de bateaux qui imitent la structure de la peau du requin diminuent la résistance au flux et donc réduisent la consommation de carburant⁴⁷¹.

Les valeurs spirituelles dont la biodiversité est porteuse la rendent inestimable pour l'humanité⁴⁷². Cependant, la biodiversité revêt également une valeur propre, intrinsèque, qui implique que toutes les formes de vie ont le droit d'exister⁴⁷³. Même si cette valeur ne peut être mesurée scientifiquement⁴⁷⁴, elle imprègne toutes les formes de cultures et de religions et doit impérativement être conservée⁴⁷⁵⁻⁴⁷⁶. La plupart des religions dans le monde croient en des liens sacrés entre les êtres vivants⁴⁷⁷. Le contact avec la biodiversité devrait nous rappeler que nous faisons partie du processus d'évolution de la vie sur Terre et nous faire comprendre que nous sommes responsables de sa pérennité.





BIENS ET SERVICES DES ÉCOSYSTÈMES : la valeur utilitaire de la biodiversité

Les écosystèmes, moteurs de la planète, nous fournissent tout, de l'eau que nous buvons aux aliments que nous consommons jusqu'aux fibres dont nous nous vêtons.

Les services qu'ils apportent, comme l'épuration des eaux, la régulation du climat, la production d'énergie et de ressources biologiques, sont essentiels à la vie de l'humanité. La valeur réelle de ces services dépasse de très loin la valeur monétaire qui leur est généralement attribuée⁴⁷⁸⁻⁴⁷⁹.

Lacs d'Atillo – Parc national Sangay

Le *páramo* est une source constante et sûre d'eau de grande qualité, en raison de son climat froid et humide et de l'absence de variations pluviométriques saisonnières. Les réserves d'eau dans les *páramos* équatoriens couvrent environ 660 000 hectares. Elles concourent à plus d'une vingtaine de services écosystémiques différents, qui vont de la formation du sol à la régulation et à l'épuration de la ressource en eau⁴⁸¹.



Ruisseau de páramo – Parc national du Cotopaxi

(200)

Les activités d'irrigation sont responsables de la consommation d'eau la plus élevée (82 %) d'Équateur⁴⁶⁰. Pourtant, 7 % seulement des surfaces cultivées sont irriguées et les pertes en eau y sont supérieures à 50 %⁴⁸². Outre son usage pour la consommation directe, la ressource en eau a une grande importance économique, puisqu'elle alimente les usines hydro-électriques⁴⁸³. Au total, on estime que les zones humides andines en Amérique du Sud, incluant les *páramos*, fournissent des services environnementaux à plus de 100 millions de personnes⁴⁸⁴.

Dans les Andes,
les hommes aussi bien
que les oiseaux
dépendent étroitement
des zones humides.



Vanneau des Andes (*Vanellus resplendens*) – Parc national du Cotopaxi
À 4 000 m d'altitude, les sols des *páramos* ont, en général, une plus grande capacité de rétention d'eau qu'à des altitudes supérieures, où ils sont durs et peu profonds⁴⁸⁵. Ces sols permettent la formation de réserves d'eau, fréquentées par de nombreux oiseaux dont la richesse spécifique est généralement associée à la taille de la zone humide⁴⁸⁶. Ces zones humides fonctionnent comme des « points chauds » locaux pour les oiseaux et jouent un rôle clé dans la conservation de la biodiversité andine.



De nombreuses espèces de champignons, de fourmis ou de crabes contrôlent la disponibilité des ressources pour d'autres espèces par leur action au niveau des ressources biotiques et abiotiques. Ces espèces, considérées comme les « ingénieurs de l'écosystème », remplissent des fonctions écologiques essentielles telles que le recyclage des éléments nutritifs et la décomposition de la matière organique⁴⁸⁷.

Fourmi (*Pheidole* sp.) sur champignon – Parc national Yasuní

Les champignons et les fourmis composent une grande partie de la biomasse des organismes vivants dans tous les écosystèmes^{488,489}. Tandis que les champignons comprennent certains des plus grands organismes vivants sur la Terre⁴⁹⁰, les fourmis et les termites peuvent représenter un tiers de toute la biomasse animale d'une forêt humide en Amazonie⁴⁹¹. Les fourmis jouent un rôle clé dans le sous-sol par l'altération du milieu physique et chimique et ses effets sur les plantes et les micro-organismes^{488,492}. Dans les écosystèmes subtropicaux, l'activité des fourmis peut entraîner un taux de renouvellement du sol allant jusqu'à 10 tonnes de sol par hectare et par an⁴⁹³.



Crabe-fantôme (*Ocypode gaudichaudii*) – Mompiche

Les crabes des milieux intertidaux sont des espèces ingénieurs cruciales pour le bon fonctionnement de ces écosystèmes. Par leurs activités de dépôt et par le creusement de terriers, ils contrôlent la disponibilité des ressources de la zone intertidales pour d'autres espèces⁴⁸⁷. Ces crabes contribuent également à augmenter le drainage du sol, le taux de décomposition de la matière organique et la production primaire⁴⁹⁴⁻⁴⁹⁵.



La dispersion des graines et la pollinisation sont des processus essentiels au maintien des écosystèmes naturels et anthropisés⁴⁹⁶⁻⁴⁹⁹. Pour leur reproduction, 60 % à 90 % des espèces végétales ont besoin d'une pollinisation par les animaux⁵⁰⁰, et 70 % à 98 % des espèces arbustives dans les forêts humides produisent des graines qui sont dispersées par ces derniers⁵⁰¹⁻⁵⁰².



Colibri étincelant (*Aglaeactis cupripennis*) pollinisant une puchick (*Tristerix longibracteatus*) – Réserve Yanacocha

Une étude portant sur les plantes visitées par les colibris sur le versant est des Andes équatoriennes fondée sur 3 200 observations a montré que les colibris visitent 12 familles de plantes, 29 genres et 72 espèces, pour la plupart des broméliacées, des orchidées et des éricacées⁵⁰⁵. La pollinisation par les colibris est cruciale pour les écosystèmes forestiers, et on a montré que l'extinction locale de certaines espèces dans les montagnes équatoriennes altère la reproduction de certaines plantes autochtones⁵⁰⁶.

À gauche :

Araçari multibande (*Pteroglossus pluricinctus*) se nourrissant des fruits du *Trattinnickia glaziovii* (Burséracées) – Parc national Yasuní

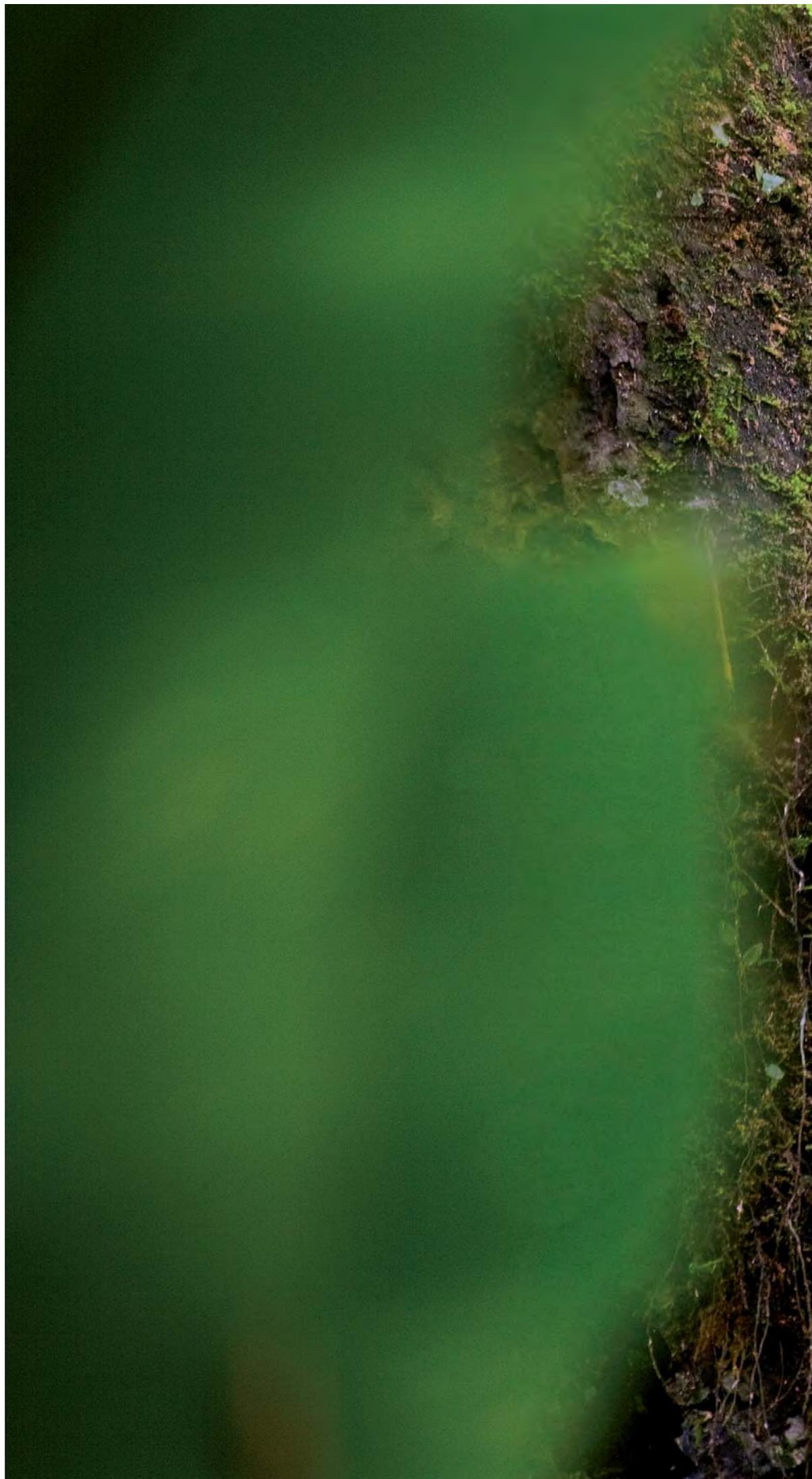
(205)

Les grands oiseaux frugivores comme les toucans peuvent se déplacer entre des forêts fragmentées, augmentant les probabilités de dispersion des graines. Ainsi, ils contribuent à maintenir la diversité génétique des plantes⁵⁰³. Dans l'Amazonie équatorienne, l'araçari multibande se nourrit de fruits sur plus de 40 espèces arbustives et disperse 84 % des graines à plus de 100 m des arbres mères. La distance maximale de dispersion mesurée est de 3,5 km⁵⁰⁴.

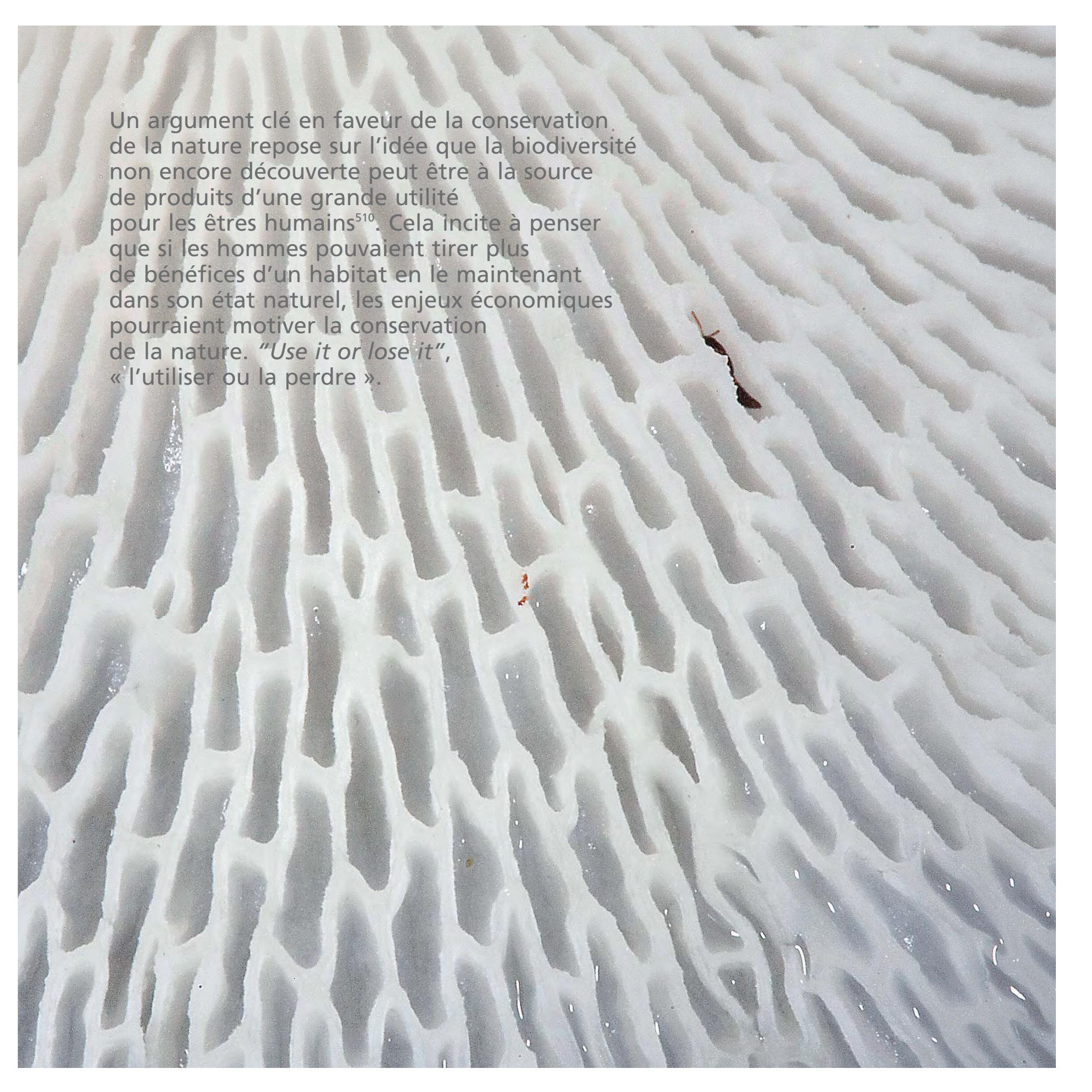
De nombreux prédateurs
sont considérés
comme des espèces
« clés de voûte ».
Dans une arche,
la « clé de voûte »
est soumise à une pression
moindre que les autres
pierres, cependant, sans elle,
l'arche s'effondre.
De même, la disparition
d'une espèce de ce type
peut avoir des effets
à long terme sur
les écosystèmes, même si
l'espèce en question a
une abondance faible⁵⁰⁷⁻⁵⁰⁸.

Ocelot (*Leopardus pardalis*)
Misahualli (animal en captivité)

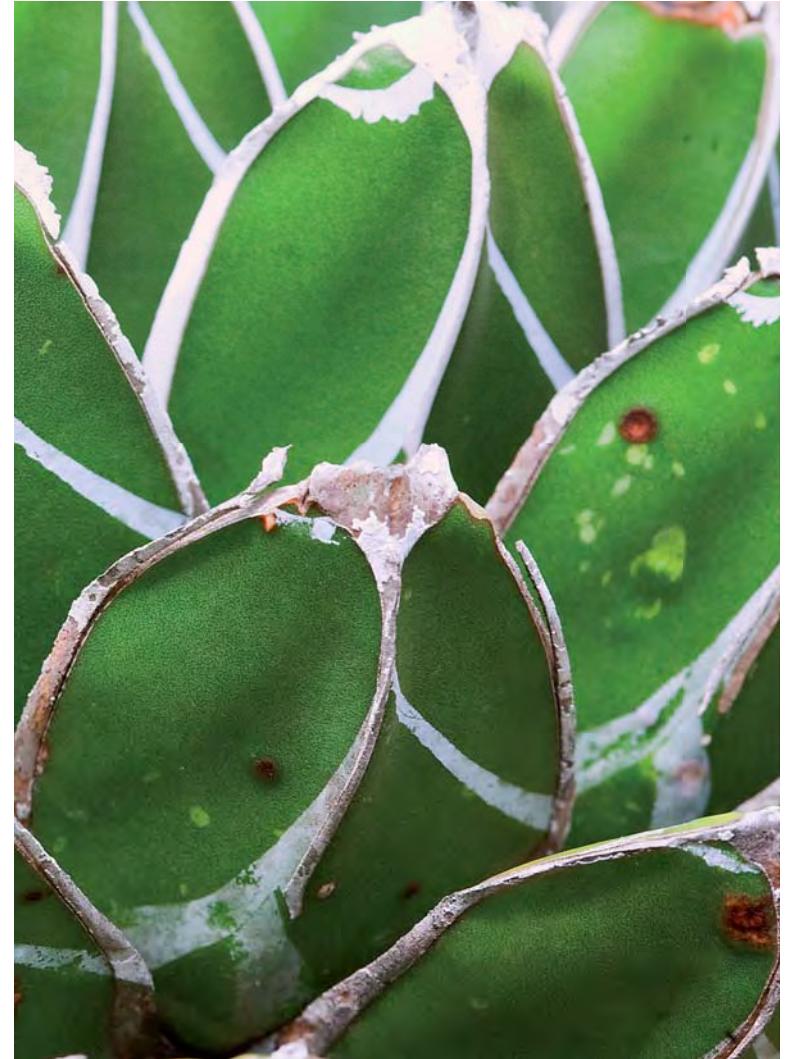
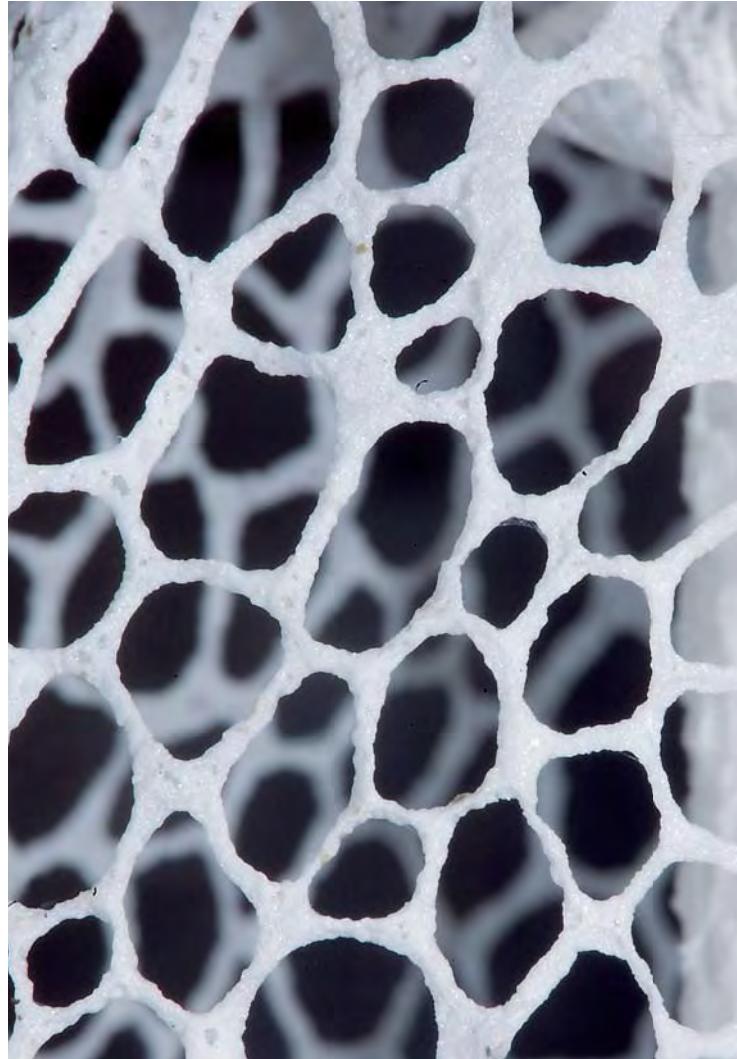
Une étude menée dans des îles dépourvues de prédateurs, aménagées dans le cadre d'un projet hydroélectrique au Venezuela, a montré que les densités de rongeurs et d'herbivores sont 10 à 100 fois plus élevées en l'absence de super-prédateurs. L'effet de la disparition d'un prédateur dans les forêts tropicales se propage dans la chaîne alimentaire, entraînant une réduction drastique des densités de semis et de juvéniles des arbres de la canopée⁵⁰⁹.







