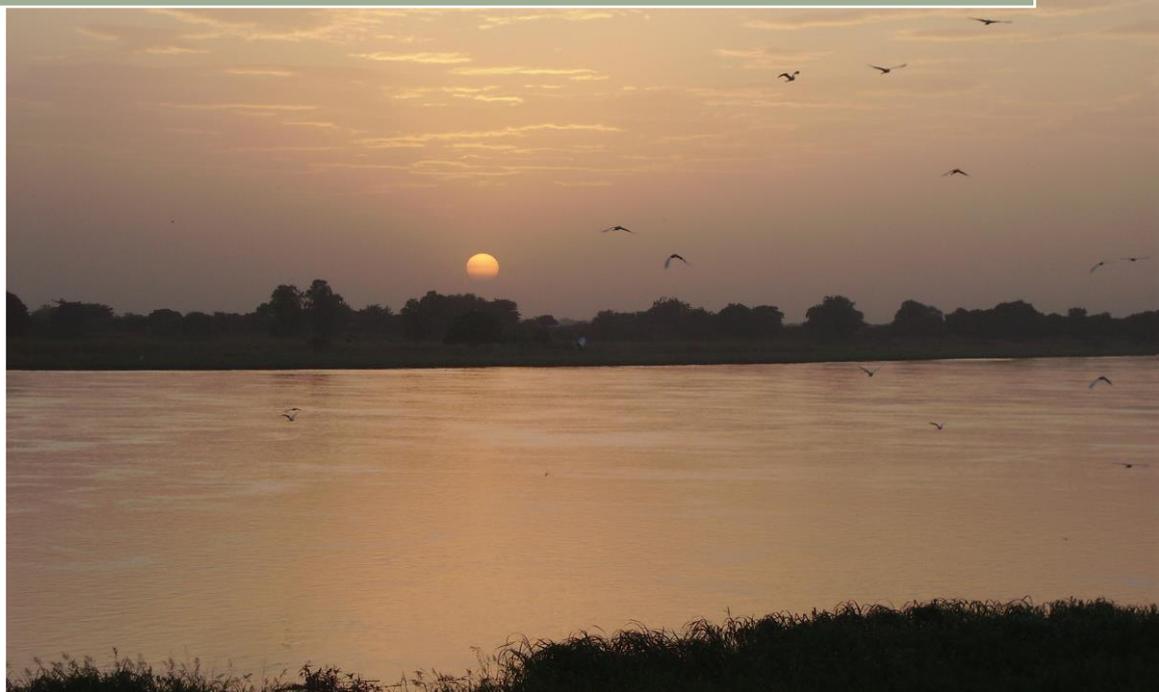


# Aires protégées résilientes au changement climatique, PARCC Afrique de l'Ouest



2015

## Analyse des carences et établissement de priorités géographiques pour la conservation au Tchad



FRANCAIS

Robert J Smith

DICE, University of Kent

2015

Le programme des Nations Unies pour l'environnement, Centre de surveillance de la conservation de la nature (UNEP-WCMC) est le centre spécialisé d'évaluation de la biodiversité du programme des Nations Unies pour l'environnement, l'organisation environnementale intergouvernementale la plus importante dans le monde. Le Centre a été en opération depuis plus de 30 ans, alliant recherche et conseils politiques pratiques.



*Analyse des carences et établissement de priorités géographiques pour la conservation au Tchad*, rédigé par Robert Smith, avec le financement du Fonds pour l'environnement mondial (FEM) par le biais du PNUE.

- Droits d'auteur :** 2015. Programme des Nations Unies pour l'environnement.
- Reproduction :** La reproduction de cette publication à des fins éducatives ou non commerciales est autorisée sans permission spéciale, à condition que la reconnaissance de la source soit faite. La réutilisation de toutes les figures est soumise à l'autorisation des détenteurs des droits d'origine. Aucune utilisation de cette publication ne peut être effectuée pour la vente ou toute autre fin commerciale, sans la permission écrite du PNUE. Les demandes d'autorisation, accompagnées d'une déclaration de l'intention et de l'étendue de la reproduction, doivent être envoyées au Directeur, DCPI, UNEP, P.O. Box 30552, Nairobi, Kenya.
- Non responsabilité :** Le contenu de ce rapport ne reflète pas nécessairement les vues ou la politique du PNUE, des organisations participantes ou des éditeurs. Les appellations employées et la présentation des documents dans ce rapport n'impliquent pas l'expression d'une opinion quelconque de la part du PNUE ou des organisations participantes, ou des éditeurs concernant le statut juridique des pays, territoires, villes ou leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites ou la désignation de leurs noms, frontières ou limites. La mention d'une entité commerciale ou d'un produit dans cette publication n'implique pas son approbation par le PNUE.
- Citation :** Robert J. Smith 2015. Analyse des carences et établissement de priorités géographiques pour la conservation au Tchad. *UNEP-WCMC technical report*
- Disponibilité :** UNEP World Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC)  
219 Huntingdon Road, Cambridge CB3 0DL, UK  
Tel: +44 1223 277314; Fax: +44 1223 277136  
Email: [protectedareas@unep-wcmc.org](mailto:protectedareas@unep-wcmc.org)  
URL: <http://www.unep-wcmc.org>

Photo de couverture : Fleuve Chari, Tchad. *Droits d'auteur* : Elise Belle

UNEP promotes environmentally sound practices globally and in its own activities. This publication is printed on 100% recycled paper, using vegetable-based inks and other eco-friendly practices. Our distribution policy aims to reduce UNEP's carbon footprint.

## Sommaire

---

LISTE DES FIGURES .....	4
LISTE DES TABLEAUX .....	5
RESUME EXECUTIF .....	6
LISTE DES ABREVIATIONS.....	10
REMERCIEMENTS .....	11
<b>INTRODUCTION</b> .....	12
<b>METHODOLOGIE</b> .....	16
Région d'étude.....	16
Établir des objectifs.....	18
Créer les systèmes de planification de la conservation.....	20
Analyse des carences .....	23
Calibrer les paramètres de Marxan .....	23
<b>RESULTATS</b> .....	25
Détails des éléments de conservation et analyse des carences .....	25
Évaluation systématique de la conservation .....	28
<b>DISCUSSION</b> .....	32
Analyse des carences .....	32
Identifier les zones prioritaires .....	33
<b>RECOMMANDATIONS</b> .....	36
Mettre en œuvre les résultats .....	36
Améliorer le système de planification de la conservation.....	36
<b>REFERENCES</b> .....	39

## Liste des figures

- Figure 1 : Représentation schématique des résultats de Marxan. (A) présente la répartition de trois espèces dans quatre unités de planification. (B) présente les résultats de la double exécution de Marxan et les deux différents ensembles qui en découlent, où les unités de planification sélectionnées sont en magenta. Les deux ensembles répondent à l'objectif selon lequel au moins une population de chaque espèce doit être protégée. (C) présente le résultat de la fréquence de sélection, qui évalue la fréquence à laquelle chaque unité de planification a été sélectionnée dans les deux ensembles : l'unité de planification en rouge est toujours sélectionnée car elle contient l'unique population de poissons ; une des unités de planification en jaune est nécessaire pour répondre à l'objectif établi pour les crapauds, toutefois aucune des deux n'est irremplaçable car elles peuvent être mutuellement échangées. .... 14
- Figure 2 : La carte des écorégions du WWF pour le Tchad, où le type d'écorégion est basé sur la richesse, l'endémisme et l'unicité taxonomique plus élevée des espèces (Olson et al, 2001)... 17
- Figure 3 : L'approche utilisée pour déterminer les objectifs relatifs aux espèces, en fonction de leurs aires de répartition mondiales. Celle-ci est basée sur une méthodologie développée par Rodrigues et al (2004), toutefois chaque objectif est limité à 20 % du fait que les analyses du projet PARCC utilisent des données à une échelle spatiale relativement petite..... 20
- Figure 4 : Détails des unités de planification créées en combinant un calque d'un hexagone régulier, le calque des limites des aires protégées et le calque des Zones importantes pour la conservation des oiseaux et de la biodiversité. Elle montre que chaque unité de planification est un hexagone sauf si celle-ci se trouve à la limite de la région de planification ou fait partie d'une AP ou d'une ZICO existante. .... 21
- Figure 5 : Carte du Tchad présentant les grandes villes, les frontières administratives, les aires protégées, les Zones importantes pour la conservation des oiseaux et de la biodiversité et les données relatives au coût des unités de planification..... 24
- Figure 6 : Cartes pour le Tchad présentant (A) l'état de conservation des unités de planification utilisées sous Marxan et (B) la richesse des éléments de conservation, où les valeurs de la richesse varient de 0 à 379..... 25
- Figure 7 : Pourcentage des espèces d'amphibiens, d'oiseaux et de mammifères pour lesquelles l'objectif fixé (c.-à-d. la proportion de leur aire de répartition actuelle à protéger) est atteint par le réseau d'aires protégées (AP) et les Zones importantes pour la conservation des oiseaux et de la biodiversité (ZICO) existants au Tchad. .... 27
- Figure 8 : Pourcentage des espèces menacées d'amphibiens, d'oiseaux et de mammifères pour lesquelles l'objectif fixé (c.-à-d. la proportion de leur aire de répartition actuelle à protéger) est atteint par le réseau d'aires protégées (AP) et les Zones importantes pour la conservation des oiseaux et de la biodiversité (ZICO) existants au Tchad..... 28
- Figure 9 : Résultats de la fréquence de sélection pour le Tchad basés sur l'analyse de Marxan. Les zones en rouge ont été sélectionnées dans chaque ensemble identifié par le logiciel, en fonction de la réalisation des objectifs tout en assurant la réduction des coûts et le maintien de la connectivité..... 30
- Figure 10 : Les quatre meilleurs ensembles identifiés par Marxan quant à la réalisation des objectifs relatifs aux éléments de conservation pour le Tchad tout en minimisant les coûts. La surface totale correspond à la surface combinée des AP existantes, des ZICO non protégées et des zones prioritaires supplémentaires sélectionnées par Marxan pour réaliser les objectifs tout en minimisant les coûts..... 31

## Liste des tableaux

---

Tableau 1 : Détails relatifs aux écorégions, aux zones d'altitude et aux types de couverts végétaux utilisés en tant qu'éléments de conservation dans le système de planification de la conservation pour le Tchad. Les objectifs ont été fixés à 10 % de la surface des zones d'altitude et des types de couverts végétaux, et entre 10 % et 20 % pour les types d'écorégions, avec des objectifs plus élevés pour les écorégions présentant une répartition plus restreinte. ....	26
Tableau 2 : Les modèles de répartition des espèces (SDM) utilisés dans le système de planification de la conservation, présentant la répartition anticipée des espèces durant la période de 2010 à 2039. Les chiffres sont basés sur les valeurs moyennes des cinq différents SDM par espèce. ...	28
Tableau 3 : Détails de la zone d'unités de planification pour le Tchad regroupées en fonction de leurs résultats de fréquence de sélection.....	29

## Résumé exécutif

---

L'importance des aires protégées (AP) pour réduire la perte de biodiversité est largement reconnue. Pour cette raison, les Parties à la Convention sur la diversité biologique (CDB) ont convenu de la mise en application de l'objectif 11 d'Aichi, qui implique l'accroissement de l'étendue mondiale des AP terrestres et des AP marines pour atteindre respectivement 17 % et 10 %, d'ici à 2020. En outre, l'objectif 11 d'Aichi engage ces pays à développer des réseaux d'AP qui comprennent « les zones qui sont particulièrement importantes pour la diversité biologique et les services fournis par les écosystèmes », et qui sont « des réseaux écologiquement représentatifs et bien reliés ». Actuellement, la plupart des réseaux nationaux d'AP n'assurent pas la réalisation de cet objectif et, par conséquent, il est urgent de modifier et d'étendre ces systèmes d'AP afin de les valoriser en faveur de la conservation de la biodiversité.

La planification systématique de la conservation est l'approche la plus couramment utilisée pour concevoir des réseaux d'AP. Elle consiste à produire une liste des espèces, des habitats et des processus écologiques importants (regroupés sous l'appellation des éléments de conservation), à cartographier leur répartition et à établir des objectifs déterminant dans quelle mesure chaque élément de conservation doit être protégé. Ces données sont ensuite utilisées pour réaliser une analyse des carences, qui évalue à quel point le système d'AP existantes répond à ces objectifs, ainsi que l'établissement de priorités géographiques pour la conservation, qui identifie les zones prioritaires en vue de combler les insuffisances liées aux objectifs.

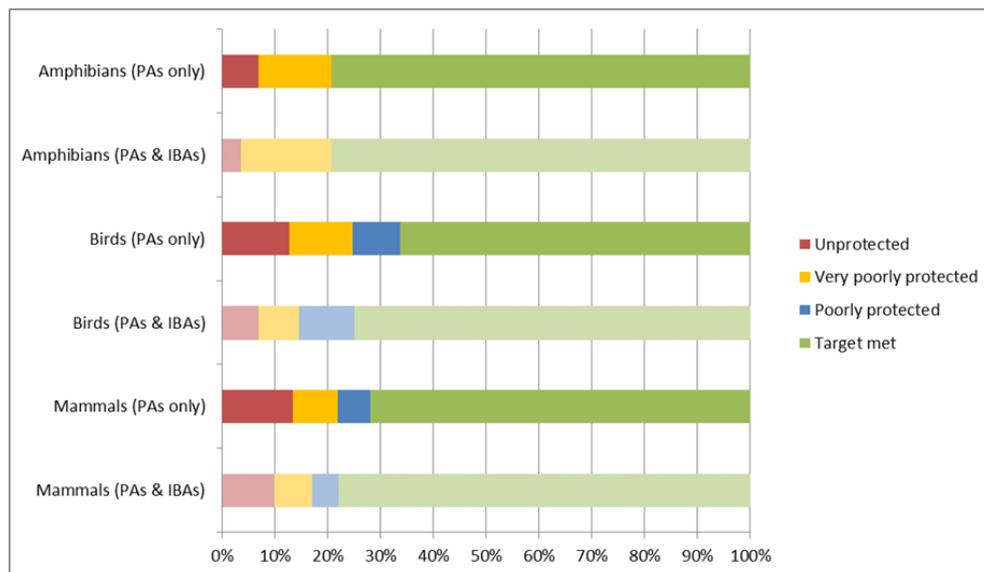
Les réseaux d'AP doivent être solides face aux impacts du changement climatique, du fait qu'il est probable que la répartition des éléments de conservation soit modifiée en réponse aux changements de température, de précipitations et de niveaux de la mer. La planification systématique de la conservation peut être utilisée pour aborder ce problème en identifiant les zones prioritaires en termes de conservation, qui permettent de protéger la répartition future anticipée des espèces importantes ainsi que leur répartition actuelle.

Dans le cadre du projet PARCC Afrique de l'Ouest, nous avons réalisé une analyse des carences et établi des priorités géographiques pour la conservation pour la région de l'Afrique de l'Ouest et les cinq pays participant au projet : le Tchad, la Gambie, le Mali, la Sierra Léone et le Togo. Un système de planification systématique régionale de la conservation et cinq systèmes de planification systématique nationale de la conservation ont par conséquent été élaborés. Nous avons ensuite utilisé ces systèmes pour permettre l'identification des possibilités d'amélioration des réseaux d'AP en vue de conserver la biodiversité dans le présent et le futur, tout en tenant compte des projections climatiques futures. Ce rapport présente les résultats de l'analyse pour la République du Tchad.

Le système de planification systématique de la conservation pour le Tchad contenait des données relatives aux éléments de conservation suivants, observés dans le pays : 22 types de végétation à une petite échelle au niveau national, 11 types de végétation à une grande échelle au niveau régional, 8 écorégions, 29 espèces d'amphibiens, 488 espèces d'oiseaux et 82 espèces de mammifères. Il contenait également des données relatives à la répartition anticipée des 13 espèces d'amphibiens, d'oiseaux et de mammifères pour la période de 2010 à 2039, pour lesquelles ces Modèles de répartition des espèces (SDM) prévoient une modification de leur aire de répartition supérieure à 10 % d'ici à la période de 2010-2039 et qui sont considérées comme menacées ou vulnérables aux impacts escomptés du changement climatique.

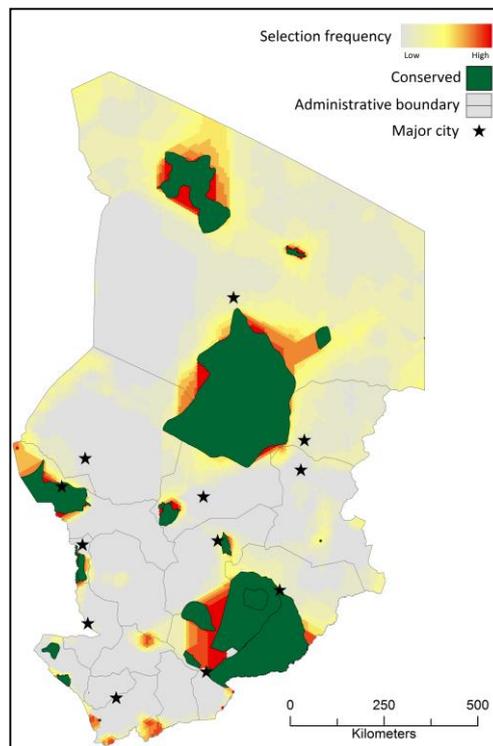
Le Tchad représente une superficie de 1 284 000 km<sup>2</sup> et 11,8 % de cette zone fait partie d'AP existantes, tandis qu'un autre secteur couvrant 2,4 % fait partie de Zones importantes pour la conservation des oiseaux et de la biodiversité (ZICO) non protégées qui ont été identifiées par BirdLife International et leurs partenaires locaux.

Le réseau combinant les AP et les ZICO répond aux objectifs pour 74,5 % de l'ensemble des éléments de conservation. Les objectifs en termes de conservation sont atteints pour 79,3 % des espèces d'amphibiens, 75 % des espèces d'oiseaux, 78 % des espèces de mammifères et 46,2 % des SDM durant la période de 2010 à 2039. Toutefois, 7,4 % de ces éléments sont totalement absents de ce réseau et ce pourcentage est encore plus bas lorsqu'il s'agit des espèces menacées, dont 12,5 % sont non protégées. En outre, la répartition future anticipée de l'Engoulevent à épaulettes noires (*Caprimulgus nigriscapularis*) et du Cubla aux yeux rouges (*Dryoscopus senegalensis*) est non protégée.



**Pourcentage des espèces d'amphibiens, d'oiseaux et de mammifères pour lesquelles l'objectif fixé (c.-à-d. la proportion de leur aire de répartition actuelle à protéger) est atteint par le réseau d'aires protégées (AP) et les Zones importantes pour la conservation des oiseaux et de la biodiversité (ZICO) existants au Tchad.**

Nous avons utilisé le logiciel de planification de la conservation Marxan pour identifier les zones prioritaires quant à la réalisation des objectifs manquants. L'analyse a été conçue pour éviter les zones à forte densité de population humaine, dans la mesure du possible, et pour identifier les zones prioritaires qui agrandissent les AP existantes ou qui sont suffisamment grandes pour être écologiquement viables. Les résultats de notre recherche révèlent que 384 765 km<sup>2</sup> doivent être ajoutés au réseau d'AP pour réaliser tous les objectifs et que, par conséquent, 30,3 % du pays doit être protégé pour atteindre tous les objectifs. Une grande partie de ce nouveau territoire se trouve dans le nord du pays afin de répondre aux objectifs pour les écorégions des forêts claires xérophiles d'altitude de l'Est du Sahara et du désert du Sahara.



**Zones prioritaires pour la conservation dans la République du Tchad. Les zones en rouge ont été le plus souvent sélectionnées par Marxan.**

Les zones prioritaires identifiées avec le plus de régularité par Marxan se trouvaient autour des AP existantes, particulièrement la ZICO du massif du Tibesti, la Réserve de faune Ouadi Rimé-Ouadi Achim et la Réserve de faune du Bahr Salamat. Ce résultat découle du fait que, dans chaque secteur du pays, on trouve de nombreuses zones présentant une biodiversité et une densité de population humaine similaires. Par conséquent, la nécessité de réduire les niveaux de fragmentation a porté Marxan à constamment sélectionner des zones qui jouxtent les AP existantes. En outre, il existait également un certain nombre de zones prioritaires plus petites et distinctes se trouvant dans le secteur sud du pays et associées à d'importantes parcelles de végétation ainsi qu'à des espèces dont la répartition est relativement restreinte.

Les résultats de l'analyse des carences et de l'établissement de priorités géographiques pour la conservation fournissent une profusion de données qui peuvent être utilisées dans l'élaboration des politiques et pratiques en matière de conservation au Tchad. Toutefois, il est nécessaire de prendre garde lors de la mise en œuvre des résultats étant donné que la plupart des données de répartition sont basées sur des cartes d'aires de répartition qui contiennent des habitats inappropriés. Par conséquent, la première étape dans la mise en œuvre de ces résultats consiste à réaliser des analyses documentaires et des études de terrain pour vérifier que chaque zone prioritaire est incontestablement importante quant aux éléments de conservation pour lesquels elle a été sélectionnée.

Il est également important de reconnaître que le système de planification de la conservation pour le Tchad contenait uniquement des données concernant trois groupes de vertébrés et n'incluait pas de données relatives à un éventail de facteurs qui pourraient influencer la mise en œuvre, tels que les services écosystémiques, les coûts d'opportunité liés à l'agriculture ou les projets d'utilisation des terres provenant d'autres secteurs d'activité. Il est donc important que les professionnels de la conservation et les chercheurs au niveau national et international continuent d'améliorer le système de planification par la mise à jour des données et l'ajout de nouvelles données.

## Liste des abréviations

---

AP	Aire protégée
asl	au-dessus du niveau de la mer
BLM	<i>Boundary Length Modifier</i>
CDB	Convention sur la diversité biologique
FPE	Facteur de pénalisation des espèces
GRUMP	Projet mondial de cartographie rurale-urbaine
SDM	Modèle de la répartition des espèces
SPC	Système de planification de la conservation
UICN	Union internationale pour la conservation de la nature
WDPA	Base de données mondiale sur les aires protégées
WWF-US	Organisation mondiale de protection de la nature - États-Unis
ZICO	Zone importante pour la conservation des oiseaux et de la biodiversité

## Remerciements

---

Nous sommes grandement reconnaissants au Fonds pour l'environnement mondial (FEM), qui a financé le projet PARCC Afrique de l'Ouest, notamment ce volet.

Nous remercions les nombreuses personnes et organisations qui contribuent à la Liste rouge des espèces menacées de l'UICN, à la Base de données mondiale sur les aires protégées et à la base de données sur les Zones importantes pour la conservation des oiseaux et de la biodiversité. Nous sommes également reconnaissants à la Commission pour la survie des espèces de l'UICN, au PNUE-WCMC et à BirdLife International de nous avoir fourni ces données et conseillés sur leur utilisation. Nos remerciements s'adressent à tous les experts du Tchad pour leur assistance dans le processus de planification systématique de la conservation, particulièrement dans le cadre de l'identification des éléments de conservation pertinents et de la détermination des objectifs. Merci également à tous les Agents de liaison nationaux du projet PARCC de nous avoir aidés à collecter les données et à organiser les ateliers.

Nous sommes extrêmement reconnaissants à Rachel Sykes de nous avoir aidés à exécuter les analyses sous Marxan et d'avoir produit les données, ainsi qu'à Moreno di Marco de nous avoir donné de précieux commentaires sur les versions précédentes de ce rapport. Merci également aux membres du Groupe consultatif d'experts techniques du projet PARCC pour les conseils et les données fournis. En particulier, nous remercions David Baker et Steve Willis de l'université de Durham, Andy Hartley du bureau météorologique du R.-U., Stu Butchart de BirdLife International et Jamie Carr du Groupe des spécialistes du changement climatique de la CSE de l'UICN. Enfin, nous voudrions remercier les principaux membres de l'équipe du projet PARCC. Merci à Bora Masumbuko pour toute son aide dans l'organisation de la logistique et du soutien au projet, ainsi qu'à Luc Qemal pour nous avoir aidés à organiser les ateliers. Merci également à Neil Burgess pour son aide et ses conseils, ainsi qu'à Elise Belle pour son travail soutenu et son soutien dans la réalisation de ce travail.

## Introduction

---

La biodiversité diminue et les aires protégées (AP) sont perçues comme une approche clé en vue d'endiguer cette perte (Butchart et al, 2015). Pour cette raison, les 196 pays signataires de la Convention sur la diversité biologique (CDB) se sont engagés, par le biais de l'objectif 11 d'Aichi, à accroître l'étendue mondiale du réseau d'AP pour couvrir 17 % du domaine terrestre et 10 % du domaine marin d'ici à 2020 (CBD, 2010). Néanmoins, il est de plus en plus reconnu qu'une simple extension du réseau mondial d'AP ne suffira pas à réduire la perte de biodiversité. Cela résulte du fait que les AP sont traditionnellement situées dans des zones à faible valeur économique, ce qui engendre des réseaux non représentatifs d'un grand nombre d'espèces et d'habitats, et dont la capacité à protéger les espèces menacées est particulièrement faible (Venter et al, 2014). Par conséquent, l'objectif 11 d'Aichi souligne également que les AP doivent être situées dans des zones qui sont particulièrement importantes pour la diversité biologique et les services fournis par les écosystèmes, et que les systèmes d'AP doivent être des réseaux écologiquement représentatifs et bien reliés. En outre, il est largement reconnu que les AP doivent jouer un rôle majeur dans la réalisation de l'objectif 12 d'Aichi, qui stipule que « D'ici à 2020, l'extinction d'espèces menacées connues est évitée et leur état de conservation, en particulier de celles qui tombent le plus en déclin, est amélioré et maintenu ».

La réalisation des objectifs 11 et 12 d'Aichi implique d'accroître les réseaux d'AP existantes pour qu'ils représentent et protègent d'une manière adéquate un éventail beaucoup plus large d'espèces et d'écosystèmes (Butchart et al, 2015). Toutefois, la nature n'est pas statique et il est également important que ces AP continuent de protéger ces éléments de conservation dans le futur. En particulier, les AP doivent prendre en compte la manière dont la biodiversité est susceptible de réagir au changement climatique, étant donné qu'il est probable que la répartition des espèces soit modifiée en réponse aux changements en termes de tendances des précipitations et des températures (Willis et al, 2015). Par conséquent, les travaux de recherche concernant la manière dont le changement climatique aura un impact sur la répartition des espèces sont réellement essentiels afin d'appuyer les actions de gestion des directeurs des AP et des planificateurs de la conservation. Le projet PARCC a permis d'identifier les espèces le plus probablement vulnérables aux impacts du changement climatique (Carr et al, 2014) ainsi que les AP qui présenteront probablement les plus hauts niveaux de renouvellement des espèces (Baker et al, 2015). Le volet de recherche final du projet PARCC étudie dans quelle mesure le système d'AP existantes en Afrique de l'Ouest assure la conservation des répartitions actuelle et future de la biodiversité, et il identifie les zones prioritaires pour combler les carences. Ce rapport décrit les résultats découlant de l'analyse nationale pour la République du Tchad, l'un des cinq pays cibles du projet PARCC.