Un argument clé en faveur de la conservation de la nature repose sur l'idée que la biodiversité non encore découverte peut être à la source de produits d'une grande utilité pour les êtres humains⁵¹⁰. Cela incite à penser que si les hommes pouvaient tirer plus de bénéfices d'un habitat en le maintenant dans son état naturel, les enjeux économiques pourraient motiver la conservation de la nature. *"Use it or lose it"*, « l'utiliser ou la perdre ».



Champignon – Parc national Yasuní et cactus – Loja

Une grande partie de la biodiversité mondiale est peu explorée en tant que source d'agents bioactifs utiles pour la médecine. Étant donné que l'on estime connaître actuellement moins de 1 % des espèces bactériennes et seulement 5 % des espèces fongiques, les possibilités de découvrir de nouvelles sources de médicaments semblent illimitées⁵¹¹. Une étude récente portant sur 135 champignons microscopiques et bactéries parasites des plantes dans les forêts tropicales péruviennes a révélé que 74 % des espèces recensées étaient bioactives, ce qui signifie qu'elles sont potentiellement utiles à l'homme⁵¹².



Des molécules thérapeutiques découvertes sur la peau de minuscules grenouilles jusqu'aux composés chimiques nocifs stockés dans le bois d'arbres gigantesques, les services rendus par la biodiversité sont innombrables.

Dendrobate (*Epipedobates darwinwallacei*) – Réserve intégrale d'Otonga

Au cours des vingt dernières années, plus de 35 % des nouveaux médicaments ont été créés à partir de substances naturelles⁵¹³. Il y a plus de quinze ans, un nouvel alcaloïde appelé épibatidine fut découvert dans la peau d'une grenouille vénéneuse équatorienne du genre *Epipedobates*. Cette molécule possède un effet analgésique 200 fois plus puissant que la morphine⁵¹⁴. Cette toxine avait été découverte il y a longtemps par les indigènes qui l'utilisaient comme une arme puissante⁵¹⁵. Plus de 100 traces d'alcaloïdes ont été repérées dans des extraits de peau de grenouille, ce qui représente de nouveaux défis de bioprospection pour l'avenir⁵¹⁶.



(211)

Fromager dans la forêt humide amazonienne – Parc national Yasuní

Les forêts absorbent le dioxyde de carbone de l'atmosphère, stockent le carbone pendant leur croissance, et quand elles sont adultes, le séquestrent dans la biomasse et dans le sol. Cette réserve de carbone est libérée si la forêt est coupée. Actuellement, la déforestation est à l'origine de 18 % des émissions de carbone, soit la troisième source d'émissions en volume global⁵¹⁷. Bien que les recherches se soient focalisées sur la séquestration du carbone dans les forêts naturelles modifiées et dans les plantations forestières, des études récentes ont montré que les forêts anciennes fonctionnent probablement comme des « réservoirs de carbone »⁵¹⁸⁻⁵²⁰. Préserver les forêts ayant de grandes réserves de biomasse éviterait des émissions importantes de carbone dans l'atmosphère⁶²³.

La vie des êtres humains dépend directement d'un grand nombre de services vitaux fournis par la biodiversité tels que l'alimentation ou la protection contre les catastrophes naturelles.





Mangrove – estuaire du fleuve Muisne

Les écosystèmes de mangrove protègent les humains contre les catastrophes naturelles telles que les tsunamis et les tempêtes tropicales. On a montré que les mangroves ont contribué à réduire considérablement le nombre de victimes lors du cyclone qui a frappé la côte orientale de l'Inde en 1999⁵²⁸. Si l'on considère tous les autres bénéfices apportés par ces écosystèmes – les ressources halieutiques, leur fonction de sanctuaires pour les oiseaux ou de séquestration du carbone –, leur protection doit être une priorité.

À gauche :

Paysage agricole dans les Andes centrales équatoriennes – communauté Tzalarón – Chimborazo

La biodiversité agricole comprend d'innombrables plantes qui nourrissent et soignent, de nombreuses variétés de plantes cultivées aux caractéristiques nutritionnelles spécifiques, des espèces animales d'élevage adaptées aux milieux difficiles, des insectes qui pollinisent les champs et des micro-organismes qui régénèrent les sols agricoles⁵²¹. Cette biodiversité est essentielle à la sécurité alimentaire et au développement de formes de vie durables⁵²²⁻⁵²³. Plusieurs études ont montré que les petits agriculteurs tendent à exploiter de nombreuses espèces végétales et animales dans leurs agrosystèmes⁵²⁴⁻⁵²⁶. Sur leurs parcelles, ils réussissent à engendrer une grande variété de produits utiles tout en protégeant la biodiversité et en maintenant des fonctions écologiques essentielles⁵²⁷.

INSPIRATION ET SYMBOLES CULTURELS

La valeur spirituelle de la biodiversité

Le respect de la nature et de la diversité du monde vivant est présent dans l'ensemble des religions et des cultures. Dans les domaines de l'éthique, de l'affectif et de l'imaginaire, par les liens établis avec des espèces à valeur symbolique ou des lieux auxquels on accorde une grande valeur spirituelle, les hommes sont en étroite relation avec la biodiversité. La nature demeure une source de repos et de beauté bénéfique à notre équilibre intérieur.





Vue du volcan Cotopaxi depuis la réserve d'Antisana

Presque toutes les religions andines considèrent les montagnes et les volcans comme des lieux sacrés, les demeures des dieux⁵²⁹. Le pouvoir des volcans est source d'inspiration et de frayeur, en raison de leur altitude, mais également de la mystérieuse nébulosité qui les entoure, et des risques mortels d'éruptions et d'éboulements qu'ils représentent. Pour les esprits superstitieux, les âmes des volcans sont des divinités qui protègent les habitants des versants de toute menace. En Équateur, pour habiter dans la vallée d'Ibarra, de nombreuses personnes d'Otavalo doivent s'allier avec le volcan « *mama (maman) Cotocachi* », ou « *taita (papa) Imbabura* »⁵³⁰.



« ... Nous avons un grand besoin d'étendues sauvages [...], essentielles à une véritable connaissance de nous-mêmes, de notre culture, de notre nature humaine propre et de notre place dans la nature. [...] C'est un besoin de terres dont nous ne sommes pas les maîtres – des terres sauvages où nous nous sentons reliés à l'ensemble des créatures vivantes qui tirent leur existence du soleil. »

Howard Zahniser,
Le besoin de terres sauvages, 1956.



**Ensemble de paysages sauvages
dans les *páramos* équatoriens**

Les paysages sauvages comme ceux rencontrés dans les *páramos* sont caractérisés par le silence et les changements météorologiques soudains, ce qui rend les hommes terriblement insignifiants et les remet à leur juste place. Faire l'expérience de la nature sauvage conduit à une plus grande confiance et à un plus grand respect de soi⁵³¹⁻⁵³².



On ressent la beauté de la nature lorsque l'on réussit à saisir l'esprit, l'essence des étendues sauvages. L'expérience de cette beauté se traduit souvent par un sentiment profond de bien-être. C'est assurément une raison majeure de protéger la nature⁵³⁴⁻⁵³⁵.



Palmier à cire andin (*Ceroxylon echinulatum*) dans la forêt de nuages de Nanegalito

Les palmiers possèdent des qualités esthétiques universellement reconnues, ainsi qu'en témoigne leur présence dans de nombreuses villes du monde. En Équateur, les palmiers revêtent également une forte composante culturelle. En Amazonie, une étude ethnobotanique a identifié 191 usages différents des palmiers par les Indiens Huaorani. La plupart des espèces sont exploitées pour la construction de maisons, l'alimentation, la fabrication d'ustensiles ménagers et de matériel de chasse et de pêche⁵³⁶. Dans les Andes, on utilise les feuilles du palmier *C. echinulatum*, en voie de disparition, comme des corbeilles au cours de la procession du Dimanche des Rameaux⁵³⁷. Au total, un tiers de toutes les plantes équatoriennes sont mises à profit par les hommes⁶⁰⁸.

À gauche :

Vue du volcan Cotopaxi depuis la réserve écologique d'Antisana – Parc national du Cotopaxi

La couleur, la forme et la texture sont les caractéristiques visuelles et esthétiques de tout paysage. En Équateur, les sommets enneigés des volcans, énormes mais parfois invisibles, composent des paysages de sierra d'une beauté extraordinaire. Alors que ces sommets enneigés comptent pour beaucoup dans l'esthétique et le symbolisme des volcans, ils pourraient rapidement disparaître. Une étude portant sur 376 glaciers andins a montré qu'ils ont perdu 43 % de leur volume et 48 % de leur superficie entre 1963 et 2006⁵³⁸.



Le contact avec la nature est bénéfique à notre équilibre psychique. De nombreuses études montrent que le contact avec les espaces naturels favorise la réduction du stress⁵³⁹⁻⁵⁴⁰ et améliore les facultés de récupération. Ainsi, une vue ouverte sur un environnement naturel plutôt que sur un mur augmenterait la faculté de récupération après une opération chirurgicale et améliorerait la productivité au travail⁵⁴¹⁻⁵⁴².

Forêt tropicale à la tombée de la nuit – Parc national Yasuni

Le contact direct avec la nature (à la différence des visites dans les parcs zoologiques ou des programmes de télévision sur ce thème) contribue à une meilleure santé mentale et à un meilleur développement psychique aussi bien des enfants que des adultes⁵⁴³⁻⁵⁴⁴. On a démontré que ces bienfaits dus au contact avec les espaces naturels augmentent avec la diversité des habitats, des plantes et des oiseaux⁵⁴⁵.





Coraux – Parc national des Galápagos, île de Floreana
Ruisseau glaciaire – Réserve écologique d'Antisana

À droite :

Oreille d'éléphant (*Xanthosoma* sp.) – Réserve intégrale d'Otonga

Si nous observons de près les organismes vivants, par exemple du corail ou une plante, nous pouvons y déceler un ordre et une unité. Cet ordre peut apparaître sous de multiples formes, à différentes échelles, parfois de façon symétrique⁵⁴⁹. Si l'on rompt cette symétrie, par exemple en augmentant le temps de pause d'une photographie, on introduit une perception dynamique de la nature et la frontière entre le réel et l'imaginaire s'évanouit⁵⁵⁰. La nature est une source illimitée d'inspiration artistique.



Dès les civilisations les plus anciennes, les artistes et les écrivains ont été parmi les premiers à souligner l'importance de la nature comme source d'inspiration⁵⁴⁶. Les artistes peuvent facilement trouver l'inspiration en changeant leur façon de regarder les formes naturelles, en cherchant des détails, des textures et des formes, sans s'arrêter aux premières apparences⁵⁴⁷⁻⁵⁴⁸.



(224)

La sauvegarde d'espèces charismatiques telles que l'ours à lunettes est importante, car elles sont emblématiques de l'attachement porté à la nature. On prévoit malheureusement pour 2030 l'extinction de plusieurs populations de ces merveilleux animaux⁵⁵¹.



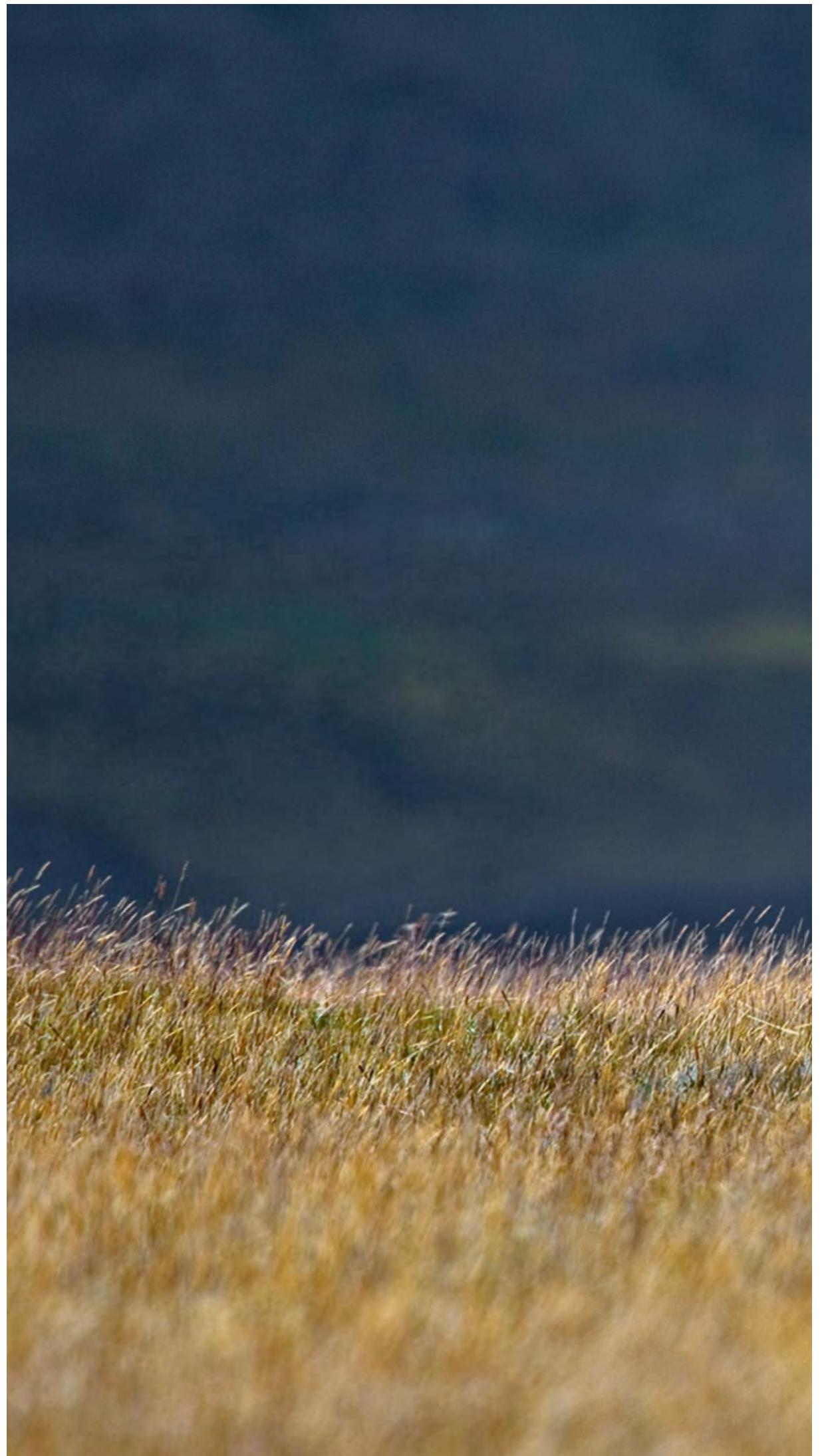
Ours à lunettes (*Tremarctos ornatus*) – Réserve de Maquipucuna

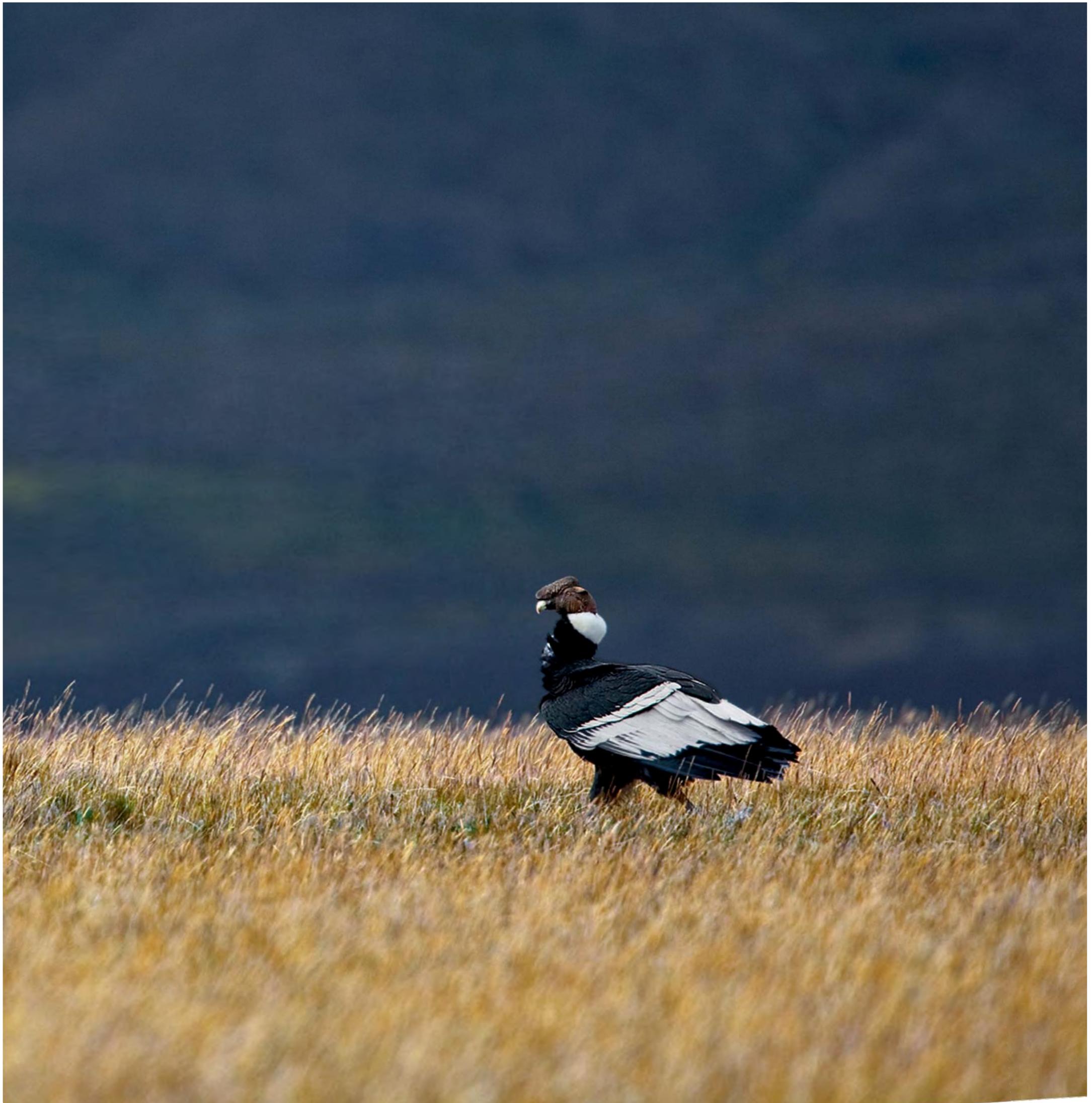
La cause profonde de la diminution récente et continue des espèces carnivores réside dans la croissance démographique et ses impacts, comme la perte d'habitat et la chasse⁵⁵¹. En Équateur, l'ours à lunettes fréquente les *paramos* et les forêts de nuages, un territoire qui couvre une superficie d'environ 58 000 km², dont seulement 30 % sont intégrés dans le système national des aires protégées. Étant donné que la superficie originelle de ces habitats a été réduite de 40 %, la répartition de l'ours à lunettes est fortement fragmentée. Cette fragmentation de son habitat constitue un des plus grands défis pour la conservation de l'espèce, qui généralement se déplace sur de grandes distances à la recherche de sa nourriture⁵⁵². Le risque d'extinction des grands carnivores dépend aussi de la biologie des espèces. Les plus menacées sont celles dont les aires de répartition sont limitées, qui ont des densités de population faibles, des périodes de gestation longues et qui ont besoin de grands territoires⁵⁵¹.