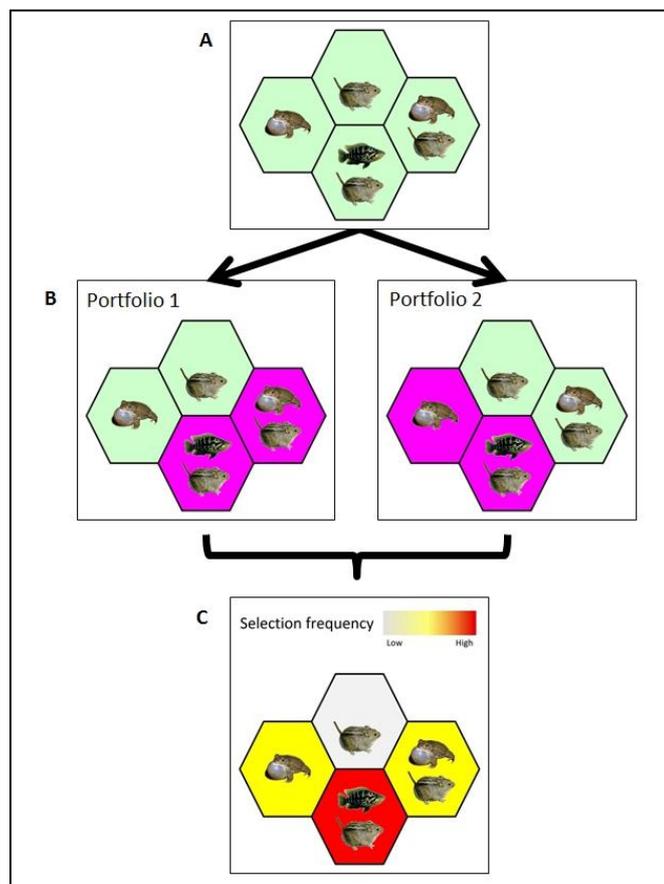
Nous avons adopté une approche de planification systématique de la conservation pour évaluer dans quelle mesure le système d'AP existantes assure la protection des répartitions actuelle et future de la biodiversité en Afrique de l'Ouest. La méthode de planification systématique de la conservation a été conçue pour être suffisamment flexible en vue de son application dans une variété de contextes (Margules & Pressey, 2000), toutefois, elle implique généralement les mesures suivantes : (1) Identifier et impliquer les parties prenantes clés ; (2) Identifier les objectifs généraux pour l'exercice de planification de la conservation ; (3) Identifier les espèces, les habitats et les processus écologiques, regroupés sous l'appellation des éléments de conservation, à utiliser dans les analyses ; (4) Rassembler et évaluer les données disponibles concernant ces éléments de conservation, ainsi que les données concernant les facteurs socioéconomiques et liés à la mise en œuvre ; (5) Établir des objectifs pour chaque élément de conservation ; (6) Réaliser une analyse des carences pour vérifier dans quelle mesure les AP existantes répondent aux objectifs relatifs aux éléments de conservation ; (7) Sélectionner des zones de conservation supplémentaires par le biais d'une évaluation de la conservation ; (8) Mettre en œuvre des actions de conservation dans les zones sélectionnées, et (9) Maintenir et surveiller les zones de conservation établies.

Cela implique que la planification systématique de la conservation est un processus à long terme qui s'articule autour d'une coopération avec les parties prenantes afin d'élaborer et de produire conjointement une stratégie de mise en œuvre (Knight et al, 2006). Deux aspects techniques clés à court terme sont néanmoins à prendre en compte dans ce processus. Le premier consiste en une analyse des carences (mesure 6 énoncée ci-dessus) qui s'attache à évaluer dans quelle mesure le réseau d'AP existantes répond aux objectifs établis en termes de biodiversité. Le second consiste en une évaluation de la conservation, également désignée sous l'appellation de l'établissement de priorités géographiques pour la conservation (mesure 7 énoncée ci-dessus), qui s'attache à identifier les zones prioritaires pour la conservation afin de combler ces carences (Knight et al, 2006).

L'établissement de priorités géographiques pour la conservation correspond à la partie la plus technique de ce processus et consiste à : (i) Diviser la région de planification en un certain nombre d'unités de planification ; (ii) Enregistrer l'abondance de chaque élément de conservation dans chaque unité de planification ; (iii) Établir des objectifs de représentation pour chaque élément de conservation ; (iv) Attribuer une valeur des coûts à chaque unité de planification ; (v) Évaluer l'efficacité du système d'AP existantes, et ; (vi) Utiliser des logiciels informatiques pour identifier les nouvelles unités de planification à intégrer dans le système en fonction de la complémentarité. Nous avons utilisé le progiciel Marxan pour réaliser l'établissement de priorités géographiques pour la conservation. Marxan a été conçu pour identifier des ensembles de zones prioritaires qui répondent aux objectifs en termes de conservation, pour réduire les coûts et pour maintenir la connectivité, et

il est le progiciel de planification systématique de la conservation le plus couramment utilisé (Ball et al, 2009).

Marxan a recours à une méthode dénommée le recuit simulé pour identifier les zones prioritaires, ce qui implique l'exécution répétée du logiciel afin de déterminer chaque fois un groupe presque optimal d'unités de planification, où chacun de ces groupes d'unités de planification est désigné sous le nom d'ensemble. Les résultats de chaque exécution ont tendance à être légèrement différents, par conséquent, Marxan génère deux résultats principaux : (1) la 'meilleure' solution qui correspond à l'ensemble présentant les coûts globaux les plus faibles ; et (2) un résultat concernant la 'fréquence de sélection' qui compte le nombre de fois où chaque unité de planification apparaît dans les différents ensembles (Figure 1).



**Figure 1 : Représentation schématique des résultats de Marxan. (A) présente la répartition de trois espèces dans quatre unités de planification. (B) présente les résultats de la double exécution de Marxan et les deux différents ensembles qui en découlent, où les unités de planification sélectionnées sont en magenta. Les deux ensembles répondent à l'objectif selon lequel au moins une population de chaque espèce doit être protégée. (C) présente le résultat de la fréquence de sélection, qui évalue la fréquence à laquelle chaque unité de planification a été sélectionnée dans les deux ensembles : l'unité de planification en rouge est toujours sélectionnée car elle contient l'unique population de poissons ; une des unités de planification en jaune est nécessaire pour répondre à l'objectif établi pour les crapauds, toutefois aucune des deux n'est irremplaçable car elles peuvent être mutuellement échangées.**

Dans ce rapport, nous nous attachons davantage au résultat de la fréquence de sélection car il identifie les zones prioritaires tout en restant flexible par rapport aux zones exactes à protéger. En outre, nous avons analysé les quatre meilleurs ensembles (les quatre ensembles présentant les coûts

les plus faibles) pour mesurer la totalité de la zone nécessaire à la réalisation des objectifs et au maintien de la connectivité. La décision de présenter les quatre meilleurs ensembles vise à concilier la nécessité d'illustrer la variation des résultats sans inonder le lecteur d'informations. Nous décrivons donc ici les résultats de l'analyse des carences et de l'analyse sous Marxan de l'établissement de priorités géographiques pour la conservation pour la République du Tchad. La prochaine section décrit la méthodologie concernant le développement du système de planification systématique de la conservation. Elle est suivie des résultats de l'analyse des carences et de l'établissement de priorités géographiques. La dernière section s'attache aux résultats et formule ensuite un certain nombre de recommandations pour la mise en œuvre des résultats et l'amélioration du système de planification de la conservation.

## Méthodologie

---

### Région d'étude

---

La République du Tchad est un pays enclavé qui fait frontière avec le Cameroun, la République centrafricaine, la Libye, le Niger, le Nigéria et le Soudan. Sa superficie est de 1 284 000 km<sup>2</sup> et sa population en 2009 dépasse tout juste les 10 millions de personnes, dont la plupart vivent dans le sud du pays. Le Tchad peut être divisé en trois zones climatiques distinctes : le désert du Sahara au nord ; la bande sahélienne au centre, et ; la savane soudanienne au sud. Le Tchad présente des niveaux de biodiversité parmi les plus élevés en Afrique sahélo-soudanienne et contient certaines des dernières populations de grands mammifères dans l'ouest de l'Afrique centrale (Brugière & Scholte, 2013).

### Sélection et cartographie des éléments de conservation

Nous avons sélectionné trois types d'éléments de conservation, dans le but : (A) de représenter les éléments généraux de la biodiversité ; (B) de conserver la répartition actuelle d'espèces spécifiques, et (C) de conserver la répartition future des espèces qui pourraient être vulnérables au changement climatique. Les précisions concernant notre manière de sélectionner et de cartographier ces différents types d'éléments de conservation sont présentées ci-après.

#### A) Éléments généraux de la biodiversité et engagements nationaux

Le premier ensemble d'éléments de conservation vise à représenter un large éventail de la biodiversité en incluant les types de végétation, les types d'écorégions et les zones d'altitude, du fait qu'il est reconnu que l'altitude influence les tendances en termes de biodiversité. Pour les types de végétation à une petite échelle au niveau national, nous avons utilisé une carte de la végétation produite par le Service Télédétection et SIG qui s'appuie sur des données de télédétection de 2010 pour le secteur sud du Tchad. Pour les types de végétation à une grande échelle au niveau régional, nous avons utilisé le jeu de données GlobCover qui a cartographié la répartition mondiale de 22 types de couverts végétaux à une résolution de 300 m (Bicheron et al, 2008). Cette carte était basée sur des images satellites issues de MERIS, qui ont été enregistrées entre 2005 et 2006. La carte présentant les types d'écorégions a été produite par le WWF-US (Olson et al, 2001) et divise le domaine terrestre en 825 écorégions en fonction de la richesse, de l'endémisme et de l'unicité taxonomique plus élevée des espèces (Figure 2). Nous avons créé la carte des zones d'altitude en reclassant un modèle numérique d'élévation à une résolution de 1 km, fourni par le Centre Hadley, en trois catégories, qui correspondaient à 0 – 500 m au-dessus du niveau de la mer (asl), 500 – 1 000 m asl et > 1 000 m asl. Nous avons sélectionné ces catégories de zones d'altitude suite à une analyse documentaire et à une évaluation initiale des températures moyennes annuelles à différents niveaux d'altitude.

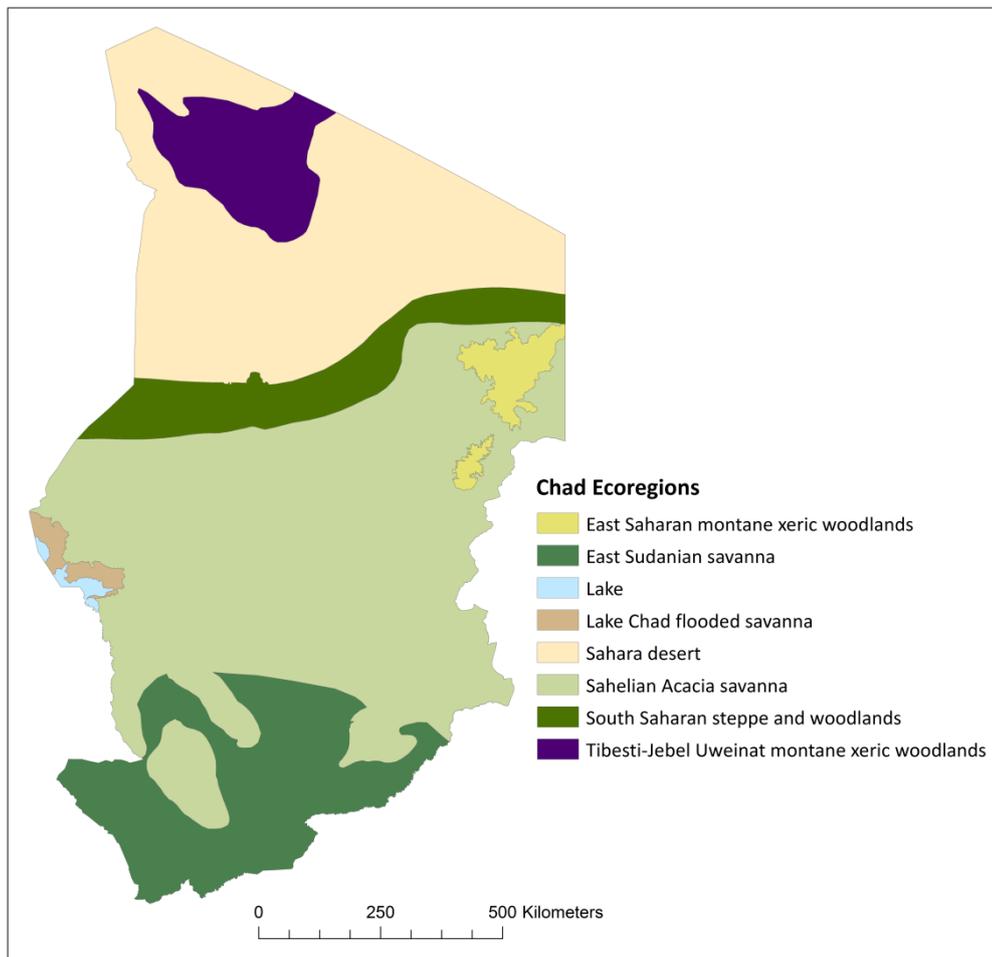


Figure 2 : La carte des écorégions du WWF pour le Tchad, où le type d'écorégion est basé sur la richesse, l'endémisme et l'unicité taxonomique plus élevée des espèces (Olson et al, 2001).

## B) Répartition actuelle des espèces

Nous avons sélectionné toutes les espèces d'amphibiens, d'oiseaux et de mammifères en tant qu'éléments de conservation, à l'exception de celles répertoriées sur la Liste rouge de l'UICN comme présentant des données insuffisantes. Nous n'avons pas inclus de données concernant d'autres espèces dans nos analyses, soit parce que les données relatives à leur répartition étaient insuffisantes, soit parce qu'il s'agissait de taxons d'eau douce dont la gestion nécessite généralement une amélioration de la gestion des zones de captage plutôt que la création de nouvelles AP. Nous avons utilisé les cartes des aires de répartition de la Liste rouge de l'UICN de 2014 pour chacune de ces espèces d'amphibiens, d'oiseaux et de mammifères. Dans le cas des oiseaux, nous avons également utilisé des données distinctes relatives à leur aire de reproduction et hors reproduction, selon qu'il convient.