L'Équateur est sur le point de perdre son symbole national : le condor des Andes. On dénombre moins de 100 individus sauvages et ce chiffre ne cesse de diminuer⁵⁵³.

Condor des Andes (*Vultur gryphus*)
Réserve écologique de l'Antisana

Le condor des Andes est un symbole national non seulement en Équateur, mais également en Bolivie, au Chili et en Colombie. Il figure sur le blason de ces quatre pays. Sur le monument de la place de l'Indépendance à Quito, la victoire sur les troupes coloniales espagnoles est représentée par un condor triomphant, qui tient dans son bec le maillon cassé d'une chaîne. Les condors sont représentés dans l'art andin depuis environ 2500 av. J.-C. Ils jouent un rôle important dans le folklore et les mythologies de nombreuses cultures indigènes d'Amérique du Sud et centrale, pour lesquelles ils symbolisent la mort et la renaissance, ainsi que la purification⁵⁵⁶⁻⁵⁵⁷.







PLAIDOYER EN FAVEUR DU TAPIR DES MONTAGNES

Avec moins de 2 500 individus, le tapir des montagnes est l'un des grands mammifères les plus menacés d'extinction au monde.

Il pourrait avoir disparu dans les 10 à 20 prochaines années⁵⁵⁸. Pourquoi s'inquiéter ?

Premièrement, parce que, comme les autres espèces de tapirs, le tapir des montagnes joue un rôle clé dans la dispersion et la survie des graines de nombreuses plantes⁵⁵⁹. En effet, il peut consommer plus de 200 espèces de végétaux, dont plus de 40 % germent dans ses fèces⁵⁶⁰.

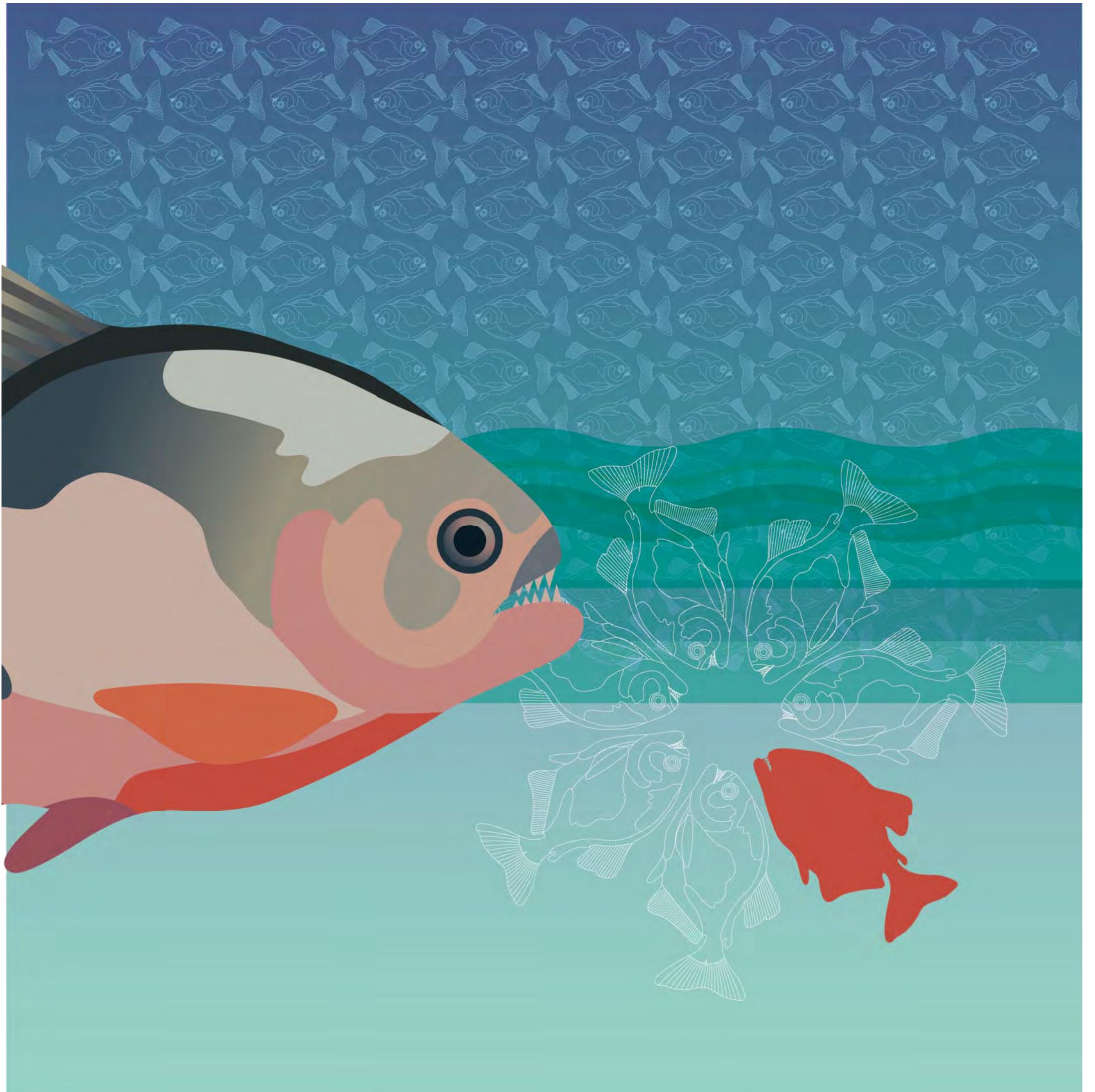
Deuxièmement, les tapirs appartiennent à une famille de mammifères très particulière d'un point de vue évolutif⁶¹¹.

Parmi les quatre espèces recensées dans le monde, trois vivent en Équateur et toutes figurent sur la liste rouge de l'UICN.

Par conséquent, la disparition du tapir des montagnes constituerait une perte importante de biodiversité.

Tapir des montagnes (*Tapirus pinchaque*) – Réserve écologique de Cayambe-Coca

Une rareté dans le *páramo* équatorien : le tapir des montagnes. Même les animaux discrets vivant dans des zones protégées sont victimes du braconnage, activité qui peut éliminer toute une population. Les autres menaces qui pèsent actuellement sur la conservation de cette espèce emblématique sont la destruction des forêts d'altitude et des habitats de *páramo*, ainsi que l'introduction généralisée du bétail⁵⁵⁸.





ENGAGEMENTS

« Une société est définie non pas par ce qu'elle crée,
mais par ce qu'elle choisit de ne pas détruire. »

Edward O. Wilson, Conférence internationale sur la biodiversité, Paris, 2005.

Conservation

Des stratégies multiples pour des solutions pratiques

« Si l'on veut que la conservation de la biodiversité tropicale évolue positivement, il faut analyser les raisons pour lesquelles tant de parcs échouent. Aucune de ces raisons n'est agréable à entendre et remettre en cause nombre d'entre elles serait politiquement incorrect. »

John Terborgh, *Requiem pour la nature*, 1999.

Comme dans de nombreux pays tropicaux, la conservation de la biodiversité en Équateur s'oppose aux industries qui détruisent les forêts pour leur propre intérêt, à la transformation des habitats naturels en zones agricoles et de pâturages pour lutter contre la pauvreté, ou aux stratégies nationales de développement qui reposent sur l'exploitation des ressources naturelles comme les minéraux et le pétrole afin soi-disant de soutenir la croissance économique. La conservation de la biodiversité doit faire face à un ensemble complexe de composantes socio-économiques, politiques, écologiques et culturelles, ce qui implique que cette question ne peut être traitée en quelques lignes. Le lecteur pourra se référer à des synthèses sur le sujet^{106, 477, 561-565} et à des travaux spécifiques portant sur les îles Galápagos^{418, 567, 616}. Nous allons ici détailler trois axes susceptibles de favoriser la conservation de la biodiversité en Équateur.

1. *Créer une agence d'État puissante qui soutienne directement la conservation sur le terrain, en collaboration avec des organisations internationales.* Une agence d'État aurait pour tâche d'améliorer le fonctionnement des réserves naturelles non seulement en augmentant leur personnel et leur financement⁵⁶⁸, mais également en gérant les réserves dans des systèmes régionaux socio-écologiques et non dans des espaces fermés⁵⁶⁹⁻⁵⁷⁰. Pour ce faire, les organisations internationales peuvent être des partenaires à même de fournir un appui financier, de partager leurs expériences ou de servir de garde-fous contre la corruption⁵⁷¹.

2. *Mettre au point des stratégies innovantes pour l'utilisation durable des ressources naturelles.* En Équateur, il est très fréquent que ce soit les « non-pauvres » qui aient non seulement accès aux zones riches en biodiversité mais également aux moyens économiques et politiques qui permettraient une utilisation durable et économiquement attractive des ressources naturelles⁵⁷². Il serait donc de la responsabilité des gouvernements et des industriels de rapidement relever le défi de la gestion durable des écosystèmes cultivés, en combinant par exemple les stratégies adoptées par les indigènes et les techniques modernes d'exploitation⁵⁷³.

3. *Soutenir les stratégies participatives de conservation.* Une utilisation durable de la biodiversité telle que l'écotourisme a été choisie avec succès par des centaines de communautés locales en Équateur⁵⁷⁴. Cependant, la participation des populations locales à la conservation de la nature ne sera couronnée de succès que si celles-ci obtiennent les revenus, la formation et le statut qu'elles méritent pour les services rendus à la nation⁵⁶⁹. Pour ce faire, elles auraient besoin d'un soutien juridique et politique plus fort de la part de l'État⁵⁷⁵.

(232)

La conservation de la biodiversité en Équateur devra bien entendu s'adapter, outre à des considérations théoriques, aux réalités et contraintes de chaque écosystème, espèce et population. Les solutions adoptées devront certainement combiner différentes perspectives idéologiques et réglementaires⁵⁷⁶⁻⁵⁷⁷, telles que centralisation et décentralisation, protectionnisme et libre-échange, activités des ONG et contrôles étatiques, projets professionnels et initiatives locales⁴⁷⁷. Dans le cas de l'Équateur, ces solutions profiteraient à court terme au pays et à long terme à toute l'humanité.



Forêt de nuages – Réserve de Maquipucuna

Les approches traditionnelles de la conservation suggèrent que la biodiversité sera préservée via la protection d'habitats naturels hébergeant une riche variété d'espèces. Cependant, cette hypothèse est contredite par les menaces qui surgissent au XXI^e siècle telles que le changement climatique ou les invasions biologiques qui peuvent affecter même des zones sauvages.



Entomologiste prélevant des insectes à l'aide d'un piège lumineux
Réserve de Bellavista

Les écosystèmes mégadiversifiés d'Équateur tels que les forêts humides posent de grands défis méthodologiques aux scientifiques. Des méthodes de prélèvement standardisées et d'analyses quantitatives sont nécessaires pour évaluer avec précision la biodiversité.

Recherche

Poser des bases solides pour la conservation

« Dans les pays en voie de développement [...] les universités et les centres de recherche se sont isolés dans une tour d'ivoire, et sont plus orientés vers des centres de recherche en Europe et aux États-Unis que vers les indéniables besoins [...] de leurs propres pays. »

J. Goldemberg, *Science*, 1998⁵⁷⁸

Notre connaissance des écosystèmes naturels équatoriens et de leur biodiversité a considérablement progressé ces dernières décennies. Cependant, cette connaissance n'a pas évolué au même rythme que la dégradation des écosystèmes naturels et elle est encore fragmentaire dans de nombreux domaines. *Quelle est l'étendue de la biodiversité en Équateur ? Comment et pourquoi la biodiversité change-t-elle ? Quelles sont les conséquences écologiques des changements de la biodiversité ? Comment mieux gérer et protéger la biodiversité ?* La conservation de la biodiversité exige de faire un choix entre les régions et les espèces à protéger, tout en incluant des facteurs politiques et socio-économiques tels que l'utilisation de la terre ou les volontés des gouvernements. En Équateur, ces décisions se révèlent difficiles à prendre pour les personnes en charge de la conservation et du développement durable, en raison du manque de données concernant la distribution spatiale et temporelle de la biodiversité. Des méthodes quantitatives mises au point par les scientifiques sont des outils potentiels d'aide à la décision car elles permettraient de comparer les différents types de données spatiales et temporelles^{128, 579-581}.

Un des principaux obstacles à notre compréhension des questions relatives à la conservation de la biodiversité en Équateur tient au financement limité et à court terme de la recherche fondamentale. Pour que les politiques s'intéressent davantage aux recherches sur la biodiversité, il est important qu'ils prennent conscience de l'importance des relations entre la santé de l'écosystème et le bien-être de l'humanité, qui sont traduites par la notion de services écologiques⁵⁸². Pour développer l'écologie en tant que science en Équateur, il est primordial d'augmenter le nombre de scientifiques d'excellence¹⁶². Dans le domaine des sciences naturelles, les programmes universitaires et les postes sont en nombre insuffisant et cet état de fait pousse les jeunes à s'expatrier, d'où une importante « fuite des cerveaux ». Des efforts doivent être entrepris pour retenir ces scientifiques de valeur, tout en continuant à encourager la coopération internationale⁵⁸³. Pour ce faire, il est nécessaire de réduire les contraintes administratives imposées aux chercheurs pour obtenir des autorisations de recherche. Cette situation décourage de nombreuses recherches et collaborations, tant avec des scientifiques équatoriens qu'avec des chercheurs étrangers. Par ailleurs, des collaborations internationales doivent encourager les chercheurs équatoriens en sciences naturelles à publier leurs résultats dans des revues internationales afin que ces résultats nombreux et de qualité portant sur la taxonomie, la répartition, l'écologie et l'évolution de la biodiversité en Équateur soient accessibles au plus grand nombre⁵⁸⁴. Ainsi, la connaissance scientifique encouragera la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité. Une société qui bénéficie d'une culture scientifique solide est supposée prendre des décisions responsables⁶¹³. Il est temps pour les scientifiques de s'exprimer clairement sur les risques liés à la perte de biodiversité et de s'efforcer de combler le fossé entre la science et l'action politique. Notre planète a besoin d'eux pour connaître la nature non seulement d'un point de vue rationnel, mais également dans les domaines de l'esthétique et de l'affectif.

Éducation

Rapprocher les enfants de la nature

« Lorsqu'on me pose la question : "Comment se fait-il que vous vous intéressiez aux animaux ?", je réponds : "Comment se fait-il que vous ayez perdu votre intérêt pour les animaux ?". »

Sir David Attenborough, *BBC Wildlife Magazine*, 2008.

Les enfants naissent avec une curiosité naturelle pour la diversité du monde qui les entoure. Dans la plupart des villes cependant, l'approche et l'expérience des enfants vis-à-vis de la nature ont radicalement changé ces dernières décennies. Bien que les enfants et les adolescents soient plus conscients des dangers qui menacent l'environnement, leur contact avec la nature s'amenuise⁵⁸⁵. Aux États-Unis, des professionnels de la santé publique et de la psychologie constatent que la jeunesse est de plus en plus coupée de la nature, avec des effets négatifs à long terme sur le développement des enfants⁵⁸⁵. La nature a pourtant beaucoup à leur offrir. Selon un nombre croissant d'études, les enfants élevés en contact avec la nature voient leur estime de soi se développer, ont de meilleures capacités à résoudre leurs problèmes et sont plus motivés pour apprendre⁵⁸⁶. Dans un autre domaine, l'éveil à toute vie spirituelle passe par un sentiment d'émerveillement et, pour un enfant, la nature est l'une des premières sources susceptibles d'offrir cette émotion.