## C) Répartition future des espèces

Afin de cartographier les répartitions futures, nous avons utilisé les modèles de répartition des espèces (SDM) générés par le projet PARCC (Baker et al, 2015). Ces derniers anticipent la répartition d'un certain nombre d'espèces d'amphibiens, d'oiseaux et de mammifères en fonction de la

température moyenne du mois le plus chaud, de la température moyenne du mois le plus froid, de la saisonnalité des précipitations et d'un indice d'aridité. La nature de cette méthode implique qu'il n'est pas possible de modéliser la répartition des espèces qui présentent des aires de répartition très restreintes, du fait que les relevés de leur répartition sont trop peu nombreux pour une analyse (Platts et al, 2014). La résolution des SDM est de 0,44°, ce qui représente approximativement 50 km x 50 km à l'équateur. L'étude originale a généré 100 différents modèles futurs pour chaque espèce, pour les périodes de 2010-2039, 2040-2069 et 2070-2099. Cependant, le fait d'inclure toutes ces informations aurait été peu judicieux pour trois raisons. Premièrement, ces modèles qui anticipent la répartition des espèces pour les périodes de 2040-2069 et 2070-2099 comportent un niveau élevé d'incertitude (Baker et al, 2015). Deuxièmement, le logiciel de planification systématique de la conservation n'a pas la capacité d'analyser toutes les données du fait de la taille trop importante des fichiers. Troisièmement, dans le cadre de l'analyse, il nous fallait exécuter les systèmes au cours des ateliers d'experts, et pour rechercher les impacts de l'utilisation de différents objectifs et paramètres d'analyse il fallait que les jeux de données soient suffisamment petits pour que ces opérations soient réalisables.

Nous avons, par conséquent, réduit la taille du jeu de données des manières suivantes : (i) nous avons uniquement utilisé les SDM basés sur les modèles climatiques pour la période de 2010 à 2039, car leurs niveaux d'incertitude étaient relativement faibles ; (ii) nous avons condensé les 100 SDM pour chaque espèce afin d'en obtenir cinq, où chacun de ces nouveaux SDM représentaient les différentes projections des modélisations climatiques régionales ; (iii) nous avons uniquement inclus dans l'analyse les données relatives aux espèces qui sont actuellement classées comme étant menacées (état de conservation des espèces vulnérables, en danger ou en danger critique d'extinction, selon la Liste rouge de l'UICN) et/ou qui ont été identifiées comme vulnérables au changement climatique dans une précédente étude du projet PARCC (Carr et al, 2014) en fonction de leur niveau 'd'exposition', de leur 'sensibilité' et de leur 'capacité d'adaptation' au changement climatique et à ses impacts, et (iv) nous avons uniquement utilisé les données relatives aux espèces pour lesquelles le chevauchement anticipé dans la répartition actuelle et future des espèces d'ici à la période de 2010-2039 était de moins de 90 %, afin d'axer l'étude sur les espèces qui seront le plus probablement affectées par le changement climatique. Ces quatre mesures nous garantissent l'utilisation des données les plus fiables relatives aux espèces qui sont probablement les plus sujettes aux impacts du changement climatique.

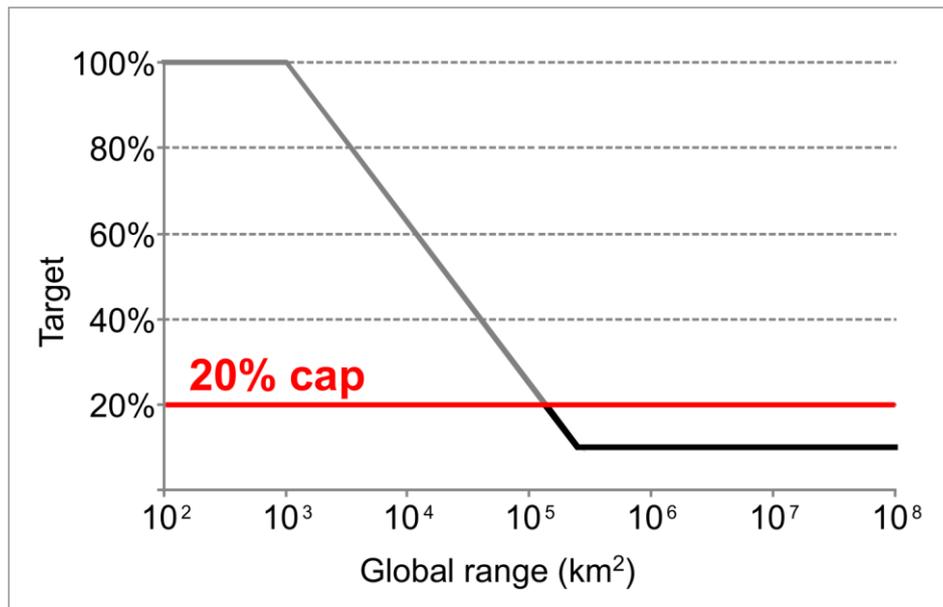
### Établir des objectifs

---

Nous avons utilisé deux approches différentes lors de la détermination des objectifs initiaux. Concernant les types de couverts végétaux et les zones d'altitude, nous avons établi les objectifs à

10 % de leur surface totale dans le pays. Nous avons utilisé cet objectif relativement faible car, malgré le fait que nous voulions garantir que les zones prioritaires soient représentatives de la biodiversité, les travaux de recherche effectués précédemment ont révélé que l'établissement d'objectifs élevés pour les substituts de la biodiversité à grande échelle n'est pas efficace quant à la conservation des espèces menacées ou dont l'aire de répartition est restreinte (Venter et al, 2014).

Concernant les types d'écorégions et les espèces, nous avons basé notre approche sur une méthodologie largement utilisée pour établir les objectifs relatifs aux espèces dans les analyses mondiales (Rodrigues et al, 2004). Cette méthode s'appuie sur des données dont l'aire de répartition s'étend à l'échelle mondiale et établit des objectifs qui se réduisent, à partir de 100 % pour les espèces dont l'aire de répartition est  $< 1\,000\text{ km}^2$  jusqu'à 10 % pour les espèces dont l'aire de répartition est  $> 250\,000\text{ km}^2$ , et dérivées par interpolation linéaire sur une échelle log-linéarisée située entre ces deux seuils (Figure 3). Toutefois, cette méthode a été développée pour les analyses dont l'échelle spatiale est grande, tout en tenant compte que certaines régions prioritaires sélectionnées contiendraient des habitats inappropriés. Dans le cadre de notre analyse, nous avons supposé que nos zones prioritaires détermineraient directement l'emplacement de nouvelles AP étant donné que nos unités de planification étaient plus petites et que notre analyse comprenait des données à plus haute résolution. Ces informations plus détaillées du point de vue spatial provenaient du jeu de données relatives au couvert végétal GlobCover, à une résolution de 300 m, que nous avons utilisé pour exclure les unités de planification qui étaient fortement transformées et pour cartographier et établir les objectifs pour les types de végétation naturelle. Par conséquent, il était bien moins probable que notre analyse sélectionne des unités de planification fortement transformées et nous avons donc décidé de limiter ces objectifs à 20 % de l'aire de répartition totale de chaque espèce. Par ce biais, il était également assuré que l'étendue totale des zones prioritaires serait plus proche des objectifs de couverture nationale établis par chaque pays dans le cadre de leurs engagements à l'égard de la CDB.



**Figure 3 : L'approche utilisée pour déterminer les objectifs relatifs aux espèces, en fonction de leurs aires de répartition mondiales. Celle-ci est basée sur une méthodologie développée par Rodrigues et al (2004), toutefois chaque objectif est limité à 20 % du fait que les analyses du projet PARCC utilisent des données à une échelle spatiale relativement petite.**

Par conséquent, notre objectif initial pour chaque espèce et chaque écorégion a été déterminé en fonction du calcul de l'aire de répartition totale de l'élément de conservation, en d'autres termes l'aire de répartition mondiale pour les écorégions et la répartition actuelle des espèces, et la surface totale qui a été modélisée pour les SDM (qui couvrait l'Afrique et la région méditerranéenne). Pour chaque espèce, nous avons ensuite trouvé le pourcentage de l'aire de répartition à conserver selon l'approche de Rodrigues et al (2004) et nous l'avons ensuite limité à 20 %. Nous avons ensuite multiplié ce pourcentage par l'aire de répartition totale de l'espèce dans le pays en vue d'obtenir l'objectif.

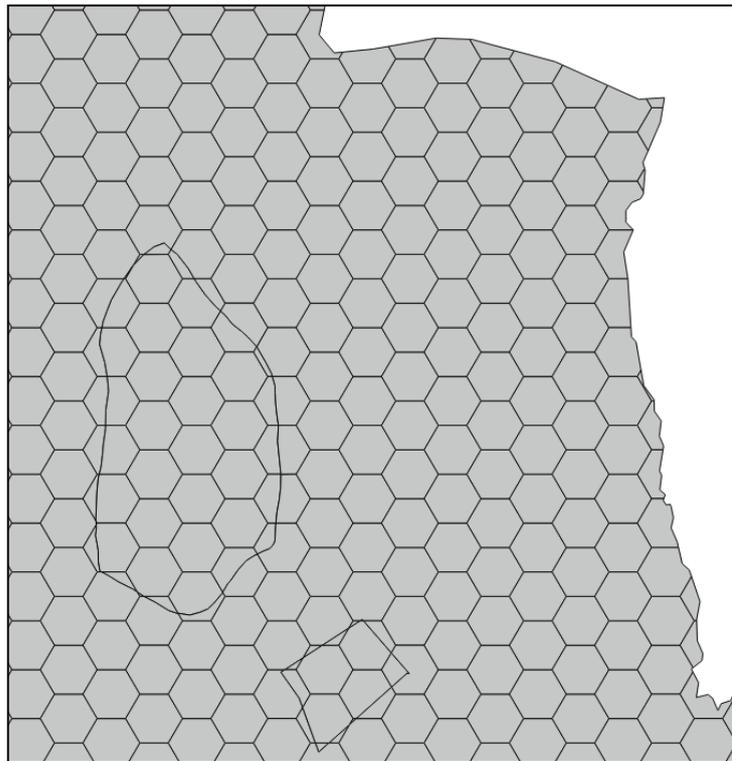
Par la suite, nous avons présenté ces objectifs initiaux ainsi que la théorie sous-jacente à leur établissement aux experts nationaux lors d'un atelier qui s'est tenu à Lomé en mars 2015. Ce groupe d'experts a convenu de l'approche concernant l'établissement des objectifs, mais a ajusté les objectifs pour 13 éléments de conservation en fonction de leur importance relative dans le pays.

### Créer les systèmes de planification de la conservation

La première étape dans la création d'un système de planification de la conservation (SPC) consiste à définir la région de la planification ; celle-ci correspondait, dans le cas de notre étude, à la frontière politique du Tchad. Nous avons ensuite divisé la région en un certain nombre d'unités de planification, sous la forme d'un calque d'hexagones ; nous avons superposé ce résultat aux limites de la région de planification pour ensuite le combiner aux calques des limites des AP et des ZICO. Nous avons fixé la taille des hexagones à 60 km<sup>2</sup>, car nous voulions équilibrer la nécessité des résultats afin d'obtenir une résolution spatiale suffisamment précise tout en disposant d'un nombre assez petit

d'unités de planification pour que Marxan puisse donner des résultats efficaces. Par conséquent, le système final comprenait 22 906 unités de planification.

Les données relatives aux limites des AP ont été tirées de la Base de données mondiale sur les aires protégées (WDPA) (IUCN & UNEP-WCMC, 2015) et les données relatives aux limites des ZICO ont été fournies par BirdLife International. Les données relatives aux limites provenant de la WDPA correspondaient à des polygones pour la plupart des AP, toutefois, dans certains cas, nous disposions uniquement de données présentant le barycentre du polygone et la surface totale de l'AP. Dans le cas des données de points, nous avons utilisé des zones tampons pour représenter chaque AP sous la forme d'un cercle autour du barycentre avec la zone de l'AP. La combinaison des données de cette manière a permis de créer des unités de planification qui correspondaient à des hexagones réguliers ou à des sections d'hexagones lorsque ceux-ci étaient divisés par la limite d'une AP ou d'une ZICO, ou coupés par la frontière nationale (Figure 4).



**Figure 4 : Détails des unités de planification créées en combinant un calque d'un hexagone régulier, le calque des limites des aires protégées et le calque des Zones importantes pour la conservation des oiseaux et de la biodiversité. Elle montre que chaque unité de planification est un hexagone sauf si celle-ci se trouve à la limite de la région de planification ou fait partie d'une AP ou d'une ZICO existante.**

L'étape suivante consistait à calculer le coût de chaque unité de planification et nous avons décidé de baser ce calcul sur la taille de la population humaine, pour que Marxan évite de sélectionner des zones à forte densité de population, dans la mesure du possible. Les données relatives aux coûts d'opportunité liés à l'agriculture sont également disponibles à une échelle mondiale (Naidoo & Iwamura, 2007), toutefois, nous avons décidé de ne pas les utiliser dans notre

analyse étant donné que des zones d'agriculture de subsistance risqueraient d'être sélectionnées, dont la valeur économique est faible mais qui sont importantes en termes de moyens de subsistance pour les populations pauvres (Butchart et al, 2015). Nous avons, de préférence, utilisé le jeu de données du Projet mondial de cartographie rurale-urbaine (GRUMPv1) à une résolution de 1 km (CIESIN et al, 2011), et nous avons utilisé ArcGIS pour calculer le nombre d'habitants par unité de planification. Néanmoins, la population humaine par unité de planification varie de plus de trois ordres de grandeur du nord au sud ; par conséquent, il est difficile pour Marxan de générer des résultats qui puissent équilibrer l'efficacité et la viabilité écologique pour l'ensemble de la région. Nous avons donc généré un coût d'unité de planification modifié, qui réduit les différences majeures mais produit tout de même un coût relatif effectif, basé sur la formule suivante : Coût d'unité de planification =  $\log_{10}(\text{taille de la population humaine de l'unité de planification} + 1) + 0,1$

Nous avons ensuite importé l'ensemble des données dans le plug-in CLUZ pour QGIS. À cet effet, le calque des unités de planification a été spécifié et un tableau a été créé, où figuraient chaque élément de conservation et son objectif. Nous avons ensuite importé les données relatives à la répartition des éléments de conservation dans CLUZ, que nous avons déjà tirées des cartes des aires de répartition de l'UICN pour les couverts végétaux, les écorégions, les zones d'altitude, ainsi que des SDM du projet PARCC.