L'éducation à l'environnement représente un grand espoir pour créer un monde meilleur. L'apprentissage de la nature tout au long de l'enfance est le meilleur moyen de savoir prendre plus tard des décisions adaptées sur la protection des plantes et de la faune, le changement climatique ou les modes d'utilisation des terres⁵⁸⁷⁻⁵⁸⁸. En Équateur, les enfants et les adolescents, surtout ceux qui vivent en ville, auraient besoin d'observer les colibris volant de fleur en fleur dans les jardins publics pour comprendre l'importance de la pollinisation, ils devraient se promener dans les forêts de Yasuní pour prendre conscience des millions d'années nécessaires pour que le pétrole se forme à partir des végétaux, ils devraient partir à la recherche des ruisseaux aux eaux claires et potables dans le páramo pour comprendre la valeur de l'eau et la force de la pression exercée par les hommes. En réalité, beaucoup de choses sur les forêts, les montagnes, les fleuves ou les océans ne peuvent pas être enseignées à l'école. Selon Stephen Jay Gould, « nous ne pouvons pas gagner le combat pour la sauvegarde des espèces et des milieux sans nouer des relations émotionnelles avec la nature, car nous ne nous battons pas pour sauver ce que nous n'aimons pas »⁵⁸⁹. Éducation et émotion ne devraient pas être incompatibles.

Même si les enfants d'Équateur qui ne vivent pas dans les grandes villes sont en contact avec la nature, des efforts devraient être entrepris pour qu'ils prennent davantage conscience avec leur communauté de problèmes environnementaux comme la qualité de l'eau, la gestion des déchets ou encore l'usage des pesticides. Des méthodes d'enseignement interactives qui mettraient en œuvre à la fois des opérations de nettoyage, des projets de recyclage, des plantations d'arbres ou des groupes de discussion sur la résolution pacifique de conflits environnementaux pourraient contribuer à faire des enfants des leaders écologiques et des modèles pour leur communauté⁵⁹⁰. Nous devons également enseigner aux enfants une éthique de la Terre. Des pratiques telles qu'assécher le dernier marais, couper la dernière forêt ou chasser le dernier singe ne sont pas tolérables, parce qu'en agissant ainsi, on détruit la faune, la flore et le paysage, membres à part entière de la communauté depuis plus longtemps que nous, et qui ont droit au respect⁵⁹¹.



Enfant et piranha à ventre rouge (*Pygocentrus nattereri*) – Parc national Yasuní
Tout enfant s'intéresse à la nature dès sa naissance ; le défi est de maintenir vivant cet intérêt.
Engager les enfants dans des activités de plein air est essentiel à leur développement.



(238)

Grenouille (*Pristimantis appendiculatus*) – Réserve intégrale d'Otonga
« J'aime l'aspect des grenouilles, et surtout leur façon de se rassembler dans des endroits humides par des nuits chaudes et de chanter des chansons d'amour. La musique des grenouilles [...] est pleine d'optimisme et de signification intérieure. »

Archie Carr, *The Windward Road*, 1955.

L'amour de la nature

Garder notre biophilie

« La grenouille ne boit pas toute l'eau de sa mare. »

Proverbe indien⁵⁹²

Henry David Thoreau, philosophe du XIX^e siècle, disait à propos des rapports de l'homme avec la nature que les êtres humains sont beaucoup plus riches lorsqu'ils se détachent des biens superflus et se laissent entraîner dans la beauté de la nature⁵⁹³. Comme nous l'avons déjà dit, la conservation de la nature touche à des questions socio-économiques complexes, et nombreux sont ceux qui dans les pays en voie de développement sont plus préoccupés par la recherche de leur déjeuner que par les débats autour de la philosophie de Thoreau. Toutefois, lorsque l'on parle de compensations entre la conservation de la biodiversité et le développement des régions pauvres, le débat est souvent exacerbé par les pays en voie de développement qui s'efforcent d'accéder aux modes de vie non durables et consuméristes des pays riches⁵⁹⁴.

En 1892, le naturaliste britannique Henry Walter Bates écrivait à propos des natifs d'Amazonie : « Ils pourraient planter les arbres fruitiers les plus variés autour de leur maison, semer du maïs indien, faire l'élevage de porcs, comme le ferait certainement tout colon européen intelligent, au lieu de cela, ils comptent sur la production de leurs petites plantations et se nourrissent uniquement de poisson et de farine. »⁵⁹⁵. Paradoxalement, l'élevage est à l'heure actuelle la première cause de déforestation en Équateur, et ses effets sur les sols vulnérables sont dévastateurs. Il n'y a rien de mal à désirer une vie meilleure et plus confortable. Mais l'idée selon laquelle on vit mieux en achetant à profusion et en gaspillant est vouée à « un échec au niveau planétaire »⁵⁹⁴. Notre société doit changer radicalement de point de vue et ne plus considérer que les biens matériels sont la chose la plus importante de l'existence. Selon David Orr, « il est plus logique de nous adapter à une planète aux ressources limitées que d'essayer de changer la planète pour qu'elle s'adapte à nos besoins illimités »⁵⁸⁹.

Nous devons changer notre point de vue, nos conceptions sur ce que veut dire vivre décemment en Équateur et conserver notre « biophilie », ce lien émotionnel que nous entretenons avec les autres formes vivantes⁵⁹⁶. L'Équateur est un pays où beaucoup de personnes ont l'occasion d'être en contact étroit avec la nature. Le citoyen le plus consumériste peut, tout en dînant dans un centre commercial à Quito, admirer des volcans grandioses aux sommets enneigés ou écouter le chant nocturne des grenouilles. Cependant, à l'instar de nombreux citoyens dans le monde, il semble qu'un nombre croissant d'Équatoriens ne voient dans la nature qu'une ressource à gérer ou des images proposées par un programme de télévision. Faire en sorte que les gens retrouvent l'amour de la nature est peut-être l'un des derniers moyens pour changer le sombre avenir de la biodiversité équatorienne.

1. Humboldt's letter to his brother from Cumaná De terre *In* Helferich G (2004) Humboldt's Cosmos, Gotham books.
2. Stepan NL (2006) *In*: Human Impacts on Amazonia, Posey DA & Balick MJ (eds), 17-32, Columbia University Press.
3. US Congress, OTA (1987) Technologies to Maintain Biological Diversity, Washington.
4. Holl F ed (2001) El regreso de Humboldt- Exposición en el Museo de la ciudad de Quito, Quito.
5. Stiling P (2002) Ecology: theories and applications. Prentice Hall.
6. Humboldt A & Bonpland A (1807) Essai sur la géographie des accompagné d'un tableau physique des régions équinoxiales, Paris.
7. Humboldt A (1966) Personal narratives of travels to the Equinoctial regions of the new continent, during the years 1799-1804, London.
8. Helferich G (2004) Humboldt's Cosmos, Gotham books.
9. Körner C (1999) Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems, Springer.
10. Schulenberg TS & Awbrey K (1997) The Cordillera del Condor Region of Ecuador and Peru, Conservation International Rapid Assessment Program, Washington.
11. Gaston KJ & Blackburn TM (2000) Pattern and Process in Macroecology, Blackwell.
12. Lomolino MV (2001) *Global Ecology and Biogeography* 10, 3-13.
13. Terborgh J (1985) *Ecology* 66, 1237-1246.
14. Navas CA (2006) *Integrative and Comparative Biology* 46, 82-91.
15. Ricklefs R (2004) *Ecology Letters* 7, 1-15.
16. Hughes C & Eastwood R (2006) *PNAS* 103, 10334-10339.
17. Garzone CN et al. (2008) *Science* 320, 1304-1307.
18. Antonellia A et al. (2009) *PNAS* 106, 9749-9754.
19. Chaves JA et al. (2007) *Molecular Phylogenetics and Evolution* 43, 795-807.
20. Weir JT (2006) *Evolution* 60, 842-855.
21. Ribas CC et al. 2007. *Proceedings of the Royal Society of London B* 274, 2399-2408.
22. Jost L (2004) *Lyonia* 7, 42-47.
23. von Hagen KB & Kadereit JW (2003) *Evolution* 57, 2507-2518.
24. Brumfield RT & Edwards SV (2007) *Evolution* 61, 346-367.
25. Dingle CI et al. (2006) *Auk* 123, 119-134.
26. Guarnizo C et al. (2009) *Molecular Phylogenetics and Evolution* 50, 84-92.
27. Lynch JD & Duellman WE (1980) *Misc. Publ. Nat. Hist. Mus. Univ. Kans.* 69, 1-86.
28. Graham CH et al. (2004) *Evolution* 58, 1781-1793.
29. Werman SD (2005) *In* Ecology and Evolution in the tropics (Donnelly MA et al Eds), 306-365, The University of Chicago Press.
30. Valencia R et al. eds. (2000) Libro rojo de las plantas endémicas del Ecuador, PUCE, Quito.
31. Jackson MH (1994) Galápagos: A Natural History, University of Calgary Press.
32. Peck SB (2001) Smaller orders of insects of the Galápagos Islands, National Research Council.
33. Kricher J (2006) Galápagos: A Natural History. Princeton University Press.
34. Young KR et al. (2002) *The Botanical Review* 68, 4-21.
35. Beck E et al. (2008) *In* Beck E et al. (eds.), Gradients in a Tropical Mountain Ecosystem of Ecuador, 451-463. Springer-Verlag.
36. Svenning JC (1999) *Journal of Ecology* 87, 55-65.
37. Tuomisto H et al. (2003) *Journal of Ecology* 91, 743-756.
38. Tylianakis JM et al. (2005) *Ecology* 86, 3296-3302.
39. Levin SA (2000) *Ecosystems* 3, 498-506.
40. Montagnini F & Jordan CF (2005) Tropical forest ecology, Springer
41. Faraci FM (1991) *Annual Review of Physiology* 53, 59-70.
42. León-Velarde F et al. (1996) *Comparative Biochemistry and Physiology* 113, 407-411.
43. Walker RS et al. (2007) *Journal of Mammalogy* 88, 519-525
44. Jacobsen D et al. (2010) *Freshwater Biology, in press.*
45. León-Yáñez S (2000) *In*: La biodiversidad de los páramos. Serie Páramo 7, 5-21, GTP-AbyaYala.
46. Mena-Vásquez P & Medina G (2001) *In* Mena-Vásquez P et al. (eds.): Los Páramos de Ecuador. Particularidades, Problemas y Perspectivas, 27-52, Abya Yala.
47. von Hagen KB & Kadereit JW (2001) *Organisms Diversity & Evolution* 1, 61-79.
48. Santucci VL (2005) *Geodiversity & Geoconservation* 22, 29-34.
49. D'Arrigo R et al. (2009) *Nature Geoscience* 2, 51-56.
50. Cabot J & deVries T (2003) *The Bulletin of the British Ornithologists' Club* 123, 190-207.
51. Farquhar CC (1998) *Condor* 100, 27-43.
52. Ridgely RS & Greenfield PJ (2001) The birds of Ecuador. Cornell University Press.
53. Hector DP (1987) *American Birds* 41, 381-389.
54. <https://bioweb.bio/faunaweb/mammaliaweb/EspeciesEstadisticas>
55. Lasso S (2006) Caracterización de los conocimientos y percepciones de las comunidades locales respecto de la vicuña y su manejo en la Reserva de Producción Faunística Chimborazo. Disertación, PUCE.
56. Lichtenstein G et al. (2008) *Vicugna vicugna*. *In*: IUCN Red List of Threatened Species, www.iucnredlist.org
57. Stotz DF et al. (1996) Neotropical birds: ecology and conservation. University of Chicago Press.
58. Koenen MT & Koenen SG (2000) *Ornithologia Neotropical* 11, 155-163.
59. Irestedt M et al. (2006) *Journal of Avian Biology* 37, 261-272.
60. Paynter RA (1971) *Bulletin of the British Ornithologists' Club* 91, 11-12.
61. Chesser RT (2004) *Auk* 121, 752-766.
62. Moscarella RA et al. (2003) *Journal of Mammalogy* 84, 1300-1315.
63. Sipman HJM (2002) *The Botanical Review* 68, 88-99.
64. Hofstede R et al. (2003) Los Páramos del Mundo. Global Peatland Initiative, NC-IUCN-EcoCiencia, Quito.
65. Jacobsen D. (2008) *In*: Dudgeon D (ed) Aquatic Ecosystems: Tropical Stream Ecology, 219-256, Elsevier.
66. Werner F et al. (2005) *Ecotropica* 11, 21-40.
67. BirdLife International-Conservation International (2005) Áreas importantes para la conservación de las aves en los Andes tropicales: sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad. BirdLife International, Quito
68. Endler JA & Théry M (1996) *American Naturalist* 148, 421-452
69. Dinerstein E et al. (1995) A Conservation Assessment of the Terrestrial Ecoregions of Latin America and the Caribbean. The World Bank.
70. BirdLife International (2003) BirdLife's online World Bird Database, Cambridge, UK.
71. Ferraz G et al. (2007). *Science* 315, 238-241.
72. Sekercioglu CH (2007) *Current Biology* 17, R283-R286.
73. Voss RS (2003) *American Museum Novitates* 3421, 1-47.
74. Hamilton LS et al. eds. (1993) Tropical montane cloud forests: introduction and workshop synthesis. East-West Center, Honolulu.
75. Armenteras D et al. (2003) *Biological Conservation* 113, 245-256.
76. Homeier J et al. (2008) *In* Beck E et al. (eds.), Gradients in a Tropical Mountain Ecosystem of Ecuador, Ecological Studies 198. 87-100, Springer.
77. Jørgensen PM, León-Yáñez S (1999) *Monogr. Syst. Bot. Mis. Bot. Gard.* 75 y Ecuador país de orquídeas, publicación del Herbario QCA
78. Küper W et al. (2004) *Journal of Biogeography* 31, 1477-1487.
79. Clark KL et al. (1998) *Journal of Tropical Ecology* 14, 27-45.
80. Clark KL et al. (2000) Monteverde; Ecology and conservation of a tropical forest. Oxford University Press.
81. Fjeldsá, C & Rahbek J (1998) *In* Mace GM et al. (eds.), Conservation in a changing world, 139-160, Cambridge University Press.
82. Thiollay JM (1996) *Journal of Tropical Ecology* 12, 535-560.
83. Wiens JJ et al. (2006) *American Naturalist* 168, 579-596.
84. Caley KJ Ed. (2008) Biological diversity in Tumbes-Chocó-Magdalena. *In*: Cleveland CJ, Encyclopedia of Earth, Washington.
85. Tye A et al. (2002) *In*: A Biodiversity Vision for the Galápagos Islands. Charles Darwin Foundation and World Wildlife Fund, Puerto Ayora.
86. Bollmer JL et al. (2006) *Molecular Phylogenetics and Evolution* 39, 237-247.
87. Rassmann K et al. (1997) *Molecular Ecology* 6, 437-452.
88. Ozanne, CMP et al. (2003) *Science* 301, 183-186.
89. Emmons LH & Gentry AH (1983) *American Naturalist* 121, 513-524.
90. Mordecai RS et al. (2009) *Biodiversity and Conservation*, 18, 2421-2431.
91. Hanson P (2000) *In* Clark KL et al. Monteverde; Ecology and conservation of a tropical forest, 95-147, Oxford University Press.
92. Hilt N & Fiedler K (2005) *Diversity and Distributions* 11, 387-398.
93. Fernandes CC et al. (2004) *Science* 305, 1960-1962.
94. Ross JP (2008) Crocodiles. Status Survey and Conservation Action Plan, IUCN Crocodile Specialist Group.
95. de Thoisy B et al. (2006) *Biological Conservation* 133, 474-482.
96. Vasconcelos WR et al. (2008) *Journal of Experimental Zoology* 309, 600-613.
97. Haffer J (1967) *American Museum Novitates* 2294, 1-57.
98. Chapman FM (1917) *Am. Mus. Nat. Hist.* 36, 347-355.
99. Miller MJ et al. (2008) *Proceedings of the Royal Society of London B* 275, 1133-1142.
100. Kathiresan K & Bingham BL (2001) *Advances in Marine Biology* 40, 81-251.
101. O'Hara PD et al. (2007) *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 74, 96-108.
102. Terborgh J & Weske JS (1975) *Ecology* 56, 562-576.

103. Whiteman NK et al. (2007) *Molecular Ecology* 16, 4759-4773.
104. Grant PR (1986) *Ecology and Evolution of Darwin's Finches*. Princeton University Press
105. Gentile G et al. (2009) *PNAS* 106, 507-511.
106. Rudel TK & Horowitz B (1993) Tropical deforestation. Small farmers and land clearing in the Ecuadorian Amazon. Colombia University Press.
107. Gentry A (1993) *A Field Guide to the Families and Genera of Woody Plants of Northwest South America (Colombia, Ecuador, Perú) with Supplementary Notes on Herbaceous Taxa*. Conservation International, Washington.
108. Erwin TL (1982) *The Coleopterists Bulletin* 36, 74-75.
109. Kress J et al. (1998) *Biodiversity and Conservation* 7, 1577-1587.
110. Fjeldsa J & Rahbek C (1998) In Barthlott W & Winiger M (Eds.), *Biodiversity: a Challenge for Development Research*, 311-327, Springer-Verlag.
111. Robbins RK & Opler PA (1997) In Reaka-Kudla M L et al. (Eds.) *Biodiversity II*, 69-82, Joseph Henry Press.
112. Duellman WE (1990) In Gentry AH (ed.), *Four Neotropical Rainforests*, 455-505, Yale University Press.
113. Robinsons K & Terborgh J (1990) In Gentry AH (ed.), *Four Neotropical Rainforests*, 199-216, Yale University Press.
114. Erwin T (2004) in May M et al. (eds) *Forest canopies*, 259-269, Elsevier.
115. Valencia R et al. (1994) *Biodiversity and Conservation* 3, 21-28.
116. Valencia R et al. (2009) *Journal of Tropical Ecology* 25, 473-482
117. Condit R et al. (2008) *Science* 313, 98-101 y pers. comm..
118. Nabe-Nielsen J (2001) *Journal of Tropical Ecology* 17, 1-19.
119. Kreft H et al. (2004) *Journal of Biogeography* 31, 1463-1476.
120. Rex K et al. (2008) *Biological Journal of the Linnean Society* 94, 617-629.
121. Mittermeier RA et al. (2003) *PNAS* 100, 10309-10313.
122. Carlton CE et al. (2004) *The Coleopterists Bulletin* 58, 163-170.
123. Patton JL & DaSilva MN (2005) In *Tropical Rainforests: past, present and future*, Bermingham E et al. (eds), 107-126, University of Chicago Press.
124. Erwin TL (1988) in Wilson EO (ed.), *Biodiversity*, 123-129, National Academy Press.
125. Stork NE (1988) *Biological Journal of the Linnean Society* 35, 321-37.
126. Basset YV et al. (2003) *Arthropods of Tropical Forests: Spatio-Temporal Dynamics and Resource Use in the Canopy*, Cambridge University Press.
127. Myers RA et al. (2000) *Nature* 41, 853-858.
128. Knapp S (2002) *The Botanical Review* 68, 22-37.
129. Poulsen BO & Krabbe N (1997) *Ecography* 20, 475-482.
130. Best BJ & Kessler M (1995) *Biodiversity and Conservation in Tumbesian Ecuador and Peru*. BirdLife International, Cambridge.
131. Parker TA & Carr JL eds. (1992) *Status of forest remnants in the Cordillera de la Costa and adjacent areas of southwestern Ecuador*. Conservation International.
132. Mittermeier RA et al. (2004) *Megadiversity: Earth's biologically wealthiest nations*, Graphic Arts Center.
133. Le Buanec B (2005) *Euphytica* 146, 1-8.
134. Cancun declaration (2002) <http://www.lmmc.nic.in/Cancun%20Declaration.pdf>; retrieved on 10/08/2009.
135. Mast RB et al. (1997) In Mittermeier RA et al. (Eds.), *Megadiversity: Earth's Biologically Wealthiest Nations*, 314-324, CEMEX.
136. Reck G (2007) *Áreas protegidas del Ecuador in ECOLAP y MAE In: Guía del patrimonio de Áreas nacionales protegidas del Ecuador*, Quito.
137. May RM (2000) In *Nature and Human Society: The Quest for a Sustainable World*, Raven PH & Williams T, (Eds) ,30-45, National Academy Press.
138. Sodhi NS et al. (2007) *Tropical conservation biology*, Blackwell
139. May RM (1990) *Philosophical Transactions: Biological Sciences* 330, 293-304.
140. Novotny V & Basset Y (2000) *Oikos* 89, 564-572.
141. Cayuela L et al. (2009) *Tropical Conservation Science* 2, 319-352.
142. Coddington JA et al (2009) *Journal of Animal Ecology* 78, 573-584.
143. Vitt LJ & De La Torre S (1996) *Guía para la investigación de las lagartijas de Cuyabeno*. PUCE.
144. Guayasamin JM et al. (2006) *Herpetologica* 62, 191-192.
145. Basset Y et al. (2003) In: Basset Y et al. (eds) *Arthropods of tropical forests – Spatio-temporal dynamics and resource use in the canopy*, 7-16, Cambridge University Press.
146. Ryder W et al. (2007) *Naturwissenschaften* 94, 725-731.
147. Galacatos K et al. (2004) *Environmental Biology of Fish* 71, 33-51
148. Mao CX & Colwell RK (2005) *Ecology* 86, 1143-1153.
149. Chao A et al. (2006) *Biometrics* 62, 361-371.
150. Colwell RK (2006) *EstimateS, Software and User's Guide*.
151. Storch D et al. (2007) *Scaling biodiversity*. Cambridge University Press.
152. Brehm GK et al. (2008) In: Beck et al. (eds.), *Gradients in a Tropical Mountain Ecosystem of Ecuador*, 41-47, *Ecological Studies* 198, Springer-Verlag.
153. Jarrín P (2001) *Mamíferos en la niebla: Otonga un bosque húmedo del Ecuador*. PUCE.
154. Lucky A et al. (2002) *Biotropica* 34, 376-386.
155. Lehnert M (2006) *Brittonia* 58, 4-9.
156. Cornejo X & Bonifaz C (2006) *Brittonia* 58, 78-82.
157. Freiberg M & Freiberg E (1998) *Phyton* 37, 345-351.
158. Cornejo X (2006) *Acta Botanica Brasílica* 20, 363-366.
159. Ulloa C & Homeier J (2008) *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 65, 383-387.
160. Ulloa C et al. (2007) *Novon* 17, 525-528.
161. Ulloa C. & Neill DA (2006) *Novon* 16, 281-285.
162. Dangles O et al. (2010) *Annales de la Société Entomologique de France, in press*.
163. Giachino PM Ed (2008) *Biodiversity of South America I. Memoirs on Biodiversity*, WBA books
164. Kizirian DA (1996) *Herpetological Monographs* 10, 85-155.
165. Köhler G et al. (2004) *Journal of Herpetology* 38, 52-60.
166. Fritts TH et al. (2002) *Journal of Herpetology* 36, 349-355.
167. Torres-Carvajal O et al. (2008) *Papéis Avulsos de Zoologia*. 48, 227-235.
168. Frost DR et al. (2006) *Bulletin of the American Museum of Natural History* 297, 1-370.
169. Guayasamin JM & Terán-Valdez A (2009) *Zootaxa* 2161, 47-59
170. Gluesenkamp AG & Guayasamin JM (2008) *Zootaxa* 1828, 18-28.
171. Guayasamin JM & Trueb L (2007) *Zootaxa* 1447, 27-45.
172. Guayasamin JM et al. (2006) *Zoological Journal of the Linnaean Society* 147, 489-513.
173. Lehr E & Coloma LA (2008) *Herpetologica* 64, 354-367.
174. Coloma LA et al. (2007) *Zootaxa* 1557, 1-32.
175. Ron SR et al. (2005) *Herpetologica* 61, 178-198.
176. Cisneros-Heredia DF et al. (2008) *Herpetologica* 64, 342-353.
177. Cisneros-Heredia DF & Morales-Mite MA (2008) *Herpetozoa* 21, 49-56.
178. Faivovich J et al. (2006) *Herpetologica* 62, 96-108.
179. Primack R & Corlett R (2005) *Tropical rainforests: An ecological and biogeographical comparison*, Blackwell.
180. Muchhala N et al. (2005) *Journal of Mammalogy* 86, 457-461.
181. Baker RJ et al. (2009) *Acta Chiropterologica* 11, 1-13.
182. McCarthy TJ et al. (2006) *Annals of Carnegie Museum* 75, 97-110.
183. Albuja VL & Gardner AL (2005) *Proceedings of the Biological Society of Washington* 118, 442-449.
184. Fonseca RM & Pinto CM (2004) *Occasional Papers of the Museum of Texas Tech University* 242, 1-9.
185. Baker RJ et al. (2004) *Occasional Papers of the Museum of Texas Tech University* 232, 1-16.
186. Dávalos LM (2004) *American Museum Novitates* 3426, 1-14.
187. Anderson RP & Jarrín-V P (2002) *American Museum Novitates* 3382, 1-26.
188. Albuja VL & Patterson BD (1996) *Journal of Mammalogy* 77, 41-53.
189. Ceballosa G & Ehrlich PR (2009) *PNAS* 106, 3841-3846.
190. Lee TE et al. (2006) *Occasional Papers of the Museum of Texas Tech University* 260, 1-10.
191. Lee TE et al. (2008) *Occasional Papers of the Museum of Texas Tech University* 276, 1-10.
192. Karp A et al. (1998) *Molecular Tools for Screening Biodiversity: Plants and Animals*. Chapman & Hall.
193. Condon MA et al. (2008) *Science* 320, 928-931.
194. Hebert PDN et al. (2004) *PNAS* 101, 14812-14817.
195. Fouquet A et al. (2007) *PLoS one* 2:e1109
196. Frankham R et al. (2004) *A Primer to Conservation Genetics*. Cambridge University Press.
197. Duffie CV et al. (2009) *Molecular Ecology* 18, 2103-2111.
198. Hammond P (1992) In Groombridge B (Ed.), *Global biodiversity, status of the earth's living resources*, 17-39, Chapman and Hall.
199. Cabarle BJ et al. (1989) *An assessment of biological diversity and tropical forest for Ecuador*, USAID, Quito.
200. <https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb/>
201. Valencia JH et al. (2008) *Guía de campo de reptiles del Ecuador*, Fundación Herpetologica Gustavo Orcés, Vivarium, Corporación Simbioe, Quito.
202. <http://www.puce.edu.ec/zoologia/vertebrados/reptiliawebec/reptilesecuador/index.html>
203. Kraft NJB et al. (2008) *Science* 322, 580-582
204. León-Yáñez S & Ayala M (2007) *Flores nativas de Quito*, PUCE.
205. Montúfar R & Pitman N (2004) *Salvia quitensis* In IUCN Red List of Threatened Species.

206. Gravendeel B *et al.* (2004) *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 359, 1523-1535.
207. Fitter J *et al.* (2002) *Wildlife of the Galápagos*. Princeton University Press
208. Waser NM & Ollerton J (2006): *Plant–Pollinator Interactions: From Specialization to Generalization*. University of Chicago Press.
209. Sargent RD & Ackerly DA (2008) *TREE* 23, 123–130.
210. Schmidt-Lebuhn AN *et al.* (2007) *Trends in Plant Science* 12, 329–331.
211. Buzzetti FM & Carotti G (2008) In: *Biodiversity of South America*, Giachino PM (Ed), 39-66, WBA books.
212. Floren A *et al.* (2001) *Ecotropica* 7, 33-42.
213. Amédégnato C (2003) In Basset Y *et al.* (eds) *Arthropods of Tropical Forests. Spatio-temporal Dynamics and Resource Use in the Canopy*. 237-255, Cambridge University Press.
214. Wilson EO (1987) *Biotropica* 19, 245–251.
215. Davidson DW & Cook SC (2008) In Carson WP & Schnitzer SA eds. *Tropical forest Community Ecology*, 334-348, Blackwell.
216. Ellwood MD & Foster WA (2004) *Nature* 429, 549–551.
217. Novotny V *et al.* (2006) *Science* 313, 1115–1118.
218. Novotny V *et al.* (2002) *Nature* 416, 841–845.
219. Godoy C *et al.* (2006) *Treehoppers of Tropical America*. INBio Editorial, Costa Rica.
220. Wood TK & Olmstead KL (1984) *Ecological Entomology* 9, 109-115.
221. Wood TK (1993) *Annual Review of Entomology* 38, 409-435.
222. Piñas F (1997) *Mariposas del Ecuador*, vol 1. Géneros. PUCE.
223. Brown KS (2005) In Bermingham E *et al* (Eds) *Tropical rain forests: past, present and future*, 166-201, University of Chicago Press.
224. Brakefield PM *et al.* (1996) *Nature* 384, 236-242.
225. Racheli L & Racheli T (2006) *Revista de Lepidopterología* 34, 125-139.
226. Brehm *et al.* (2005) *Journal of Biogeography* 32, 1621-1627.
227. Foelix RF (1996) *The biology of spiders*. Oxford University Press.
228. Willmott KR & Hall JPW (retrieved on 1st May 2009). *Butterflies of Ecuador*. www.butterfliesofecuador.com
229. DeVries PJ & Walla TR (2001) *Biological Journal of the Linnean Society* 74, 1–15.
230. Cruz M *et al.* (2003) *Gayana* 67, 232–260.
231. Naskrecki P (2005) *The smaller majority*, Harvard University Press.
232. Monge-Najera J (1995). *Zoological Journal of the Linnean Society* 114: 21–60.
233. Lewinsohn TM *et al.* (2005) *Conservation Biology* 19, 640-645.
234. André HM *et al.* (1994) *Biodiversity and Conservation* 3, 45–56.
235. Ariadne A *et al.* (2004) *Ceratophrys stolzmanni*. In: IUCN Red List of Threatened Species.
236. Lynch JD (1982) *Systematic Zoology* 31, 166-179.
237. Toledo LF & Haddad CFB (2009) *International Journal of Zoology*, ID 910892.
238. Cisneros-Heredia DF (2007) *Herpetozoa* 19, 183.
239. Wilmar B. *et al.* (2004) *Hyloscirtus alytolylax* In IUCN Red List of Threatened Species.
240. Fouquet A *et al.* (2007) *Molecular Phylogenetics and Evolution* 43, 567–582.
241. Guayasamin JM *et al.* (2008) *Molecular Phylogenetics and Evolution* 48, 574–595.
242. Cisneros-Heredia DF & McDiarmid RW (2006) *Zootaxa* 1244, 1–32.
243. Guayasamin JM *et al.* (2009) *Zootaxa* 2100, 1-97.
244. Dixon JR & Soini P (1975) *Milwaukee Publ. Mus. Contr. Biol. Geol.* 4, 1-58.
245. Mulcahy DG (2007) *Biological Journal of the Linnean Society* 92, 483-500.
246. Vieira GHC *et al.* (2005) *Zoologica Scripta* 34, 605–625.
247. Vitt LJ & Pianka ER (2005) *PNAS* 102, 7877–7881.
248. Torres-Carvajal O & de Queiroz K (2009) *Molecular Phylogenetics and Evolution* 50, 31-43
249. Wiens JJ & Etheridge RE (2003) *Herpetologica* 59, 375-398.
250. Campbell JA & Lamar WW (2004) *The venomous reptiles of the Western Hemisphere*, Comstock Publishing Associates.
251. Fenwick AM *et al.* (2009) *Zoological Journal of the Linnean Society* 156, 617–640.
252. Cisneros-Heredia DF & Touzet JM (2004), *Herpetozoa* 17, 135 – 141.
253. Smalligan R *et al.* (2004) *British Medical Journal* 329, 1129.
254. Dodson CH & Gentry AH (1991) *Annals of the Missouri Botanical Garden* 78, 273-295.
255. Hamilton P *et al.* (2006) *Initial Analysis of Coastal Ecuadorian Herpetofauna of Dry and Moist Forests*. <http://www.reptileresearch.org/>
256. Chesser RT (2004) *Molecular Phylogenetics and Evolution* 32, 11-24.
257. Krabbe N & Schulenberg TS (2003) In: *Handbook of the birds of the world*. Volume 8, delHoyo *et al.* (eds.), 682–731, Lynx Edicions.
258. Krabbe N *et al.* (1999) *Auk* 116, 882–890.
259. Snow DW & Nelson JB (1984) *Biological Journal of the Linnaean Society* 21, 137–155.
260. Ayon H & Jara W (1985) In Bird, Schwartz M (eds.) *The world's coastline*. Van Nostrand Reinhold
261. Santander T *et al.* (2006) *Aves acuáticas en Ecuador*. Aves & Conservación, Quito.
262. Forshaw J (1989) *Parrots of the world*, Landsdowne Editions.
263. Tavares ES *et al.* (2006) *Systematic Biology* 55, 454–470.
264. Bildstein KL *et al.* (1998) *Journal of Raptor Research* 32, 3–18.
265. Bollmer JL *et al.* (2003) *Condor* 105, 428–438.
266. Bollmer JL *et al.* (2005) *Auk* 122, 1210–1224.
267. Hackett SJ *et al.* (2008) *Science* 320, 1763–1768.
268. Grajal A *et al.* (1989) *Science* 245, 1236–1238.
269. Müllner A & Linsenmair E (2007) *Journal of Field Ornithology* 78, 352–361.
270. Sorenson *et al.* (2003) *Molecular Biology and Evolution* 20, 1484–1499.
271. Dickinson E ed. (2003) *The Howard & Moore complete checklist of the birds of the world*, Princeton University Press.
272. McGuyire JA *et al.* (2007) *Systematic Biology* 56, 837–856.
273. Clements JF (1991) *Birds of the World: a Checklist*. Ibis Publications.
274. Fleming TH *et al.* (1987) *Annual Review of Ecology and Systematics* 19, 91-109.
275. Hunter J & Caro T (2008) *Ethology, Ecology and Evolution* 20, 295-324.
276. Kruuk H (2006) *Otters: Ecology, behaviour and conservation*. Oxford University Press.
277. Prasad AB & Allard MW (2008) *Molecular Biology and Evolution* 25:1795–1808.
278. Loyola RD *et al.* (2008) *Diversity and Distributions* 14, 947-958.
279. Sillero-Zubiri C *et al.* (2004) *Canids: Foxes, Wolves, Jackals and Dogs*. International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources.
280. Rougier GW *et al.* (1998) *Nature* 396, 459–463.
281. Muchhala N *et al.* (2005) *Journal of Mammalogy* 86: 457-461.
282. Gardner AL (2008) *Mammals of South America*. Vol 1, Chicago University Press.
283. Voss RS & Jansa SA (2009) *Bulletin of the American Museum of Natural History* 322, 1-177.
284. Lemos B & Cerqueira R (2002) *Journal of Mammalogy* 83, 354–369.
285. Suárez E *et al.* (2009) *Animal Conservation* In press.
286. Matthews LH (1937) *Discovery Report* 17, 7-92.
287. Alava JJ *et al.* (2005) *Journal of Cetacean Research Management* 7, 163-68.
288. Emmons L (1990) *Neotropical Rainforest Mammals*. Chicago University Press.
289. Röhe F *et al.* (2009) *International Journal of Primatology*, DOI 10.1007/s10764-009-9358-x
290. Youlatos D (1999) *Annales des sciences naturelles. Zoologie et biologie animale* 20, 161–168.
291. Raven PH *et al.* (2004) *Biology*, McGraw-Hill.
292. Vitt LJ & ZaniPA (1996) *Canadian Journal of Zoology* 74, 1313-1335.
293. Cisneros-Heredia DF (2006) *Biota Neotropica* 6.
294. Boinski S & Scott PE (1988) *Biotropica* 20, 136-143.
295. Bastolla U *et al.* (2009) *Nature* 458, 1018–1020.
296. Jullien M & Clobert J (2000) *Ecology* 81, 3416–3430.
297. Muchhala N & Jarrin-V P (2002) *Biotropica* 34, 387-395.
298. Knudsen JT *et al.* (2001) *Plant Biology* 3, 642–653
299. Volkov I *et al.* (2009) *PNAS in press*
300. Condit RG (1995) *TREE* 10, 18-22.
301. Smithsonian Tropical Research Institute (2009) *Plots summary*. <http://www.ctfs.si.edu/plots/summary>
302. Valencia R *et al.* 2004. In Losos EC *et al.* (Eds), *Tropical forest diversity and dynamism: Findings from a large-scale plot network*, 609-628, Chicago University Press.
303. Smithsonian Tropical Research Institute (2009) *Yasuni Plot Information*. <http://www.ctfs.si.edu/site/4>
304. Hubbell SP (2001) *The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography*. Princeton University Press.
305. Wright SJ (2002) *Oecologia* 130, 1–14.
306. Svenning JC (2000) *Biotropica* 32, 252–261.
307. Denslow JS (1987) *Annual Review of Ecology and Systematics* 18, 431-451.
308. Wright SJ (1992) *TREE* 7, 260–263.
309. Svenning JC (1999) *Journal of Tropical Ecology* 15, 355–366.
310. Huston MA (1994) *Biological diversity: The coexistence of species on changing landscapes*. Cambridge University Press.
311. Valencia R *et al.* (2004) *Journal of Ecology* 92, 214 –229.
312. Tuomisto H *et al.* (2002) *Biotropica* 34, 516–533.
313. John RJW *et al.* (2007) *PNAS* 104, 864–869.
314. Queenborough SA *et al.* (2007) *Ecology* 88, 2248-2258.
315. Morlon H *et al.* (2008) *Ecology Letters* 11, 904–917.
316. Carson W & Schnitzer S eds (2008) *Tropical Forest Community Ecology*, Wiley-Blackwell.