Enfin, nous avons déterminé l'état de conservation de chaque unité de planification en fonction du fait qu'elle soit « conservée » (c.-à-d. si elle fait déjà partie d'une AP) et qu'elle doive toujours être comprise dans les zones prioritaires sélectionnées par Marxan, ou en fonction du fait qu'elle soit « exclue » et qu'elle ne doive jamais être sélectionnée par Marxan (par exemple, parce qu'elle comporte une population humaine très importante et ne constituerait pas une AP appropriée). Pour toutes les unités de planification s'inscrivant dans une AP ou une ZICO non protégée, nous avons établi le statut d'unité conservée, suivant l'exemple d'études réalisées antérieurement (Butchart et al, 2015). Nous avons utilisé cette approche dans les analyses nationales en nous appuyant sur les commentaires des experts locaux, qui défendent le fait que les ZICO doivent être traitées de la même manière que les AP étant donné qu'elles ont été identifiées comme mondialement importantes par BirdLife International et qu'elles présentent des niveaux similaires ou plus élevés de gestion de la conservation que de nombreuses AP. Nous avons établi les unités de planification exclues en fonction de la densité de leur population humaine et de la proportion de leur surface dont les types de couverts végétaux étaient inappropriés (définis en tant que terres cultivées irriguées, cultures pluviales et surfaces artificielles). En fonction des commentaires que nous avons reçus au cours des ateliers visant à développer les systèmes de planification nationale de la conservation, nous avons sélectionné 90 habitants par km<sup>2</sup> comme seuil de densité de la population humaine et 50 % comme seuil de couvert végétal inapproprié.

## Analyse des carences

---

En important la répartition de chaque élément de conservation dans CLUZ, en fixant leurs objectifs et en fixant l'état de conservation de chaque unité de planification, nous avons automatiquement calculé le pourcentage de chaque objectif atteint par les systèmes d'AP et de ZICO. Les données pour l'analyse des carences ont ainsi été générées et nous avons enregistré, pour chaque élément de conservation, dans quelle mesure le pourcentage de son objectif atteint appartenait à l'une des quatre catégories suivantes : 0 % – 2 % (catégorie « non protégée »), >2 – 50 % (catégorie « très peu protégée »), >50 % - 98 % (catégorie « peu protégée ») ou >98 % (catégorie à « objectif atteint »). Les catégories ont été adaptées d'après l'approche utilisée par Butchart et al (2015), permettant un certain degré d'imprécision quant aux limites des cartes des aires de répartition des espèces de l'UICN, dont certaines ont été créées à une échelle spatiale relativement grande. Ce degré d'imprécision implique qu'une espèce pourrait sembler présenter une valeur en termes de protection, avec quelques points de pourcentage au-dessus ou en-dessous de la valeur réelle. Par conséquent, nous avons défini les espèces comme étant non protégées si leur pourcentage ciblé était de 2 % ou moins et nous les avons définies comme ayant leurs objectifs atteints si le pourcentage ciblé était de 98 % ou plus.

## Calibrer les paramètres de Marxan

---

Marxan est un logiciel de planification systématique de la conservation qui identifie les ensembles presque optimaux d'unités de planification qui répondent aux objectifs relatifs aux éléments de conservation, tout en minimisant les coûts et en diminuant les niveaux de fragmentation. L'utilisateur peut influencer les niveaux de fragmentation en ajustant la valeur du *Boundary Length Modifier* (BLM). La sélection d'un BLM plus élevé génère un coût plus élevé pour des ensembles fragmentés et, en conséquence, Marxan sélectionne des parcelles plus grandes d'unités de planification pour réduire ce coût. Suite à l'exécution de plusieurs analyses de la sensibilité, nous avons décidé que la valeur du BLM fixée à 0,008 produisait des résultats efficaces qui n'étaient pas excessivement fragmentés. L'utilisateur peut également déterminer l'importance de la réalisation de chaque objectif en fixant un « facteur de pénalisation des espèces » (FPE), qui est multiplié par le coût estimé pour combler les insuffisances liées aux objectifs. 10 est la valeur du FPE que nous avons utilisée pour chaque élément afin de garantir que chaque objectif était atteint. Toutefois, il s'agissait d'une valeur qui n'était pas élevée au point de masquer le compromis entre le coût de l'unité de planification et le coût relatif aux frontières combinés.

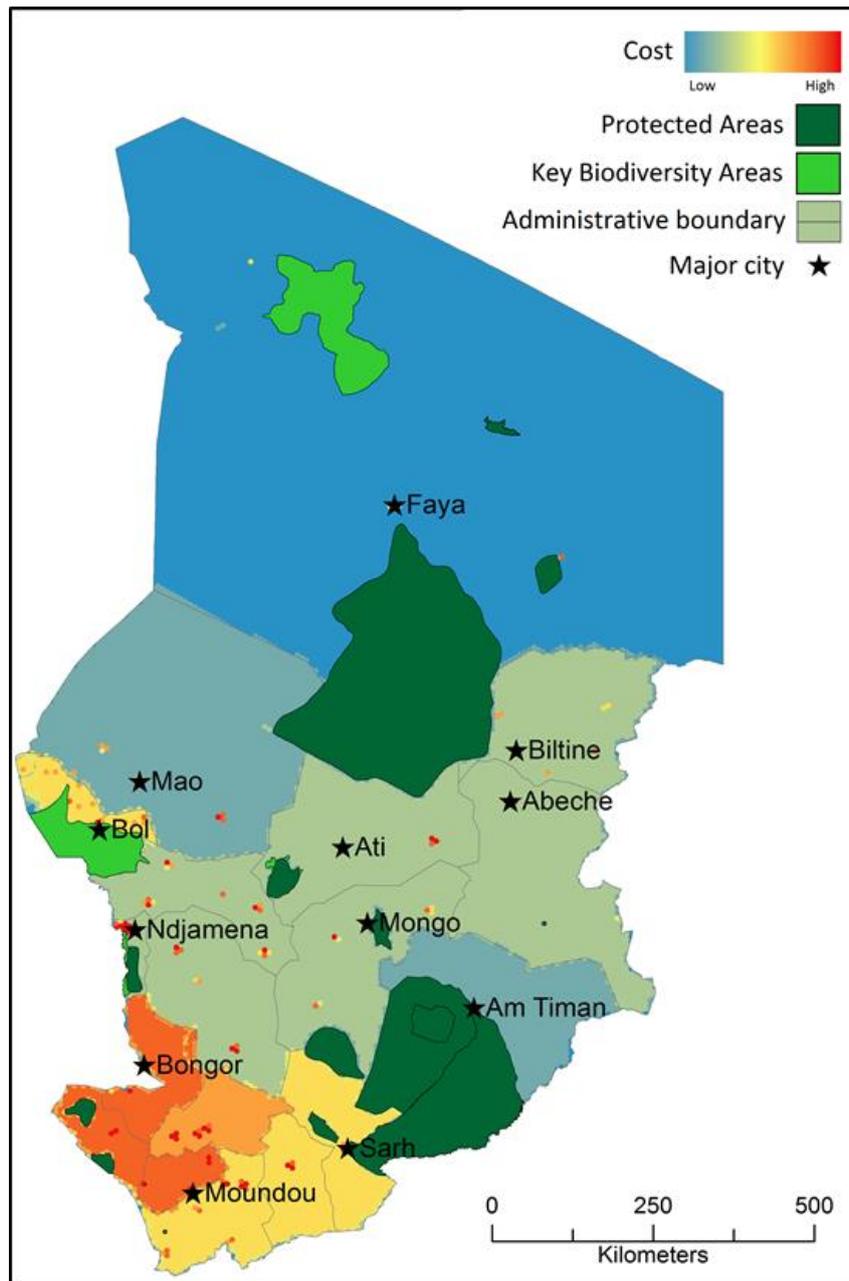


Figure 5 : Carte du Tchad présentant les grandes villes, les frontières administratives, les aires protégées, les Zones importantes pour la conservation des oiseaux et de la biodiversité et les données relatives au coût des unités de planification.

## Résultats

### Détails des éléments de conservation et analyse des carences

Le système de planification de la conservation pour le Tchad a classé une zone de 149 636 km<sup>2</sup> (11,8 %) comme faisant déjà partie des AP et une zone de 30 373 km<sup>2</sup> (2,4 %) comme faisant déjà partie des ZICO actuellement non protégées (Figure 6A). Le système de planification contient des données relatives à 22 types de végétation à une petite échelle au niveau national, 11 types de végétation à une grande échelle au niveau régional, 8 écorégions, 29 espèces d'amphibiens, 488 espèces d'oiseaux, 82 espèces de mammifères et des SDM pour 13 espèces durant la période de 2010 à 2039. La richesse des éléments de conservation par unité de planification variait entre 1 et 379, avec une richesse médiane s'élevant à 170 (Figure 6B).

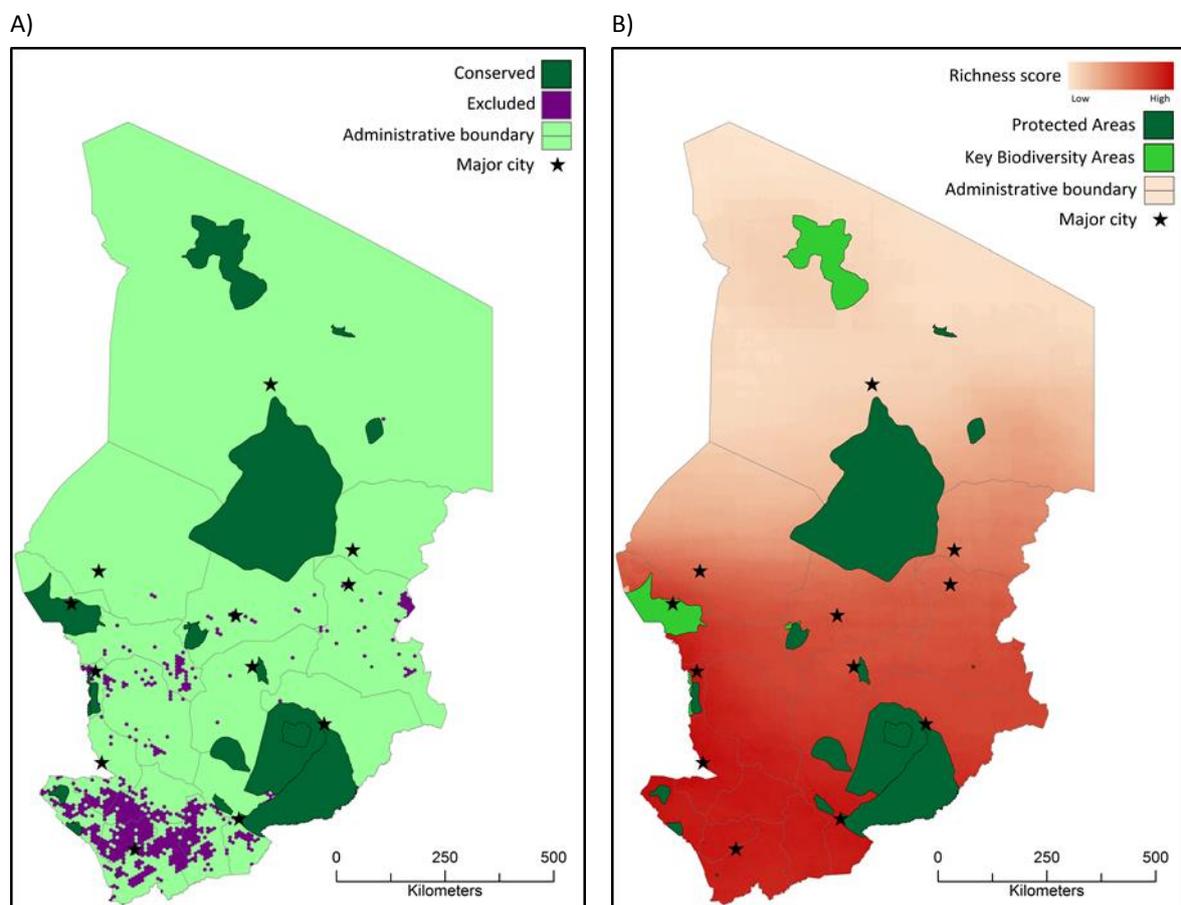


Figure 6 : Cartes pour le Tchad présentant (A) l'état de conservation des unités de planification utilisées sous Marxan et (B) la richesse des éléments de conservation, où les valeurs de la richesse varient de 0 à 379.

Le réseau d'AP existantes répond aux objectifs pour 66,1 % des éléments de conservation utilisés dans ce projet, et répond aux objectifs pour 74,5 % d'entre eux lorsque les ZICO sont comprises dans le système d'AP. Par conséquent, le réseau d'AP et de ZICO répond aux objectifs pour 60,9 % des éléments généraux de la biodiversité (écorégions, zones d'altitude et types de végétation), 79,3 % des amphibiens, 75 % des oiseaux, 78 % des mammifères et 46,2 % des SDM qui anticipent la

répartition des espèces menacées et vulnérables au changement climatique durant la période de 2010 à 2039.

Toutefois, en ce qui concerne les éléments généraux de la biodiversité, le réseau d'AP existantes n'assure pas la conservation de l'écorégion des forêts claires xérophiiles d'altitude de l'Est du Sahara et très peu de celle du désert du Sahara (Tableau 1). Le réseau d'AP n'assure pas non plus la protection de l'aire de répartition de 2 amphibiens, 62 oiseaux et 11 mammifères. Cela implique que 13,3 % de toutes ces espèces sont absentes du système d'AP, bien que ce chiffre baisse jusqu'à 7,4 % lorsque les ZICO sont incluses (Figure 7). La situation est d'autant plus marquée lorsque seul le pourcentage des espèces menacées est pris en compte ; dans ce cas, le réseau d'AP ne parvient pas non plus à réaliser les objectifs pour 16 oiseaux et 9 mammifères. Cela implique que 31,2 % de toutes ces espèces menacées sont absentes du système d'AP, bien que ce chiffre baisse jusqu'à 12,5 % lorsque les ZICO sont incluses (Figure 8). De même, le réseau d'AP ne parvient pas à protéger la répartition future anticipée de l'Engoulevent à épauettes noires (*Caprimulgus nigriscapularis*) ou du Cubla aux yeux rouges (*Dryoscopus senegalensis*) (Tableau 2).