317. Lucky A *et al.* (2002) *Biotropica* 34, 376–386.
318. Weiner J (1994) The beak of the finch: a story of evolution in our time, Alfred A. Knopf.
319. Andersson M (1994) Sexual Selection. Princeton University Press.
320. Bright A *et al.* (2004) *Behavioral Processes* 65, 123–132.
321. Hill GE & McGraw KJ eds (2006) Bird Coloration, Harvard University Press.
322. Etman EJ *et al.* (2001) *Behavioural Processes* 55, 119-124.
323. Nebel S *et al.* (2005) *Animal Biology* 55, 235-243.
324. Sulloway F (1982) *Journal of the History of Biology* 15, 1–53.
325. Grant PR & Grant BR (2002) *American Scientist* 90, 130–139.
326. Darwin C (1869) On the Origin of Species by Means of Natural Selection, John Murray.
327. Boag PT & PR Grant (1981) *Science* 214, 82–85.
328. Suhonen J & Kuitunen M (1991) *Ornis Scandinavica* 22, 313-318.
329. Temeles EJ *et al.* (2000) *Science* 289, 441-443.
330. Mathot K.J & Elnor RW (2004) *Canadian Journal of Zoology* 82, 1035-1042.
331. Darwin C (1871) The Descent of Man: And Selection in Relation to Sex, John Murray.
332. Jones JS (2005) *Nature* 315, 182–183.
333. Willmer P *et al.* (2004) Environmental Physiology of Animals, Wiley-Blackwell.
334. Tattersall GJ *et al.* (2009) *Science* 325, 468-470.
335. Phillips PK & Heath JE (1992) *Comparative biochemistry and physiology. A.* 101, 693-9.
336. Scott GR *et al.* (2008) *The Journal of experimental biology* 211, 1326-1335.
337. Morin P (2002) Community ecology, Blackwell.
338. Price PW (2002) In Herrera CM & Pellmyr O (Eds) Plant Animal Interactions : An Evolutionary Approach, 3–25, Blackwell.
339. Gilardi JD *et al.* (1999) *Journal of Chemical Ecology* 25, 897–922.
340. Burger J & Gochfeld M (2003) *Acta Ethologica* 6, 23-34.
341. Campbell N (1987) Biology, Benjamin/Cummings Publications.
342. Smedley SR & Eisner T (1995) *Science* 270, 1816-1818
343. Beck J *et al.* (1999) *Oecologia* 119, 140–48
344. Denton D (1985) In: RL Jones (Ed), Mineral Licks, Geophagy, and Biogeochemistry of North American Ungulates, Iowa State University Press,
345. Adler P (1982) *Journal of Lepidopteran Society* 36, 161-173
346. Hilgartner R *et al.* (2007) *Biology Letters* 3, 117-120.
347. Duffy DC (1983) *Auk* 100, 800-810.
348. Ashmole NP (1971) In Farner DS *et al.* (eds.). Avian biology, 223-286, Academic Press.
349. Nevitt GA (2000) *Biology Bulletin* 198, 245–253.
350. Stachowicz JJ (2001) *Bioscience* 51, 235–246.
351. Fariña JM *et al.* (2003) *Journal of Animal Ecology* 72, 873–887.
352. Sklenar P (2009) *Flora* 204, 270-277.
353. Ruxton GD & Sherratt TN (2006) *Proceedings of the Royal Society of London B* 273, 2417–2424.
354. Mclver JD & Lattin JD (1990) *Biological Journal of the Linnean Society* 40, 99-112.
355. Sillén-Tullberg B *et al.* (2000) *Ecological Entomology* 25, 220–225
356. Hatle JD & Salazar BA (2001) *Environmental Entomology* 30, 51–54.
357. Sommer U & Worm B (2002) Competition and coexistence. *Ecological Studies* 161, Springer
358. Barbosa P & Castellanos I (2005) Ecology of Predator-Prey Interactions, Oxford University Press.
359. Cronin TW (2005) in Ecology of Predator-Prey Interactions, Barbosa P & Castellanos I (eds), 105-138, Oxford University Press.
360. Rossel S (1996) *PNAS* 93, 13229-13232.
361. Nemenman I *et al.* (2008) *PLoS Comput Biol* 4: e1000025.
362. Stamps J (1994) *Advances in the Study of Behaviour* 23, 173–232
363. Schradin C (2004) *Behavioral Ecology and Sociobiology* 55, 439–446.
364. Ewald PW & Orians GH (1983) *Behavioural Ecology and Sociobiology* 12, 95–101.
365. Hamer KC *et al.* (2002) In Biology of Marine Birds, Schreiber EA & Burger J (Eds.), 217-261, CRC Press.
366. Gentry RL (1974) *American Zoologist* 14, 391–403.
367. Power TG (2000) Play and Exploration in Children and Animals. Lawrence Erlbaum Associates.
368. Ward C & Smuts BB (2008) *Animal Behaviour* 76, 1187-- 1199.
369. Fagen R & Fagen J (2004) *Evolutionary Ecology Research* 6, 89-102.
370. Nickle DA & Castner JL (1995) *Journal of Orthopteran Research* 4, 75-88.
371. Lang A *et al.* (2005) In: Animal Communication Networks, McGregor P (ed), 152-169, Cambridge University Press.
372. Lindstedt C *et al.* (2008) *Animal Behaviour* 75, 1703-1713.
373. Williams NH (1972) *Brittonia* 24, 93 110.
374. van der Pijl L & Dodson CH (1966) Orchid Flowers: Their Pollination and Evolution. University of Miami Press.
375. Ospina-Calderón N *et al.* (2007) *Universitas Scientiarum* 12, 83-95.
376. Purser B (2003) Jungle bugs: masters of camouflage and mimicry, Firefly.
377. Baum E *et al.* (2007) *Zoology* 110, 147-160
378. Battiston R & Picciau L (2008) In Biodiversity of South America I, Giachino PM (Ed), 19-30, WBA books.
379. Battiston R & Picciau L. (2008) In Biodiversity of South America I. Giachino PM (Ed), 31-38, WBA books.
380. Chittka L & Waser NM (1997) *Israel Journal of Plant Sciences* 45, 169-183.
381. Thurman CL (1988) *Comparative Biochemistry and Physiology* 91, 171–185.
382. Detto T *et al.* (2006) *Proceedings of the Royal Society of London B* 273,1661-1666.
383. Hemmi JM *et al.* (2006) *Journal of Experimental Biology* 209, 4140–4153.
384. Goodwin TW (1984) The biochemistry of the carotenoids. Vol. 2, Chapman & Hall.
385. McGraw KJ & Ardia DR (2004) *American Naturalist* 162, 704–712.
386. Madsen V *et al.* (2007) *American Naturalist* 169, S93–S111.
387. Hill GE (2002) A Red Bird in a Brown Bag: The Function and Evolution of Colorful Plumage in the House Finch, Oxford University Press.
388. Ramsay PM & Oxley ERB (1997) *Plant Ecology* 131, 173-192.
389. Llambi L *et al.* (2003) *Arctic Antarctic and Alpine Research* 35, 447-453
390. Sih A (1997) *TREE* 12, 375–376.
391. Lindberg AB & Olesen JM (2001) *Journal of Tropical Ecology* 17, 1–7.
392. Emlen DJ (2001) *Science* 291, 1534–1536.
393. Kawano K (1995) *Annals of the Entomological Society of America* 88, 92-99.
394. Kawano K (2002) *American Naturalist* 159, 255–271.
395. Gans C & Parsons TS (1966) *Evolution* 20, 92–99.
396. Toro E *et al.* (2004) *American Naturalist* 163, 844–856.
397. James HF & Olson SF (1983) *Natural History* 92, 30-40.
398. Burton M (2002) International Wildlife Encyclopedia. Marshall Cavendish.
399. Fjeldså J *et al.* (2005) *Journal of Ornithology* 146, 1–13.
400. Whiteman N. & Parker PG (2004) *Condor* 106, 915-921.
401. Lafferty KD *et al.* (2006) *PNAS* 103, 11211–11216.
402. Hudson PJ *et al.* (2006) *TREE* 21, 381–385.
403. Elgar MA (1989) *Biological Review* 64, 13-33.
404. Monclus R & Rodel HG (2009) *Ethology* 115, 758-766.
405. Hayes FE *et al.* (1992) *Journal of Herpetology* 2, 51–53.
406. Meddis R (1975) *Animal Behaviour* 23, 676–691.
407. Haddad CFB & Prado CPA (2005) *Bioscience* 55, 207–217.
408. Kupfer A *et al.* 2006 *Nature* 440, 926-929
409. Duellman W & Trueb L (1986) Biology of the Amphibians, McGraw-Hill.
410. Desnitskiy AG (2004) *Russian Journal of Developmental Biology* 35, 165–170.
411. Wiens JJ *et al.* (2007) *Evolution* 61, 1886–1899.
412. McDiarmid RW (1978) In The development of behavior: comparative and evolutionary aspects, Burghardt GM & Bekoff M (Eds.), 127-147, Garland STPM Press.
413. Summers K *et al.* (2006) *Proceedings of the Royal Society if London B* 273, 687-692.
414. Millennium Ecosystem Assessment (2005) Ecosystems and human well-being: Synthesis. Island Press.
415. Sarmiento FO (2002) *Geographical Review* 92, 213-234
416. Buytaert W *et al.* (2002) *Soil Use and Management* 18, 94–100.
417. Podwojewski P *et al.* (2002) *Soil Use and Management* 18, 45–55.
418. Grenier C (2002) Conservation contre nature : les îles Galápagos, IRD Editions.
419. Phillips OL *et al.* (2009) *Science* 323, 1344-1347.
420. Malhi Y *et al.* (2009) *PNAS*, in press
421. Bradley RS *et al.* (2006) *Science* 312, 1755–1756
422. Sodhi NS (2008) *Basic and Applied Ecology* 9, 93–99.
423. Pittman NCA *et al.* (2002) *Conservation Biology* 16, 1427–1431.
424. Feeley HK & Silman MR (2009) Extinction risks of Amazonian plant species. *PNAS*, in press
425. Lips KR *et al.* (2005) *Biotropica* 37, 222–228.
426. Ron S *et al.* (2003) *Journal of Herpetology* 37, 116–126.
427. Mendelson JR III *et al.* (2006) *Science* 313: 48.
428. Pimm SL *et al.* (1995) *Science* 269, 347–350.
429. Hooper DU *et al.* (2004) *Ecological Monographs* 75, 3–35.
430. Balvanera P *et al.* (2006) *Ecology Letters* 9, 1146–1156.
431. Bulte E *et al.* (2005) ecoSERVICES assessing the impacts of biodiversity changes on ecosystem functioning and services. DIVERSITAS Report 3.
432. McCann KS (2000) *Nature* 405, 228–233
433. Chapin FS III *et al.* (2000) *Nature* 405, 234–242.
434. Folke C *et al.* (2004) *Annual Review of Ecology and Systematics* 35, 557–81.
435. Link A & Di Fiore A (2006) *Journal of Tropical Ecology* 22, 235-246.

436. Pacheco LF & Simonetti JA (2000) *Conservation Biology* 14, 1766–1775.
437. Wilson EO (1987) *Conservation Biology* 1, 344–346.
438. Terborgh J (1988) *Conservation Biology* 2, 402–403.
439. Kinnaird MF & O'Brien TG (2001). *Conservation Biology* 15, 1459.
440. Constanza R et al. (1997) *Nature* 387, 253–260.
441. Mertz O et al. (2007) *Biodiversity and Conservation* 16, 2729–2737.
442. Naidoo R & Ricketts TH (2006) *PLoS Biol* 4: e360
443. Martinez-Alier J (2002) *The Environmentalism of the Poor*, Edward Elgar Pub.
444. Parks PJ & Bonifaz M (1994) *Marine Resources Economics* 9, 1–18.
445. Bodero A (2005) El bosque de manglar del Ecuador. Reporte del colegio de Ingenieros forestales de Pichincha. http://cifopecuador.org/uploads/docs/Trabajo_bosque_manglar_ecuador.pdf.
446. CLIRSEN (1987) Inventario de manglares del Ecuador Continental, DINAF, Quito.
447. Rausser CG & Small AA (2000) *Journal of Political Economy* 108, 173–206.
448. Pearce DW (2001) *Ecosystem Health* 7, 284–296.
449. Kursar TA et al. (2007) *Biodiversity and Conservation* 16, 2789–2800.
450. Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2006) *Global Biodiversity Outlook 2*. Montreal.
451. Wood ME (1998) Meeting the Global Challenge of Community Participation in Ecotourism: Case Studies and Lessons from Ecuador. Working Papers, Nature Conservancy.
452. Orellana C (2005) *Frontiers in Ecology and the Environment* 3, 69.
453. Garrod G & Willis K (1999) *Economic Valuation of the Environment: Methods and Case Studies*, Edward Elgar.
454. Nunes PALD & van den Bergh JCJM (2001) *Ecological Economics* 39, 203–222.
455. Pagiola S et al. (2004) Assessing the economic value of ecosystem conservation. Environment Department, Paper 101. The World Bank.
456. Daily GC et al. (2009) *Frontiers in Ecology and the Environment* 7, 21–28.
457. Wunder S (2007) *Conservation Biology* 21, 48–58.
458. Engle S et al. (2008) *Ecological Economics* 65, 663–74.
459. Echavarría M (2002) In: Pagiola S et al. (Eds.), *Selling forest environmental services: market-based mechanisms for conservation and development*, 91–102, Earthscan.
460. Echavarría M et al. (2004) The impacts of payments for watershed services in Ecuador. Emerging lessons from Pimampiro and Cuenca, *Markets for Environmental Services* 4, 61p.
461. Wunder S (2008) *Ecological Economics* 65, 685–698.
462. De Koning GHJ et al. (2007) *Landscape and urban planning* 83, 255–267.
463. Southgate D & Wunder S (2007) Paying for watershed services in Latin America: A review of current initiatives, CRSP Working Paper, Virginia Tech.
464. Takacs D (1996) *Philosophies of Paradise*, The Johns Hopkins University.
465. Bar-Cohen Y (2005) *Biomimetics Biology Inspired Technologies*, Taylor & Francis.
466. Freeman A & Golden B (1997) *Why Didn't I Think of That: Bizarre Origins of Ingenious Inventions We Couldn't Live Without*. Wiley.
467. Atkinson J (1995) *The Zimbabwean Review* 1, 16–19.
468. Peremans H & Reijnders J (2005) *Biological Inspirations*, 283–288, Springer.
469. Solga A et al. (2007) *Bioinspiration and Biomimetics* 2, 1–9.
470. Sanchez C et al. (2005) *Nature Materials* 4, 1–12.
471. HAI-TECH research Project (2009) <http://www.beluga-group.com/HAI-TECH.929.0.html>.
472. Ehrenfeld D. (1988) Why put a value on biodiversity. In: E.O. Wilson (Ed), *Biodiversity*, National Academy Press.
473. Soule ME (1985) *BioScience* 35, 727–734.
474. Cronon W (1996) *Uncommon Ground: Rethinking the Human Place in Nature*, Norton.
475. Ehrlich PR & Ehrlich AH (1992) *Ambio* 21, 219–226.
476. Norton BG (1987) *Why preserve natural variety?* Princeton University Press.
477. Borgerhoff Mulder M & Coppolillo P (2005) *Conservation: linking ecology, economics and culture*, Princeton University Press.
478. Wilson EO (1989) In: Western D & Pearls M (Eds) *Conservation of the 21 century*, Oxford University Press.
479. Daily GC et al. (2000) *Science* 289: 395–397.
480. Alonso A et al. (2001) *Biodiversity: Connecting with the tapestry of life*. Smithsonian Institution, Monitoring and Assessment of Biodiversity Program, Washington.
481. Convención de Ramsar y Grupo de Contacto EHAA (2008) *Estrategia regional para la conservación y uso sostenible de humedales altoandinos*. Gobiernos del Ecuador y Chile, CONDESAN y TNC-Chile.
482. Andrade N & Olazaval H (2002) El riego en el Ecuador. Quito, Ecuador: Foro de los Recursos Hídricos. CAMAREN.
483. Buytaert W et al. (2006) *Earth Science Reviews* 79, 53–72.
484. IUCN (2002) *High Andean Wetlands*. Technical Report, Gland.
485. Luteyn JL (1999) *Memoirs of the New York Botanical Garden*, 84.
486. Tellería JL et al. (2006) *Ardeola* 53, 271–283.
487. Jones CG et al. (1994) *Oikos* 69, 373–386.
488. Folgarait PJ (1998) *Biodiversity and Conservation* 7, 1221–1244.
489. Lodge DJ (1993) In: *Aspects of Tropical Mycology* Isaac S et al. (Eds) British Mycological Society Symposium Series 19, 37–57, Cambridge University Press.
490. Smith M L et al. (1992) *Nature* 356, 428–431.
491. Holldobler B & Wilson EO (1990) *The Ants*, Harvard University Press.
492. Moutinho P et al. (2003) *Ecology* 84, 1265–1276.
493. Paton TR et al. (1995) *Soils: a new global view*. Yale University Press.
494. Bertness MD (1985) *Ecology* 66, 1042–1055.
495. Kostka JE et al. (2002) *Limnology and Oceanography* 47, 230–240.
496. Nabhan GP & Buchmann SL (1997) In Daily G (ed), *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*, 133–150, Island Press.
497. Klein AM et al. (2007) *Proceedings of the Royal Society of London B* 274, 303–313
498. Roubik DW et al. (2005) *Pollination Ecology and the rain forest*, Springer
499. Dew JL & Doublis JP (2005) *Tropical fruits and frugivores: The search for strong interactors*, Springer
500. Kremen C et al. (2007) *Ecology Letters* 10, 299–314.
501. Howe HF & Smallwood J (1982) *Annual Review of Ecology and Systematics* 13, 201–228.
502. Janzen DH (1982) *Brenesia*, 19/20, 425–429
503. Hamilton MB (1999) *Nature* 401, 129–130.
504. Holbrook KM & Loiselle BA (2007) In Dennis AJ et al. (eds.) *Seed dispersal: theory and its application in a changing world*, 300–321, CAB International.
505. Dzedzioch C et al. (2003) *Plant Biology* 5, 331–337.
506. Lindberg AB & Olesen JM (2001) *Journal of Tropical Ecology* 17, 323–329.
507. Estes JA (1996) *Wildlife Society Bulletin* 24, 390–396.
508. Paine RT (1995) *Conservation Biology* 9, 962–964.
509. Terborgh J et al. (2001) *Science* 294, 1923–1926.
510. Kangas P (1997) In Reaka-Kudla M et al. (eds.), *Biodiversity II*, 389–409, Joseph Henry Press.
511. Cragg GM & Newman DJ (2005) *Pure and Applied Chemistry* 77, 7–24.
512. Smith SA et al. (2008) *Plos One* 3: e3052.
513. Kursar TA et al. (2007) *Biodiversity and Conservation* 16, 2789–2800.
514. Spande TF et al. (1992) *Journal of the American Chemical Society* 114, 3475–3478.
515. Daly JW et al. (2000) *Natural Product Reports* 17, 131–135.
516. Garraffo HM et al. (2009) *Heterocycle* 79, 207–217.
517. IPCC (2007) *The Fourth Assessment Report Climate Change 2007: Synthesis Report*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.
518. Luyssaert S et al. (2008) *Nature* 455, 213–215.
519. Lewis SL et al. (2009) *Nature* 457, 1003–1007.
520. Phillips OL et al. (2008) *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 363, 1819–1827.
521. Convention for Biological Diversity (2005) *Options for a cross-cutting initiative on biodiversity for food and nutrition*. 11th meeting, Montreal.
522. Munzara A (2007) *Agro-biodiversity and Food Security*, UN/Trondheim Conference on Biodiversity and Ecosystems.
523. Thrupp LA (2000) *International Affairs* 76, 265–281.
524. Brookfield H (2002) *Exploring agrobiodiversity*, Columbia University Press.
525. Brush SB (2004) *Farmers' bounty*, Yale University Press.
526. De Haan S (2009) *Potato diversity at height*. PhD thesis, Wageningen University.
527. Padoch C & Pinedo-Vásquez M (2006) In *Human Impacts on Amazonia*, Posey DA & Balick MJ (eds), 172–180, Columbia University Press.
528. Das S & Vincent JR (2009) *PNAS* 106, 7357–7360.
529. Bernbaum E (1999) In: *Desarrollo Sustentable de Montañas: Entendiendo las Interfaces Ecológicas para la Gestión de Paisajes Culturales en los Andes*, Sarmiento F & Hidalgo J (eds). *Memorias del III Simposio Internacional de la Asociación de Montañas Andinas*. Quito.
530. Sarmiento FO (2000) *Ambio* 29, 423–431.
531. Zahniser HC (1956) *Land & Water* 2, 15–19.
532. Kellert S. & Derr V (1998) *National study of outdoor wilderness experience*, Island Press.
533. Schopenhauer A (1969) *The World as a Will and Representation*. Longman.
534. Panagopoulos T (2009) *Ecological Economics* 68, 2485–2489.
535. Carlson A & Lintott S (Eds) (2008) *Beauty to Duty: From Aesthetics to Environmentalism*. Columbia University Press.
536. Macia M (2004) *Botanical Journal of the Linnean Society* 144, 149–159.