**Tableau 1 : Détails relatifs aux écorégions, aux zones d'altitude et aux types de couverts végétaux utilisés en tant qu'éléments de conservation dans le système de planification de la conservation pour le Tchad. Les objectifs ont été fixés à 10 % de la surface des zones d'altitude et des types de couverts végétaux, et entre 10 % et 20 % pour les types d'écorégions, avec des objectifs plus élevés pour les écorégions présentant une répartition plus restreinte.**

Nom	Surface totale (km <sup>2</sup> )	Surface dans les AP (km <sup>2</sup> )	Surface dans les ZICO (km <sup>2</sup> )	Objectif (km <sup>2</sup> )	Objectif atteint en termes de % par les AP et ZICO
<b>Écorégions</b>					
Forêts claires xérophiiles d'altitude de l'Est du Sahara	25 713	0	0	2 571	0,00
Savane est-soudanienne	171 840	44 092	49	17 184	256,87
Lac	4 356	0	3 362	436	771,92
Savane inondée du lac Tchad	9 833	0	6 356	1 967	323,23
Désert du Sahara	329 336	3 466	0	32 934	10,52
Savane d'acacias sahélienne	567 487	85 869	2 107	113 497	77,51
Steppe et zones boisées du Sud du Sahara	88 553	16 209	0	8 855	183,04
Montagnes du Tibesti et du Jebel Uweinat	73 680	0	18 498	7 368	251,06
<b>Zones d'altitude</b>					
0 à 500 m d'altitude	769 602	136 553	11 614	76 960	192,52
500 à 1 000 m d'altitude	394 084	11 629	1 287	39 408	32,78
>1 000 m d'altitude	85 715	0	17 213	8 571	200,81
<b>Types de couverts végétaux</b>					
Mosaïque de végétation	62 238	1 101	3 176	6 224	68,71

Forêt fermée	94	2	2	9	46,40
Zone boisée de forêt ouverte	48 871	17 772	232	4 887	368,40
Mosaïque de forêts-brousses	112 634	28 587	677	11 263	259,81
Mosaïque de prairies et de forêts-brousses	2 134	171	12	213	85,51
Brousses fermées-ouvertes	80 720	10 000	258	8 072	127,07
Végétation herbacée fermée-ouverte	136 233	18 359	844	13 623	140,95
Végétation clairsemée	26 106	227	947	2 611	44,95
Végétation boisée inondée / de prairies fermée-ouverte	2 516	383	1 045	252	567,50
Zones nues	689 313	66 894	18 563	68 931	123,97
Plans d'eau	2 750	368	1 813	275	793,11

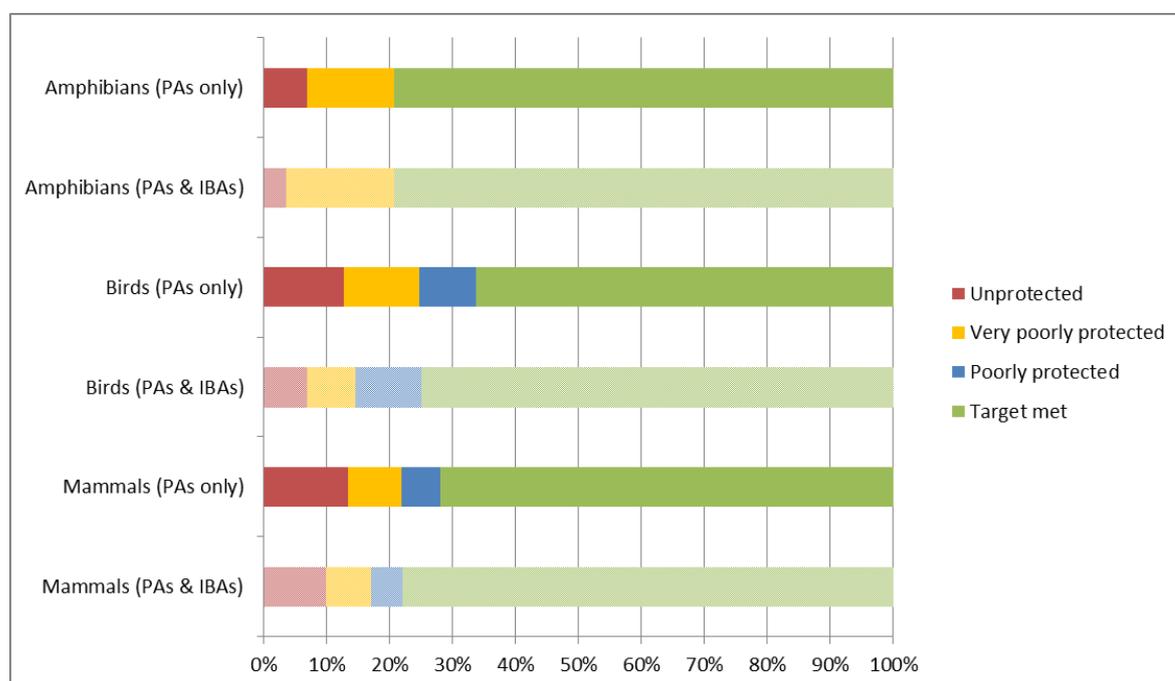


Figure 7 : Pourcentage des espèces d'amphibiens, d'oiseaux et de mammifères pour lesquelles l'objectif fixé (c.-à-d. la proportion de leur aire de répartition actuelle à protéger) est atteint par le réseau d'aires protégées (AP) et les Zones importantes pour la conservation des oiseaux et de la biodiversité (ZICO) existants au Tchad.

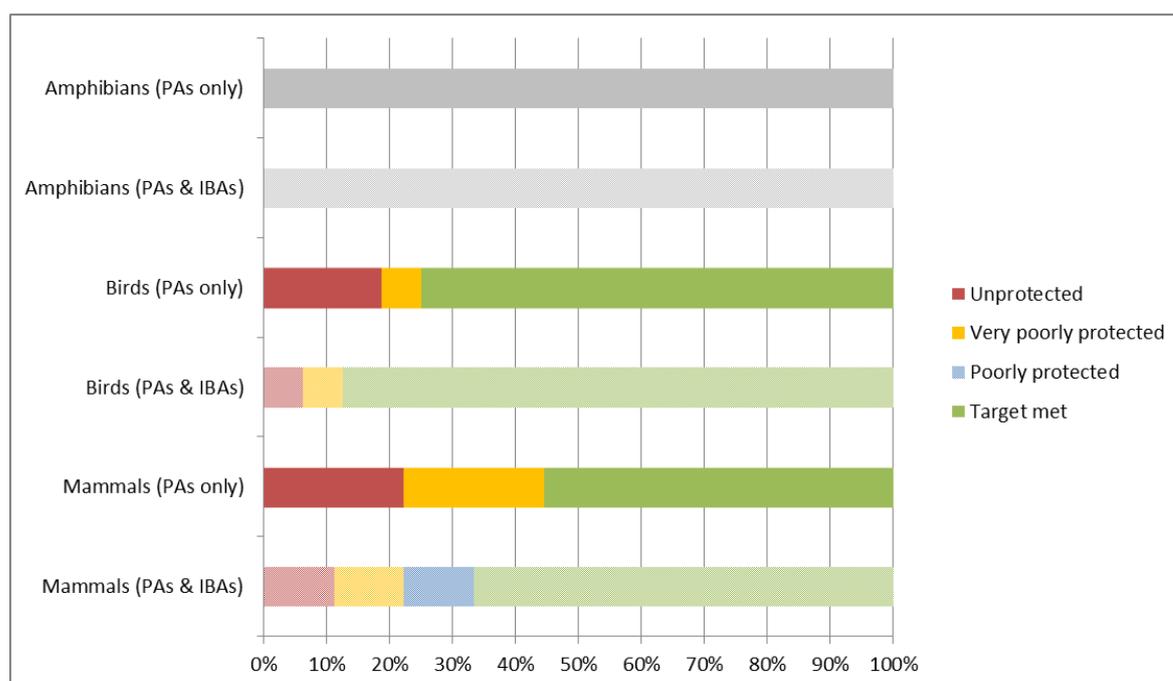


Figure 8 : Pourcentage des espèces menacées d'amphibiens, d'oiseaux et de mammifères pour lesquelles l'objectif fixé (c.-à-d. la proportion de leur aire de répartition actuelle à protéger) est atteint par le réseau d'aires protégées (AP) et les Zones importantes pour la conservation des oiseaux et de la biodiversité (ZICO) existants au Tchad.

Tableau 2 : Les modèles de répartition des espèces (SDM) utilisés dans le système de planification de la conservation, présentant la répartition anticipée des espèces durant la période de 2010 à 2039. Les chiffres sont basés sur les valeurs moyennes des cinq différents SDM par espèce.

Nom	Surface totale (km <sup>2</sup> )	Surface dans les AP (km <sup>2</sup> )	Surface dans les ZICO (km <sup>2</sup> )	Objectif (km <sup>2</sup> )	Objectif atteint en termes de % par les AP et ZICO
<i>Aquila verreauxii</i>	81 948	275	0	8 195	3,09
<i>Balaeniceps rex</i>	248 405	52 941	230	24 840	214,35
<i>Caprimulgus nigriscapularis</i>	1 196	0	0	120	0,00
<i>Dryoscopus senegalensis</i>	875	0	0	88	0,00
<i>Mirafrja albicauda</i>	102 804	18 775	8 456	10 280	271,37
<i>Acinonyx jubatus</i>	325 381	30 783	22 051	65 076	80,88
<i>Addax nasomaculatus</i>	14 916	1 556	0	2 983	50,66
<i>Ammotragus lervia</i>	231 774	155	18 189	34 766	54,95
<i>Gazella leptoceros</i>	124 248	368	803	12 425	10,74
<i>Gerbillus pyramidum</i>	553 980	63 895	8 247	55 398	128,98
<i>Lycaon pictus</i>	384 253	76 426	5 124	76 851	105,92
<i>Massoutiera mzabi</i>	43 045	0	4 632	4 304	121,16
<i>Nanger dama</i>	135 681	38 707	0	13 568	275,39

La plupart des zones qui présentent une fréquence de sélection élevée se trouvent autour des aires de conservation existantes, avec des zones prioritaires de plus petite taille dans des parcelles au sud du pays (Figure 9). La surface totale des unités de planification présentant des résultats de fréquence de sélection élevés était de 17 % (Tableau 3) et la surface moyenne des quatre meilleurs ensembles était de 384 765 km<sup>2</sup>, ce qui correspond à 30,3 % du pays (Figure 10). Cela implique que l'analyse sous Marxan suggère qu'une surface supplémentaire de 16,3 % du pays doit être conservée. Les quatre meilleurs ensembles révèlent que de larges zones dans le nord sont nécessaires pour réaliser les objectifs, toutefois, la faible fréquence de sélection d'un grand nombre de ces unités de planification révèle que le système comporte une flexibilité considérable (Figure 9 et Figure 10).

**Tableau 3 : Détails de la zone d'unités de planification pour le Tchad regroupées en fonction de leurs résultats de fréquence de sélection.**

Catégories de fréquence de sélection	Surface (km <sup>2</sup> )	Pourcentage de la région
0 - 49	45 319,37	80,0
50 - 74	1 122,97	2,0
75 - 89	534,78	0,9
90 - 100	9 668,23	17,1