537. Trénel P *et al.* (2008) *Molecular Ecology* 17, 3528–3540.
538. Soruco A *et al.* (2009) *Geophysical Research Letter* 36, L03502.
539. Hartig T *et al.* (1991) *Environment and Behavior* 23, 3-26.
540. Kaplan R & Kaplan S (1989) *The Experience of Nature*, Cambridge University Press.
541. Ulrich RS (1984) *Science* 224, 420–421.
542. Ulrich RS *et al.* (1991) *Journal of Environmental Psychology* 11, 201-230.
543. Kahn P (1999) *The human relationship with nature: Development and culture*. MIT Press.
544. Maller C *et al.* (2006) *Health Promotion International* 21, 45–54.
545. Fuller RA *et al.* (2007) *Biology Letters* 3, 390–394.
546. Konijnendijk CC (2008) *The Forest and the City: The Cultural Landscape of Urban Woodland*, Springer.
547. Pickover CA (1995) *The Pattern Book: Fractals, Art, and Nature*, World Scientific.
548. Mena B (2008) Pachanga. Hermann Schmidt.
549. Doczi G (1981) *The Power of Limits: Proportional Harmonies in Nature, Art and Architecture*. Shambhala.
550. Cuttings JE (2002) *Perception* 31, 1165–1193.
551. Cardillo M *et al.* (2004) *PLoS Biol* 2: e197.
552. Peralvo MF *et al.* (2005) *Ursus* 16, 222-233.
553. BirdLife International (2009) *Vultur gryphus*. <http://www.birdlife.org>.
554. MacDonald T & MacDonald D. National Birds. <http://www.camacdonald.com/birding/CountryIndex.htm>
555. Werness HB (2004). *The Continuum Encyclopedia of Animal Symbolism in Art*. Continuum International Publishing Group.
556. Howard-Malverde R (1997) *Creating Context in Andean Cultures*. Oxford University Press.
557. Mills A *et al.* (2006) *Mythology: Myths, Legends and Fantasies*. New Holland Publishers.
558. Diaz AG *et al.* (2008) *Tapirus pinchaque*. In: IUCN Red List of Threatened Species.
559. Fragoso JMV *et al.* (2003) *Ecology* 84, 1998–2006.
560. Downer CC (2001) *Journal of Zoology* 254, 279–291.
561. Terborgh J (1998) *Requiem for Nature*. Island Press.
562. Milner-Gulland EJ & Mace R (1998) *Conservation of Biological Resources*, Blackwell.
563. Sayer J & Campbell B (2003) *The Science of Sustainable Development: Local Livelihoods and the Global Environment*, Cambridge University Press
564. Brockington D *et al.* (2008) *Nature unbound*. Earthscan.
565. Sierra R *et al.* (2002) *Landscape and Urban Planning* 59, 95–110.
567. Oxford P & Watkins G (2009) *Galápagos: both sides of the coin*. Enfoque editions.
568. Terborgh J *et al.* Eds (2002) *Making parks work: strategies for preserving tropical nature*. Island Press.
569. du Toit JT *et al.* (2004) *TREE* 19, 12–17.
570. Fiallo EA. & Jacobson SK (1995) *Environmental Conservation* 22, 241–8.
571. Laurance WF (2004) *TREE* 19, 399–401.
572. DFID UK, DG Development EU, UNDP, World Bank (2002) *Linking Poverty Reduction and Environmental Management. Policy Challenges and Opportunities*. The World Bank.
573. Agrawal A & Redford K (2006) *Poverty, development, and biodiversity conservation: Shooting in the dark? Wildlife conservation society working paper 26*.
574. Wood ME (1998) *Meeting the Global Challenge of Community Participation in Ecotourism: Case Studies and Lessons from Ecuador*. Working Papers 2, Nature Conservancy.
575. Murphree MW (1994) In *Natural Connections: Perspectives in Community-Based Conservation*, Western D & Wright RM (Eds), 403-427, Island Press.
576. Markussen M *et al.* eds. (2005). *Valuation and Conservation of Biodiversity. Interdisciplinary Perspectives on the Convention on Biological Diversity*. Springer
577. Berkes F *et al.* (1991) *Alternatives* 18, 12–18.
578. Goldemberg J (1998) *Science* 20, 1140-1141.
579. Bustamante MR *et al.* (2005) *Biotropica* 37, 180–189.
580. Vargas JH *et al.* (2004) *Diversity and Distributions* 10, 211–216.
581. Hobson KA *et al.* (2003) *Oecologia* 136, 302-308.
582. Butler CD & Oluoch-Kosura W (2006) *Ecology and Society* 11, 30.
583. Martinez ML *et al.* (2006) *Frontiers in Ecology and the Environment* 5, 259-267.
584. Idrobo JC (2009) *Instituciones ecuatorianas están en déficit en el campo de la investigación científica*. <http://www.ecuadorinmediato.com/noticias/96694>.
585. Louv R (2005) *Last child in the woods. Saving Our Children from Nature-Deficit Disorder*. Algonquin books.
586. Dillon J *et al.* (2006) *School Science Review* 87, 107–111.
587. Lowman M (2006) *Frontiers in Ecology and the Environment* 4, 451.
588. Smyth J (2006) *Environmental Education Research* 12, 247-264.
589. Orr DW (1994) *Earth in Mind. On education, Environment and the Human prospect*. Island Press.
590. Boel N (2009) *Inside the Green Tents*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization 4: <http://portal.unesco.org>.
591. Flader S & Baird CJ eds (1991) *The River of the Mother of God and Other Essays* by Aldo Leopold. University of Wisconsin Press.
592. Temple Wilderness (1996) *A collection of thoughts and Images on our spiritual bond with the Earth*, Willow Creek Press.
593. Thoreau H.D. (1854) *Walden*, Princeton University Press.
594. Child MF (2009) *Conservation Biology* 23, 241–243.
595. Bates HD (1892) *The naturalist of the River Amazons*, London.
596. Wilson, E.O (1986) *Biophilia*, Harvard University Press.
597. Mayr E (2001) *What evolution is*. Basic books.
598. Wilson EO (1978) *On human Nature*. Harvard University Press.
599. Gotelli NJ (2001) *A primer of Ecology*, Sinauer Associates
600. Hine R (2008) *Oxford Dictionary of Biology*. Oxford University Press.
601. Wilson EO (1992) *The Diversity of Life*. Norton
602. Dodds, WK (2009) *Laws, theories and patterns in ecology*. University of California Press
603. Stuart Chapin III F *et al.* eds (2009) *Principles of ecosystems stewardship*. Springer.
604. Kay RF *et al.* (1997) *PNAS* 94, 13023–13027.
605. Chivian E & Bernstein A Eds. (2008) *Sustaining life: How human health depends on biodiversity*. Oxford University Press.
606. Navas CA (2002) *Journal of Comparative Physiology A* 133:469-485
607. Voss R S & Emmons LH (1996) *Bulletin of the American Museum of Natural History* 230, 1-115.
608. de la Torre L *et al.* (eds) *Enciclopedia de las plantas útiles del Ecuador*, Herbario QCA de la PUCE and Herbario AAU University of Aarhus, Quito and Aarhus.
609. Ramsay, P.M. ed (2001) *The ecology of Volcán Chiles: high-altitude ecosystems on the Ecuador-Colombia border*. Pebble & Shell, Plymouth.
610. Josse C. (2001) *La biodiversidad en Ecuador Informe 2000*. Ministerio del Ambiente, Ecociencia y UICN, Quito, 368 p.
611. List of the top 100 Evolutionary Distinct and Globally Endangered mammals, <http://www.edgeofexistence.org/>
612. Bos, M., *et al.* (2007) *Ecological Applications* 17:1841–1849.
613. Pilgrim S *et al.* (2007) *Ecological Applications* 2007, 17(6):1742-1751.
614. Romoleroux K (2009) *Novon* 19: 502–506.
615. Hall, M.L. *et al.* 2008. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 176, 1–6.
616. De Roy T (ed) (2009) *Galápagos – Preserving Darwin's Legacy*. Firefly Books, 240 p.
617. Skelhorn J *et al.* (2010) *Masquerade: Camouflage Without Crypsis*. *Science* 327:51.
618. Maness TJ & Anderson DJ (2008) *Animal Behaviour*, 76, 1267-1277.
619. Avilés, Let *al* (2001) *Revista Chilena de Historia Natural*. 74.3: 619-638.
620. Agnarsson I. 2006. *Zoological Journal of the Linnean Society* 146: 453-593.
621. Maddison, W.P. 2006. *Zootaxa*. 1255:17-28.
622. Baert, L., *et al* 2008. *Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique* 78:39–111.
623. Finer M *et al.* (2009) *Biotropica* 42, 63 - 66
624. Lecointre G. *et al.* (2002) *La classification phylogénétique du vivant*. Belin, 543 p.
625. Naeem, S. *et al.* (2009) *Biodiversity, ecosystem functioning, and human wellbeing: an ecological and economic perspective*. Oxford University Press.

Par souci de clarté, ce glossaire regroupe quelques-uns des termes les plus utilisés dans cet ouvrage. Ces définitions proviennent de plusieurs sources bibliographiques^{5, 498, 562, 597-603}.

Adaptation : caractère anatomique spécifique, processus physiologique ou trait comportemental améliorant la capacité des individus à survivre et à se reproduire. Également processus d'évolution conduisant à cette caractéristique.

Anoure : tout amphibien sans queue et au corps robuste avec de longues pattes arrière pour sauter.

Aposématisme : signal visuel émis par un organisme pour avertir de sa toxicité.

Approche participative : approche de la conservation et/ou du développement rural dans laquelle une communauté locale participe à la prise de décision et à la gestion des ressources. Ce mode d'apprentissage est fondé sur les principes de l'apprentissage expérientiel qui promeut le partage de la connaissance personnelle et l'expérience. Il permet aux membres d'une communauté de participer efficacement à la construction de leur propre savoir.

Aptitude biologique : contribution à la génération suivante d'organismes génétiquement différenciés en fonction de la contribution relative d'autres types génétiquement différents de la même population. Par définition, ces organismes dont l'aptitude génétique est plus grande dominant dans la population ; le processus s'appelle « évolution par sélection naturelle ».

Bassin hydrographique : territoire drainé par des eaux souterraines ou superficielles qui se déversent dans un collecteur principal (cours d'eau, lac) et délimité par une ligne de partage des eaux.

Biodiversité : variété et variabilité de tous les organismes vivants. Cela inclut la variabilité génétique à l'intérieur des espèces et de leurs populations, la variabilité des espèces et de leurs formes de vie, la diversité des complexes d'espèces associées et de leurs interactions, et celle des processus écologiques qu'ils influencent ou dont ils sont les acteurs.

Biogéographie : branche de l'écologie qui étudie la répartition géographique des êtres vivants.

Biomasse : poids sec de matière organique dans tout ou partie d'un organisme, population ou communauté, exprimé sous forme de poids par unité de surface.

Biome : communauté terrestre capable de se reproduire indéfiniment dans des conditions climatiques et pédologiques, par exemple dans une forêt tropicale humide ou le *páramo*.

Biote (biota) : tous les organismes vivants dans une région ou un secteur donné.

Bryophytes : groupe de plantes dépourvues de vaisseaux. Elles ne produisent ni fleurs ni graines mais se reproduisent par spores.

Canopée : étage supérieur de la forêt.

Coévolution : évolution parallèle de deux types d'organismes indépendants comme les fleurs et leurs pollinisateurs, ou d'un organisme dépendant au moins d'un autre comme le prédateur et sa proie ou les parasites et leurs hôtes, et dans laquelle le changement de l'un entraîne une adaptation de l'autre.

Coexistence : présence de deux espèces ou plus dans le même habitat.

Commensalisme : association entre deux espèces dont une seule tire profit sans pour autant nuire à l'autre.

Communauté biologique : ensemble de populations végétales et/ou animales dans un espace donné.

Compétition : compétition par exploitation, où la simple exploitation d'une ressource par des individus conduit à la réduction de sa disponibilité pour les autres concurrents et **compétition par interférence**, où les individus interagissent directement pour l'accès à la ressource disputée.

Conservation : au sens large, acte qui consiste à empêcher la perte de biodiversité et de processus biologiques. La conservation se distingue de la préservation en reconnaissant le caractère dynamique des systèmes biologiques et leurs évolutions.

Conspécifique : qui appartient à la même espèce.

Contraintes : limites physiologiques, mécaniques ou évolutives empêchant l'évolution de certaines caractéristiques.

Convergence évolutive : présence d'adaptations similaires chez des espèces qui ne sont pas proches génétiquement, dans un même type d'environnement.

Cryptique : coloration ayant pour effet de dissimuler l'animal dans son milieu naturel.

Cycle orogénique : formation naturelle de montagnes.

Décomposeurs : organismes qui transforment la matière organique en petites particules et en éléments minéraux.

Densité : nombre (par exemple, d'individus) par unité de surface.

Dispersion : déplacement des organismes loin de leur lieu d'origine.

Dynamique : comportement d'un système dans le temps.

Écosystème : communauté d'êtres vivants et son environnement abiotique.

Endémique : espèce présente naturellement sur un territoire donné.

Épiphyte : plante qui pousse en se servant d'autres plantes comme support, sans puiser en elles leur nourriture.

Espèce : population ou ensemble de populations dont les individus se ressemblent et qui se reproduisent librement entre eux et non avec des individus d'autres populations.

Espèce « clé de voûte » : espèce qui a un effet disproportionné sur son environnement comparativement à ses effectifs ou à sa taille.

Évolution : transformation des espèces vivantes au cours des générations.

Facteurs abiotiques : facteurs écologiques d'un écosystème de nature chimique ou physique tels que température, humidité, etc., par opposition aux facteurs biotiques.

Facteurs biotiques : facteurs écologiques d'un écosystème associés à l'activité ou à la présence d'organismes vivants, par opposition aux facteurs abiotiques.

Flux génétique : transmission de caractères héréditaires d'une population à une autre par des mouvements d'individus, de gamètes ou de spores.

Forêt de montagne : voir forêt de nuages.

Forêt de nuages : comprend toutes les forêts dans les zones tropicales humides qui sont fréquemment recouvertes de nuages et de brouillard. Elles peuvent inclure les forêts de basses terres (1 000 m-2 000 m), les forêts de montagne (2 000 m-3 000 m), les maquis et enfin les forêts naines jusqu'à environ 4 000 m d'altitude.

Forêt secondaire : forêt par régénération formée d'espèces pionnières à croissance rapide et de quelques arbres tolérant l'ombre.

Hygrométrie : caractérise l'humidité de l'air.

Lignage : groupes phylogénétiques aux ancêtres communs.

Liste rouge de l'UICN : inventaire mondial de l'état de conservation global des espèces végétales et animales par l'Union internationale pour la conservation de la nature. <http://www.iucnredlist.org>

Mutualisme : interaction à bénéfice réciproque entre deux ou plusieurs espèces.

Néotropical : définit le territoire biogéographique correspondant à l'Amérique centrale, les Antilles, l'Amérique du Sud et l'archipel des Galápagos.

Niche écologique : processus par lequel la sélection naturelle entraîne les espèces à entrer en compétition pour l'utilisation des ressources ou différentes niches. Ce processus permet à deux espèces de répartir les ressources de façon à ce qu'une espèce ne gagne pas contre l'autre, mais qu'elles coexistent.

Phénologie : étude des phases de développement saisonnier des animaux ou des végétaux (par exemple, période de floraison chez les végétaux) et de leurs relations avec le climat.

Phylogénie : étude de l'évolution des organismes vivants.

Plantes vasculaires : plantes dont les tissus servent à la circulation de l'eau, des éléments minéraux et des produits de photosynthèse. Elles comprennent les fougères, les plantes à fleurs et les conifères.

Population : ensemble d'individus d'une même espèce se perpétuant dans un territoire donné.

Prédateur : organisme vivant qui capture des proies pour s'en nourrir.

Production primaire : production de matière organique végétale par les organismes végétaux.

Répartition : zone dans laquelle une espèce vit et se reproduit.

Sous-canopée : forêt sous une canopée fermée, jusqu'à 20 m d'altitude.

Spéciation : processus évolutif par lequel de nouvelles espèces vivantes apparaissent. Ce processus peut prendre différentes formes : 1. des populations initialement interfécondes évoluent en espèces distinctes car elles sont isolées géographiquement (spéciation allopatrique) ; 2. la division de l'espèce fondatrice par une barrière géographique, de végétation ou autres barrières (spéciation dichopatrique) ; 3. un petit nombre d'individus fondent une nouvelle population en marge de l'aire de répartition de l'espèce d'origine (spéciation péripatrique) ; 4. des populations non isolées géographiquement peuvent évoluer en espèces distinctes (spéciation sympatrique).

Taxon (taxa) : ensemble des organismes vivants possédant en commun certains caractères bien définis.

Théorie : ensemble de propositions concernant un phénomène naturel tel que l'évolution des continents, celles-ci conduisent à l'élaboration d'hypothèses sur un phénomène scientifique qui peut être expliqué.

Utilisation durable : utilisation qui peut être indéfinie. Comme les écosystèmes et les sociétés sont dynamiques, on ne peut pas dire que l'utilisation sera durable dans le futur bien qu'on puisse dire qu'elle a été durable dans le passé et qu'elle l'est dans le présent.

Abeilles, 153
ADN, analyse moléculaire, 81, 89, 107, 126, 128
Agriculture, 25, 213, 232
Alimentation, 62, 113, 141, 148, 150, 157, 158, 171, 195, 213, 225
Altitude, 23, 43, 59, 121, **gradient**, 25, 28, 38, 65, 201
Amazonie, 26, 65, 77, 134
Amphibiens, 52, 59, 77, 79, 102
Antisana, 30, 33, 34, 36, 38, 39, 42, 45, 89, 126, 137, 160, 172, 216, 217, 219, 222, 227
Aposématisme, 105, 161
Araignées, 98, 182

Bactéries, 209
Baleines, 141
Bates, 122, 238
Becs, 148, 149, 166, 171, 189
Bellavista, 86, 97, 128, 162, 234
Biomimétique, 197
Biophilie, 239
Bioprospection, 196
Bromélias, 48, 86, 205

Cactus, 124, 209
Caïmans, 66
Camouflage, 181, 182, 184
Canopée, 55, 62, 77, 80, 86, 92, 93, 131
Carbone, 197, 211, 213
Carr, 238
Cayambe-Coca, 47, 48, 217, 227
Champignons, 102, 209
Changement climatique, 27, 35, 195, 196, 219, 233
Chasse, 32, 139, 184, 219, 222
Chauves-souris, 77, 81, 132, 181, 197
Chimborazo, 37, 40, 41
Chocó, 2, 51, 59, 80, 110, 113, 132
Chuquiragua, 89
Classification, 21, 126, 128, 131, 134
Coévolution, 89, 167
Coexistence, 142, 147, 158
Colibris, 89, 128, 129, 162, 167, 186, 205
Compétition, 69, 70, 134, 148, 149, 150, 154, 159, 162
Communautaire, 196, 233
Condor des Andes, 30, 226
Conservation, 41, 81, 193, 195, 201, 218, 229, 232, 235, 238
Convergence évolutive, 170
Coraux, 222
Cormorans, 81, 168
Côte, 70, 120, 121, 141, 196
Cotopaxi, 33, 46, 85, 121, 177, 200, 215, 217, 219
Couleurs, 85, 95, 97, 129, 148, 149, 161, 181, 182, 187, 188, 189, 190
Crustacés, 21, 100, 187, 203
Culture, 197, 214, 219, 227, 232

Darwin, 26, 73, 145, 149, 167
Décomposition, 202, 203
Déforestation, 54, 56, 62, 211, 229, 238
Dispersion, 26, 51, 66, 67, 110, 128, 138

Eau, 195, 196, 197, 200, 236
Échantillonnage, 80, 81, 234
Économie, 196, 232
Écotourisme, 196, 232
Éducation, 236
El Niño, 27, 70
Élevage, 229, 232, 238
Endémisme, 26, 37, 47, 51, 53, 55, 56, 59, 60, 65, 80, 85, 86, 108, 120, 134
Épiphytes, 48, 55, 77, 86, 92, 93
Espèces nouvelles, 80, 81, 102, 107, 108, 113, 118, 132, 142, **phares**, 101, 229, **ingénieurs**, 203, **clé de voûte**, 206, **introduites**, 228, **cryptiques**, 81, 107
Éthique, 21, 236
Extinction, 193, 195, 196, 205, 224, 225, 226, 229

Fleuves, 33, 47, 65, 66, 77, 107, 200, 236
Forêt de nuages, 29, 48, 55
Forêt sèche, 21, 102, 105, 115
Formes artistiques, 219, 222, 95, **exagérées**, 166, **variété des formes**, 137, 148
Fourmis, 93, 202
Frailejon, 165
Fromagers, 83, 211
Frugivore, 131, 149

Galápagos, 13, 27, 60, 69, 71, 72, 73, 81, 88, 120, 124, 149, 154, 157, 158, 159, 161, 168, 172, 176, 189, 190, 196, 222, 232
Génétique des populations, 45, 66, 69, 81, 124, 205
Gentiane, 34, 160
Glaciers, 29, 30, 33, 219
Graines, 85, 147, 149, 195, 204, 205, 229
Grallaires, 114
Grenouilles cornues, 104, 105
Grenouilles de verre, 108
Grenouilles marsupiales, 178
Grenouilles vénéneuses, 210

Habitat, fragmentation, 49, 223, **perte**, 39, 195
Heliconia, 186
Hiboux, 43, 117
Humboldt, 21, 23, 25

Ibis, 126
Iguanes, 60, 72, 73, 159
Illinizas, 179
Indigènes, 41, 210, 215, 219, 227
Invertébrés, 77, 78, 90, 101

Jeu, 162

Lianes, 77, 147
Lichens, 46
Locomotion, 81, 101, 142, 168
Lions de mer, 163
Loutre géante, 10, 134
Lumière, 50, 148, 165

Mangrove, 69, 196, 213
Mantidés, 155, 184
Maquipucuna, 55, 85, 93, 113, 131, 181,

182, 225, 233
Marsupiaux, 81, 138
Médicaments, 196, 209, 210
Membracides, 10, 95
Migration, 60, 70, 141
Mollusque, 100
Mompiche, 70, 100, 113, 187, 203
Mutualisme, 93, 157

Niche écologique, 27, 77, 92, 134, 142, 147, 168, 171

Orchidées, 48, 86, 182, 205
Otonga, 56, 57, 90, 107, 108, 113, 154, 168, 175, 179, 184, 210, 222, 238
Ours à lunettes, 225
Oxygène, 30, 33

Paiement pour services environnementaux, 197
Palmiers, 92, 148, 219
Palo Santo, 88
Papillons, 81, 96, 97, 98, 148, 153
Páramos, 29, 36, 43, 45, 47, 70, 165, 199, 200, 217, 225, 229, 236
Parasitisme, 153, 172, 179
Pélicans, 126, 154
Péripates, 101
Perroquets, 123, 150
Pics, 68, 170
Pinsons, 72, 149, 159
Plantes aquatiques, 47, 197
Point chaud, 59, 80, 201
Poissons, 21, 65, 69, 197, 237
Pollinisation, 89, 167, 182, 186, 196, 204, 205, 236
Polylepis, 43, 48
Prédation, 154, 155, 161, 162, 168, 172, 173, 179, 181, 182, 184, 187, 207
Préférence, 39, 92
Production primaire, 142, 203
Proies, 33, 70, 113, 134, 149, 154, 158, 173, 182
Punaises, 161

Quito, 85, 98, 101, 227, 238

Races géographiques, 143
Radiation, 34, 123, 128
Rapaces diurnes, 38, 56, 57, 124, 172
Rareté, 39, 75, 148
Recherche, 80, 81, 90, 147, 196, 220, 235
Religion, 197, 214
Reproduction, 43, 50, 72, 141, 147, 148, 149, 162, 167, 179, 187, 190, 205
Reptiles, 26, 53, 59, 77, 79, 110
Résilience, 195
Rongeurs, 81, 134

Sangay, 53, 59, 107, 108, 199
Sauterelles, 90, 92, 181
Scarabées, 2, 65, 80, 148, 167, 175
Sélection naturelle, 26, 73
Services écologiques, 196, 199, 235
Singes, 62, 142, 195
Sols, 147, 148, 150, 157, 196, 202, 213,

238
Sucumbíos, 98
Sumaco, 56
Symbolisme, 219, 226, 227

Tapirs, 134, 229
Taxonomie, 38, 80, 81, 115, 235
Température, 23, 25, 46, 53, 65, 160, 165, 176, 177
Termites, 197, 202
Territoires, 162, 172, 225
Thermorégulation, 149, 176, 177
Thoreau, 239
Tortues, 153, 176
Toucans, 20, 131, 148, 205

Variation intraspécifique, 97, 105, 137
Venin, 115, 182
Vicariance, 26, 67, 69, 113
Vigogne, 41
Vipéridés, 115
Vision, 154
Volcan, 35, 216, 219, 238

Wallace, 75
Whympers, 9

Xanthosoma, 223
Xenophyllum, 160

Yanacocha, 166, 205
Yasuní, 11, 62, 65, 66, 67, 69, 75, 83, 95, 97, 105, 115, 123, 128, 131, 132, 134, 139, 142, 147, 148, 150, 153, 161, 167, 171, 175, 182, 184, 190, 202, 205, 209, 211, 220, 237

Zahniser, 216
Zones humides, 199



OLIVIER ET FRANÇOIS

Olivier Dangles (à droite) a un doctorat d'écologie et il est chercheur à l'Institut de recherche pour le développement (IRD). Depuis 2006, il est professeur associé à la faculté des sciences biologiques de l'Université pontificale catholique d'Équateur. François Nowicki a un Master en sciences de l'environnement et il travaille pour le ministère français de l'Environnement. Pendant leurs heures de loisir, les deux partenaires aiment observer la nature et photographier ses merveilles. Cette photo a été prise alors qu'ils étaient en train de photographier le grimpar nasican présenté page 170. Pendant dix ans, ils ont collaboré pour faire connaître l'écologie par le biais de la photographie. En 2005, ils ont publié un livre sur la faune et la flore du nord-est de la France intitulé *Coulisses de nos campagnes*. Pour plus d'informations, consulter leur page web : www.naturexpose.com



BELÉN

Belén Mena est passionnée de graphisme. L'entreprise qu'elle a créée en Équateur il y a dix-huit ans s'occupe de gestion d'image corporative d'entreprise et de systèmes de communication visuelle et éditoriale. Elle est l'auteur de *Pachanga*, un livre qui explore le monde des insectes comme une ressource visuelle et analyse sous une forme bidimensionnelle les possibilités de compositions géométriques et chromatiques. Ce livre a été récompensé par le Gold Award au Forum international du dessin en 2008. Il a été traduit en allemand, japonais, coréen et espagnol. En 2008, elle a été élue « Femme équatorienne de l'année ».

REMERCIEMENTS

Nous adressons nos remerciements à toutes les personnes citées ci-dessous qui nous ont apporté leur aide pour la réalisation de cet ouvrage.

Umberto Ahua, Aida Álvarez, Christiane Amedegnato, Fabien Anthelme, Laura Arcos, Alvaro Barragán, Roberto Battiston, Richard Blackbourn, Carlos Boada, Holger Braun, Maria Bucheli, Santiago Burneo, Martín Bustamante, Roger Calvez, Luis Camacho, Rafael Cárdenas, Carlos Carpio, Jérôme Casas, Luis Coloma, Solange et Roger Dangles, Philippe Degaffet, David Donoso, Alicia Franco, Juan Manual Guayasamin, François Guérold, Diego Guevara, Consuelo Hernández, Dean Jacobsen, Jaime Jaramillo, Pablo Jarrín, Clifford Keil, David Lasso, Susana León, Belén Liger, Thomas Mourier, Hugo Navarrete, Jean-Michel et Josiane Nowicki, Giovanni Onore, Ángel Paz, Juan Diego Pérez, Paolo Piedrahita, Álvaro Ponce, David Roubik, Diego Tirira, Bolívar Salas, Fernanda Salazar, Jean-François Silvain, Harrie Sipman, Katya Romoleroux, Santiago Rón, David Salazar, Pablo Sánchez, Google Scholar, César Tapia, Elicio Tapia, Italo Tapia, Renato Valencia, Robert Voss. L'équipe de belenmena, Fanny, Sofi, Andrea, Iliana, Luis et Darwin.

ÉPILOGUE

PRÊTS À PERDRE UN DOIGT

Les mathématiciens John von Neumann et Oskar Morgenstern, inventeurs de la révolutionnaire théorie des jeux, ont expliqué qu'il y a essentiellement deux types de jeux, les jeux à somme nulle, où la victoire d'un joueur implique la défaite de l'autre, comme les échecs, et les jeux à somme non nulle, où les intérêts des joueurs sont liés et où la victoire de l'un n'implique pas nécessairement la défaite de ses partenaires. Tel est le cas avec la conservation de l'environnement. Comme nous le savons, face à l'objectif de sauvegarder la diversité du vivant, les hommes ne peuvent pas continuer à accroître leurs gains si les autres êtres vivants qui participent à l'équilibre de la planète sont atteints ou disparaissent. Si nous envisagions d'écrire les règles de ce jeu, la première règle serait : pour que tous les joueurs puissent avoir une véritable chance de gagner, les responsables du déséquilibre (les hommes) doivent tout d'abord remédier à leur ignorance et à leur indifférence.

L'ignorance autorise certaines libertés, comme celle de penser que la planète, personnifiée par la figure de la mère (la Mère Nature ou la Terre Mère), a la capacité et même la volonté de se défendre des agressions que nous lui faisons subir. Selon cette logique fantasmatique, les tempêtes et les tremblements de terre deviennent des représailles exercées par la nature. Cela revient à supposer que si quelqu'un s'avisait de faire sauter la Lune, une force mystique ou naturelle omnisciente s'empresserait, depuis un lieu indéterminé, de rendre sa rondeur à notre satellite parce que c'est ce qui doit être.

Si l'ensemble des interactions naturelles, que nous appelons la vie, pouvait être représenté par un individu et si la diversité des formes de vie était l'équivalent des différentes cellules ou organes qui participent à son fonctionnement, la situation aujourd'hui pourrait être perçue de la façon suivante : au rythme actuel des interventions humaines, l'individu perdra de très nombreuses cellules, et un certain nombre de tissus. Alors que certaines cellules ou certains organes peuvent disparaître sans entraîner la mort, d'autres ne pourront pas être remplacés. L'un des exemples donnés dans cet ouvrage est la possibilité de disparition imminente d'une espèce de tapir andin en l'espace de vingt ans en Équateur. En d'autres termes, nous sommes sur le point de perdre un membre, disons un doigt. La Terre Mère ne peut pas remplacer la fonction de cet animal, ou cela prendrait des millions d'années. Le rôle joué par le tapir ne peut être tenu par un autre être vivant. Bien sûr, si l'on revient à l'image du doigt, quelqu'un aura l'idée que nous pouvons avoir recours à une prothèse dans l'espoir qu'elle fonctionne aussi bien que le doigt original (c'est aussi réaliste que de fabriquer une navette spatiale dans une menuiserie) et on dira, si ce n'est pas possible, qu'il aurait fallu prendre conscience de la gravité du problème au moment où il se présentait, et que, malgré tout, l'individu ne meurt pas pour un doigt en moins ! Dans le fond, le dilemme est ailleurs. Le scandale est que la hache qui coupe le doigt, c'est l'homme, et les deux tranchants de la hache, ce sont l'indifférence et l'ignorance. Cet ouvrage contribue à lutter contre ces deux maux tellement répandus.

Ne nous trompons pas de cible. La conservation de l'environnement ne demande pas de s'excuser pour chaque moustique tué ni de tout abandonner pour se transformer en gardiens de la forêt ; quoique, cela viendrait à point. Mais nous devons rappeler que certaines sociétés ont réussi à limiter la barbarie ou, plus exactement, à la mettre en suspens. Elles sont parvenues à épurer leurs fleuves, reboiser (dans une certaine mesure) leurs forêts et à préserver des parties de leurs écosystèmes les plus fragiles. Mais la sauvagerie ne disparaît pas, c'est à peine si elle s'estompe pour revenir avec plus de force, comme sont revenus les chasseurs de baleines, réapparus dans l'indifférence et l'ignorance générales. La même ignorance que celle qui pousse un fermier à tuer un condor des Andes sous prétexte qu'il s'attaque à son bétail, la même indifférence que celle qui pousse des millions de personnes à consommer une soupe d'ailerons de requin comme si c'était un bouillon de légumes. Ce livre n'est pas un hymne à l'activisme, mais sa valeur esthétique et la réflexion scientifique dont il est porteur sont là pour nous empêcher de rester les bras croisés devant le risque que la richesse de cette région du monde, lieu emblématique de la diversité du vivant, ne soit bientôt plus qu'un souvenir, par manque de conscience et de sens des responsabilités.

Matías Cortese
Directeur éditorial

Achévé d'imprimer sur les presses de l'imprimerie Estimprim (Autrechaux, France).

Dépôt légal : janvier 2022



Des sommets andins à la forêt amazonienne et jusqu'aux Galápagos, l'Équateur, zone de forte biodiversité mondiale, abrite une faune et une flore uniques au monde.

Les photos exceptionnelles présentées dans cet ouvrage en témoignent : les portraits sur le vif d'un condor ou d'un tapir des Andes, d'un renard remontant la pente enneigée d'un volcan, d'un iguane marin sur la plage ou encore d'une orchidée dans la forêt de nuages sont autant d'instant magiques capturés au cœur des écosystèmes.

Face à la beauté saisissante de ces images, le lecteur, guidé par un texte accessible à tous et fondé sur une profonde connaissance scientifique, est amené à mieux comprendre le pourquoi d'une telle diversité et la multiplicité des interactions à l'origine du fonctionnement des écosystèmes.

Mieux comprendre pour mieux protéger : en utilisant la photographie comme un véritable appât visuel, *Natura Maxima* est un formidable livre éducatif au service de la biodiversité !



Institut de Recherche
pour le Développement
FRANCE

www.editions.ird.fr



FONDATION
POUR LA RECHERCHE
SUR LA BIODIVERSITÉ

35 €

ISBN : 978-2-7099-2929-5



9 782709 929295