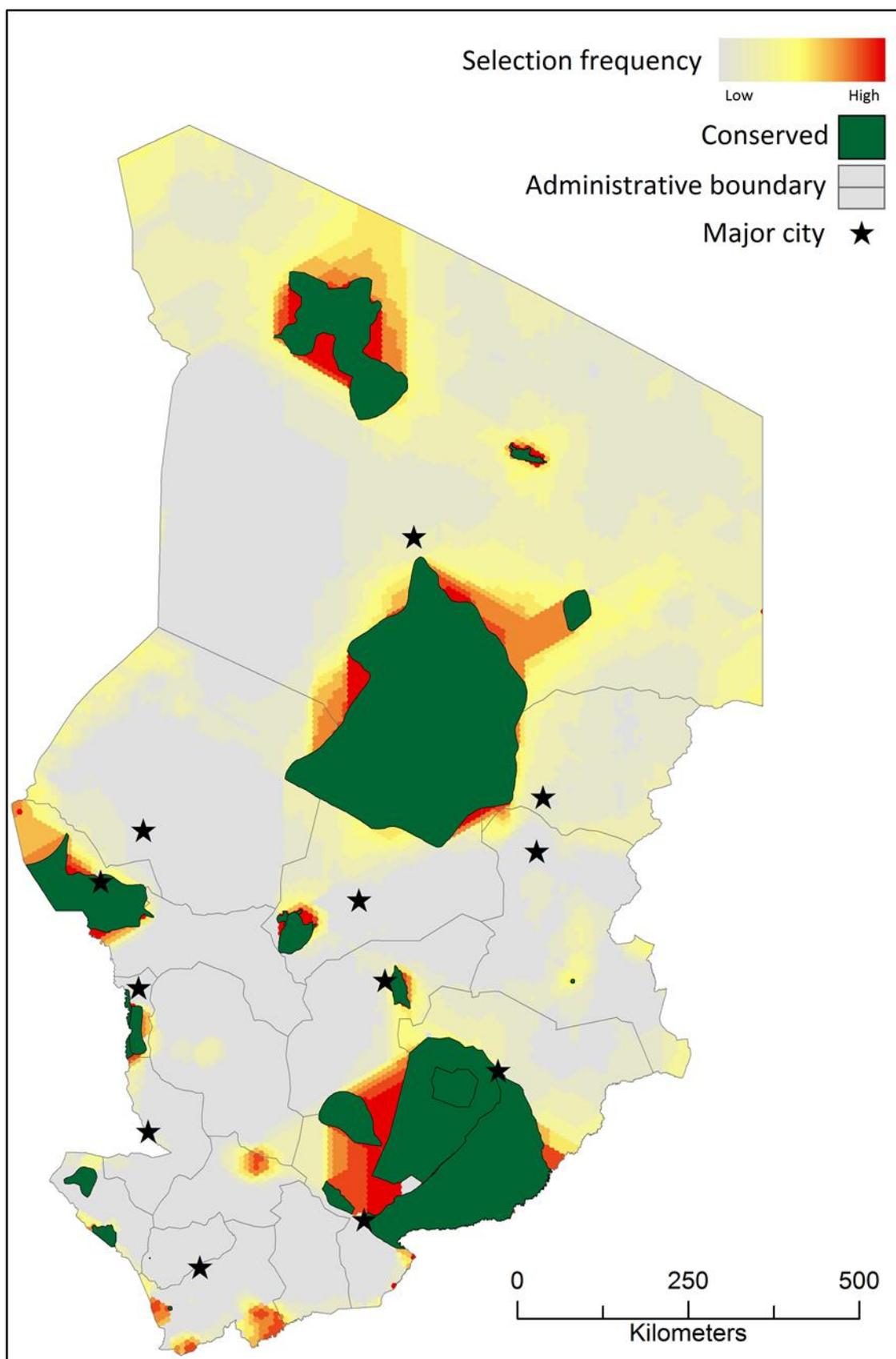
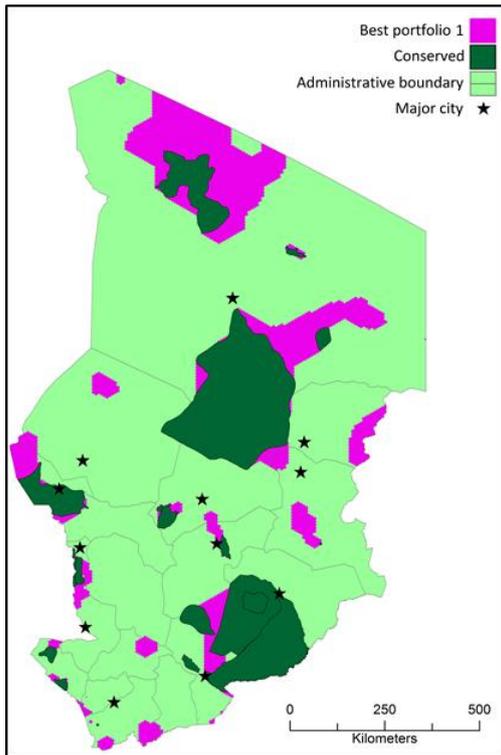
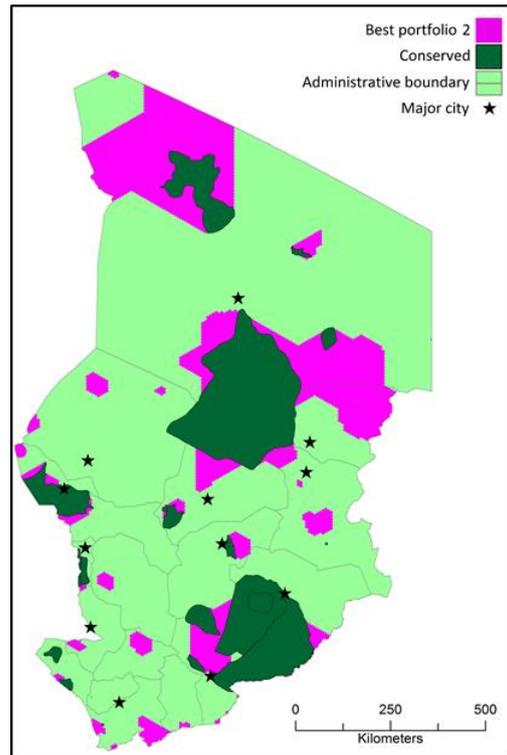


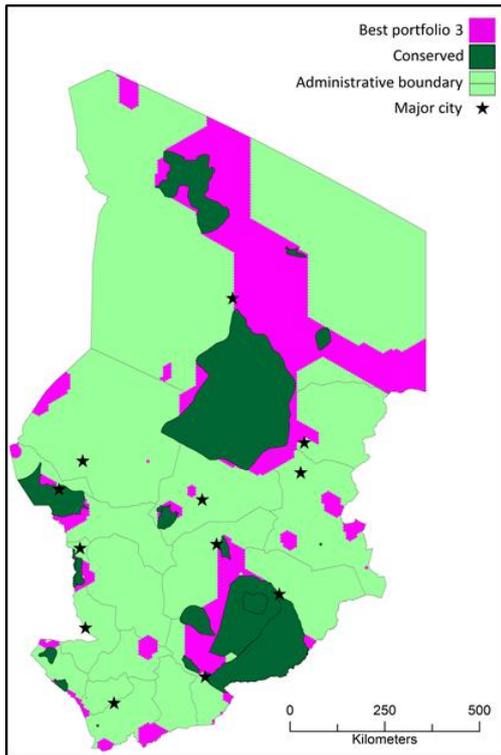
Figure 9 : Résultats de la fréquence de sélection pour le Tchad basés sur l'analyse de Marxan. Les zones en rouge ont été sélectionnées dans chaque ensemble identifié par le logiciel, en fonction de la réalisation des objectifs tout en assurant la réduction des coûts et le maintien de la connectivité.



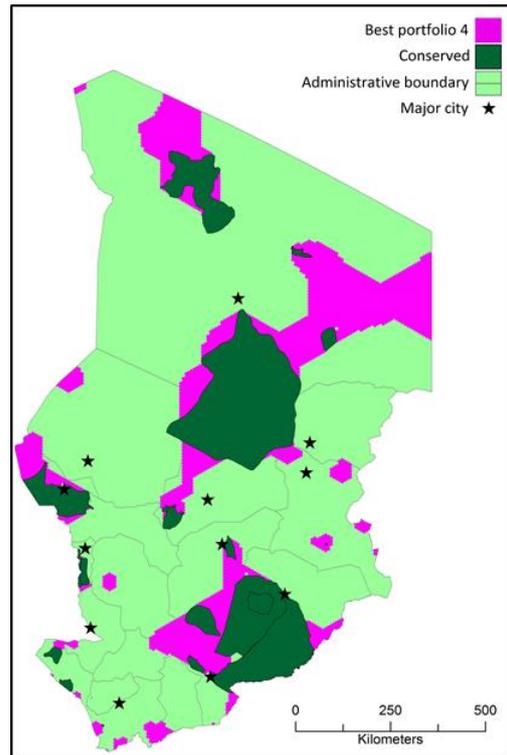
Ensemble 1 : Surface totale = 328 709 km<sup>2</sup>



Ensemble 2 : Surface totale = 381 360 km<sup>2</sup>



Ensemble 3 : Surface totale = 418 016 km<sup>2</sup>



Ensemble 4 : Surface totale = 410 974 km<sup>2</sup>

**Figure 10 : Les quatre meilleurs ensembles identifiés par Marxan quant à la réalisation des objectifs relatifs aux éléments de conservation pour le Tchad tout en minimisant les coûts. La surface totale correspond à la surface combinée des AP existantes, des ZICO non protégées et des zones prioritaires supplémentaires sélectionnées par Marxan pour réaliser les objectifs tout en minimisant les coûts.**

## Discussion

---

Les réseaux d'aires protégées sont un élément clé de toutes les stratégies nationales de conservation de la biodiversité et leur importance est reconnue dans la Convention sur la diversité biologique. Par conséquent, il est crucial que chaque pays développe des réseaux d'AP qui contiennent, comme le définit l'objectif 11 d'Aichi, « *des zones qui sont particulièrement importantes pour la diversité biologique et les services fournis par les écosystèmes* » et qui « *sont conservées au moyen de réseaux écologiquement représentatifs et bien reliés d'aires protégées gérées efficacement et équitablement et d'autres mesures de conservation efficaces par zone, et intégrées dans l'ensemble du paysage terrestre et marin* ». Le processus de développement de ces réseaux d'AP implique l'exécution d'une analyse des carences, pour mesurer à quel point les AP existantes réalisent les objectifs en termes de conservation, et l'établissement de priorités géographiques pour la conservation, afin de déterminer les lieux où créer de nouvelles AP et d'autres zones de conservation pour combler les insuffisances liées aux objectifs. Ce rapport a effectué ces analyses pour l'Afrique de l'Ouest et, dans cette section, nous examinons les résultats, tout en les plaçant dans un contexte plus général et en identifiant les limites des analyses qui doivent être prises en compte.

## Analyse des carences

---

L'analyse des carences a révélé que le réseau d'AP existantes du Tchad réalise la majeure partie des objectifs en termes de conservation, et ce résultat est d'autant plus amélioré lorsque les ZICO sont comprises dans l'analyse. Il est ainsi suggéré que les AP et les ZICO couvrent généralement les zones les plus importantes pour la biodiversité dans le pays. Il s'agit d'une description positive dans son ensemble, toutefois, il convient de souligner que les AP et les ZICO n'assurent pas la réalisation des objectifs pour 25 % des éléments de conservation et que plusieurs écorégions et espèces sont totalement non protégées. Cela reflète les résultats d'une étude antérieure, qui révèle également des niveaux peu élevés de protection pour les écorégions terrestres du pays (Brugière & Scholte, 2013). Vraisemblablement de manière inattendue, les écorégions associées au désert du Sahara sont les zones qui sont particulièrement mal protégées, bien qu'il s'agisse de terres à faible potentiel économique. Cela peut découler de causes logistiques ou du fait que ces habitats présentent un faible risque et que, par conséquent, ils ne bénéficieraient pas d'une protection. Toutefois, il est mis en avant que ces habitats nécessitent une protection afin de développer un réseau d'AP représentatif, notamment si ces écorégions contiennent des habitats ou des espèces spécifiques qui sont vulnérables ou considérés comme présentant une valeur importante en matière de conservation. Par conséquent, davantage de travaux de recherche et de discussions pourraient être essentiels afin de déterminer s'il est nécessaire de combler les insuffisances actuelles en termes de protection.

Il est également important de tenir compte de la qualité des données et de la méthodologie pour l'établissement des objectifs, lors de l'étude des résultats de l'analyse des carences. Concernant les données relatives à la répartition, le problème principal correspond au fait que les cartes des écorégions et des espèces présentent l'aire de répartition de chaque élément de conservation. Cela implique que toutes ces cartes des aires de répartition comprennent des parcelles qui ont été transformées en terres agricoles ou urbaines. En outre, elles ne tiennent pas compte du fait que la plupart des espèces sont limitées à un sous-groupe des types de couverts végétaux naturels à l'intérieur de cette aire de répartition. Par conséquent, l'analyse des carences sous-estime probablement à quel point chaque élément est conservé, car ces éléments pourraient être absents d'une grande partie des terres non protégées à l'intérieur de leur aire de répartition.

Des problématiques peuvent également potentiellement survenir concernant la manière dont les objectifs ont été établis, du fait que nous avons utilisé une approche relativement simple qui ne représente pas l'état de conservation de chaque élément, ni ses traits biologiques ni la portion de son aire de répartition qui est susceptible de contenir des habitats appropriés (Pressey et al, 2003). L'établissement d'objectifs présentant une telle spécificité relative aux éléments serait idéal, toutefois, cette démarche dépassait le champ d'action de ce projet. Nous avons, de préférence, employé une approche bien établie, utilisée depuis plus d'une décennie (Rodrigues et al, 2004) et qui représente différents aspects de l'endémisme et des menaces en visant à conserver des pourcentages plus élevés des éléments dont les aires de répartition sont plus petites. Dans le cadre de cette étude, nous avons cependant limité ces objectifs en termes de pourcentages à 20 %, plutôt que d'utiliser la valeur la plus élevée du système d'origine, soit 100 %. Cela s'explique en partie par le fait que notre analyse a utilisé des unités de planification relativement petites qui contiendraient principalement des types de végétation naturelle, alors que la méthode originale a été développée pour des analyses à l'échelle mondiale qui utilisent de très grandes unités de planification en se basant sur l'hypothèse que les zones prioritaires identifiées contiendraient des terres transformées qui seraient exclues des AP finales. Il s'agissait également d'une réponse à l'objectif 11 d'Aichi qui vise à conserver 17 % du domaine terrestre d'ici à 2020 et, par conséquent, la surface terrestre identifiée comme étant importante pour la conservation serait relativement proche du chiffre de 17 % et pourrait donc permettre de structurer la planification actuelle (nous n'avons pas limité les objectifs à 17 % car nous voulions que nos résultats puissent orienter les actions au-delà de 2020). Les résultats générés sont davantage susceptibles d'influencer les politiques, toutefois il doit être reconnu que les écorégions et les espèces dont l'aire de répartition est limitée nécessitent probablement des niveaux de protection plus élevés à moyen et long terme.

### Identifier les zones prioritaires

---

Marxan identifie les zones prioritaires en fonction de la réalisation des objectifs, de la minimisation des coûts et de la minimisation de la fragmentation des habitats. Par conséquent, il existe deux raisons pour lesquelles une zone prioritaire est sélectionnée. La première consiste à déterminer si celle-ci est cruciale quant à la réalisation d'un ou de plusieurs objectifs. La seconde consiste à déterminer si elle permet de réaliser un ou plusieurs objectifs, si elle présente un faible coût et/ou si elle permet de se joindre à une AP existante ou de l'étendre. Aucun des objectifs utilisés dans cette analyse ne s'élevait à plus de 20 % de l'aire de répartition de chacun des éléments de conservation, par conséquent, le niveau de flexibilité était en général élevé quant aux lieux où Marxan pouvait sélectionner des unités de planification pour réaliser ces objectifs. La plupart des zones prioritaires identifiées au Tchad ont donc été sélectionnées du fait qu'elles présentaient une densité de population humaine relativement faible ou qu'elles étaient situées à proximité des AP et des ZICO existantes. Cela explique que les résultats de la fréquence de sélection aient établi que la plupart des zones prioritaires identifiées se trouvaient autour des AP existantes, particulièrement la ZICO du massif du Tibesti, la Réserve de faune Ouadi Rimé-Ouadi Achim et la Réserve de faune du Bahr Salamat. Les résultats d'une étude antérieure, où la Réserve de faune Ouadi Rimé-Ouadi Achim et la Réserve de faune du Bahr Salamat présentaient l'indice d'irremplaçabilité le plus élevé en référence aux grandes espèces de mammifères et aux écorégions, sont par ce biais également étayés (Brugière & Scholte, 2013). Les seules exceptions correspondent aux sites qui contenaient de grandes quantités d'éléments de conservation avec des aires de répartition très limitées, ce qui semble être le cas de certaines des zones prioritaires de petite taille identifiées dans le sud du pays, sélectionnées parce qu'elles contenaient des types de végétation présentant des aires de répartition relativement restreintes.

Les résultats des quatre meilleurs ensembles donnent également des indications importantes quant à l'emplacement de nouvelles aires protégées. Comme anticipé, compte tenu des résultats de l'analyse des carences, ils identifient de vastes zones dans le nord du pays, dans les écorégions qui présentent actuellement de faibles niveaux de protection. Toutefois, chacun des quatre ensembles identifie différentes parcelles comme étant importantes, ce qui démontre un niveau élevé de flexibilité quant aux emplacements possibles de nouvelles AP. Cela résulte du fait que la plupart de ces unités de planification sont similaires en termes de la biodiversité qu'elles contiennent et de la densité de leur population humaine. Ces résultats soulignent également les différences qui existent entre les cartes des meilleurs ensembles et de la fréquence de sélection : les meilleurs ensembles révèlent que de vastes zones au nord sont nécessaires pour réaliser les objectifs, toutefois, du fait du niveau élevé de flexibilité quant à la réalisation de ces objectifs, aucune de ces unités de planification ne présente de résultats élevés en termes de fréquence de sélection sauf si celles-ci se trouvent à proximité d'une AP existante, réduisant ainsi les coûts relatifs aux frontières. Un autre résultat clé

découlant des cartes des meilleurs ensembles correspond à la nécessité d'une série d'AP de plus petites tailles dans la moitié sud du pays, dont certaines se trouvent aux frontières nationales du Cameroun, de la République centrafricaine et du Nigéria, et certaines forment des zones prioritaires discrètes dans les secteurs plus au centre.

Lors de l'analyse de ces résultats, il est également important de tenir compte des limites du système de planification de la conservation. Comme dans le cas de l'analyse des carences, il est important de souligner que la plupart des données relatives à la répartition des éléments de conservation étaient basées sur les cartes d'aire de répartition et que, par conséquent, les zones prioritaires pourraient ne pas contenir les éléments de conservation spécifiques pour lesquels ces zones ont été sélectionnées. Toutefois, il est probable que ce problème ait été minimisé dans l'établissement de priorités géographiques par comparaison à l'analyse des carences, étant donné que Marxan a choisi plus vraisemblablement des unités de planification présentant une faible densité de population et dont les objectifs concernant les types de couverts végétaux naturels étaient atteints. Nous avons par conséquent davantage de certitude quant au fait que les cartes des zones prioritaires contiennent des habitats non transformés. Une autre limite concerne les données relatives aux coûts, du fait que le jeu de données relatives à la densité de la population utilisé (GRUMP) enregistre uniquement la taille de la population humaine par grand district administratif et, par conséquent, ne parvient pas à distinguer les unités de planification dans une même région. Pour cette raison, les résultats de la fréquence de sélection étaient relativement faibles dans de nombreuses régions, étant donné que de nombreuses unités de planification semblaient présenter des coûts identiques et pouvaient être remplacées par des unités de planification similaires.

Malgré les limites que comportent les données, le système de planification de la conservation pour le Tchad fournit des informations importantes en vue d'orienter les actions de conservation et de permettre d'améliorer les systèmes d'AP afin de mieux protéger la biodiversité dans le présent et face au changement climatique. Toutefois, la planification systématique de la conservation n'est pas un processus statique et les résultats présentés dans ce rapport doivent être considérés comme le début d'une série d'activités à long terme. En particulier, les résultats doivent être traités avec des experts locaux appartenant à divers secteurs d'activité. En outre, il est nécessaire de considérer l'analyse des carences et l'établissement de priorités pour la conservation comme un processus continu qui doit être mis à jour à l'aide de données plus adéquates lorsque celles-ci sont disponibles.

## Recommandations

---

### Mettre en œuvre les résultats

---

**Identifier les sites prioritaires pour la mise en œuvre.** L'établissement de priorités géographiques a permis d'identifier de nombreux sites où établir de nouvelles AP, en fonction des objectifs relatifs à la conservation et des données relatives à la répartition utilisés dans l'analyse. L'importance de ces sites doit être vérifiée en consultant les experts locaux et en réalisant des visites de terrain pour vérifier que chaque site est important par rapport aux éléments de conservation pour lesquels il a été sélectionné. Toute évaluation doit également prendre en compte la faisabilité de la protection du site. Si la faisabilité est faible, l'établissement de priorités sous Marxan doit être à nouveau exécuté, avec un paramétrage du site comme étant 'exclu' et toutes les autres zones prioritaires comme étant 'conservées'. Cela permettra alors d'identifier d'autres sites qui complètent les AP et ZICO existantes, et les zones prioritaires identifiées dans cette étude.

**Identifier les espèces et écorégions prioritaires pour la mise en œuvre des activités de conservation.** L'analyse des carences a permis d'identifier les espèces peu représentées dans le système d'AP et de ZICO existantes au Tchad. Ces résultats doivent être vérifiés en consultant les experts locaux, et les espèces prioritaires qui nécessitent une gestion plus importante de la conservation doivent être identifiées. En particulier, il est essentiel de déterminer si les écorégions associées au désert du Sahara nécessitent une protection supplémentaire, car ces écorégions sont peu représentées par le système d'AP existantes.

**Renforcer les capacités et rationaliser le système de planification.** Une partie du projet PARCC consistait à former des experts provenant des cinq pays cibles à l'utilisation des logiciels de planification de la conservation CLUZ et Marxan. Ces activités de formation doivent être davantage développées afin d'inclure plus de professionnels et de chercheurs locaux issus de l'ensemble des États de l'aire de répartition de l'Afrique de l'Ouest, afin que le système de planification puisse continuer à être utilisé et mis à jour par les experts nationaux. Les organismes publics œuvrant pour la conservation doivent également s'attacher à inclure les résultats du système de planification dans leurs processus de prises de décisions et rationaliser la planification de la conservation dans d'autres secteurs.

### Améliorer le système de planification de la conservation

---

**Données relatives aux coûts des unités de planification.** Le jeu de données relatives à la densité de la population humaine mondiale que nous avons utilisé dans l'analyse avait une résolution spatiale à grande échelle pour un grand nombre des pays d'Afrique de l'Ouest, dont le Tchad. Cela impliquait que les unités de planification dans une même région présentaient souvent des valeurs des coûts très similaires, ce qui rendait difficile la distinction entre les zones. Si toutefois un jeu de données plus

détaillées concernant la population n'est pas disponible, une manière de minimiser ce problème consisterait à créer une carte des coûts composites qui pondèrent les valeurs en fonction de la distance jusqu'aux routes, aux villages ou aux autres formes d'infrastructures.

**Améliorer les données de la WDPA.** Nous avons utilisé deux types de données relatives aux AP dans le système de planification : des polygones et des points provenant de la Base de données mondiale sur les aires protégées (WDPA). Toutefois, au cours de nos ateliers nationaux, les experts issus des cinq pays participant au projet ont déclaré qu'une partie de ces données relatives aux AP était inexacte. Par conséquent, il est nécessaire que les experts nationaux révisent ces données et que le gouvernement de chaque pays d'Afrique de l'Ouest fournisse aux gestionnaires de la WDPA au PNUÉ-WCMC des informations à jour afin de garantir que la WDPA contienne uniquement des données de polygones exactes concernant les AP.

**Améliorer les données de polygones relatives aux ZICO.** Les polygones des ZICO présentaient plusieurs légers problèmes concernant les limites et les projections, ce qui impliquait que souvent ils ne correspondaient pas parfaitement aux littoraux de chaque pays ou aux données relatives aux mêmes sites enregistrées dans la WDPA (certaines ZICO ont déjà le statut d'AP). Par conséquent, il est nécessaire de disposer d'experts nationaux sur place pour permettre à BirdLife International de mettre à jour ces données géographiques.

**Inclure une plus grande sélection d'éléments de conservation.** Nous avons utilisé un ensemble d'espèces relativement restreint en tant qu'éléments de conservation dans le système de planification de la conservation. Notamment, aucune donnée déjà incluse sur la Liste rouge de l'UICN relative aux reptiles, aux invertébrés ou aux plantes n'était utilisée. Il serait profitable aux analyses futures de rassembler et d'importer ces données dans le système de planification. Particulièrement, l'inclusion imminente du risque d'extinction de toutes les espèces d'Afrique de l'Ouest, évaluées dans le cadre du projet PARCC, dans la Liste rouge devrait permettre d'ajouter des données relatives aux reptiles dans le système de planification de la conservation.

**Inclure davantage de données relatives aux aménagements prévus.** Nous n'avons pas la possibilité d'inclure des données relatives aux facteurs qui concernent la mise en application des résultats de l'établissement de priorités géographiques pour la conservation. Notamment, nous ne disposons pas de données concernant les lieux où différents secteurs d'activité, tels que ceux de l'agriculture, des transports et de l'exploitation minière, comptent développer de nouveaux projets. Pour cette raison, nous avons axé notre analyse sur les résultats de la fréquence de sélection, du fait que ceux-ci sont plus flexibles et peuvent être utilisés pour identifier les lieux où les zones prioritaires en matière de conservation et d'autres secteurs d'activité pourraient se chevaucher. Néanmoins, ces données de mise en œuvre sont de préférence à inclure dans le processus d'établissement de

priorités, afin que Marxan puisse éviter, dans la mesure du possible, la sélection de zones qui sont prévues pour un aménagement.

**Améliorer l'approche de l'établissement des objectifs.** Nous avons adopté une approche largement utilisée pour établir les objectifs concernant les différents éléments de conservation, qui est basée sur leur aire de répartition mondiale. Nous avons ensuite modifié certains de ces objectifs suite aux commentaires provenant des experts nationaux. Il s'agissait d'une manière efficace pour fixer les objectifs concernant un si grand groupe d'éléments de conservation, notamment du fait qu'il existe peu d'informations par rapport à bon nombre de ces espèces et éléments généraux de la biodiversité. Toutefois, il est possible de revoir ces objectifs et de les modifier en fonction des données disponibles relatives aux menaces et à la viabilité des populations d'espèces.

## Références

---

- Baker, D. J., A. J. Hartley, N. D. Burgess, S. H. M. Butchart, D. J. Carr, R. J. Smith, E. Belle, and S. G. Willis. 2015. Assessing climate change impacts for vertebrate fauna across the West African protected area network using regionally appropriate climate projections. *Diversity and Distributions*, **21** (9): 991–1003.
- Ball, I. R., H. P. Possingham, and M. Watts. 2009. Marxan and relatives: software for spatial conservation prioritisation. In *Spatial conservation prioritisation: quantitative methods and computational tool*, eds Moilanen, A., K.A. Wilson, and H.P. Possingham. Oxford University Press.
- Bicheron, P., M. Leroy, C. Brockmann, U. Krämer, B. Miras, M. Huc, F. Ninõ, P. Defourny, C. Vancutsem, O. Arino, F. Ranéra, D. Petit, V. Amberg, B. Berthelot, and D. Gross. 2006. Globcover: a 300m global land cover product for 2005 using ENVISAT MERIS time series. Universitat de Valencia, Valencia, Spain.
- Brugiere, D. and P. Scholte. 2013. Biodiversity gap analysis of the protected area system in poorly-documented Chad. *Journal for Nature Conservation* **21**:286-293.
- Butchart, S. H. M., M. Clarke, R. J. Smith, R. E. Sykes, J. P. W. Scharlemann, M. Harfoot, G. M. Buchanan, A. Angulo, Balmford, A., B. Bertzky, T. M. Brooks, K. E. Carpenter, M. T. Comeros-Raynal, J. Cornell, G. F. Ficetola, L. D. C. Fishpool, R. A. Fuller, J. Geldmann, H. Harwell, C. Hilton-Taylor, M. Hoffmann, A. Joolia, L. Joppa, N. Kingston, I. May, A. Milam, B. Polidoro, G. Ralph, N. Richman, C. Rondinini, D. Segan, B. Skolnik, M. Spalding, S. N. Stuart, A. Symes, J. Taylor, P. Visconti, J. Watson, L. Wood, and N. D. Burgess. 2015. Shortfalls and solutions for meeting national and global conservation area targets. *Conservation Letters*, in press.
- Carr, J. A., A. F. Hughes, and W. B. Foden. 2014. A climate change vulnerability assessment of West African species. UNEP-WCMC technical report.
- Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia University, International Food Policy Research Institute (IFPRI), The World Bank, and Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 2011. Global Rural-Urban Mapping Project Version 1 (GRUMPv1): Palisades, NY.
- CBD 2010. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020 and the Aichi Targets. Pages 1-2. United Nations Environment Programme, Montreal, Quebec, Canada.
- IUCN and UNEP-WCMC. 2015. The World Database on Protected Areas (WDPA). UNEP-WCMC, Cambridge, UK.
- Knight, A. T., R. M. Cowling, and B. M. Campbell. 2006. An operational model for implementing conservation action. *Conservation Biology* **20**:408-419.
- Margules, C. R. and R. L. Pressey. 2000. Systematic conservation planning. *Nature* **405**:243-253.
- Olson, D. M., Dinerstein, E., Wikramanayake, E. D., Burgess, N. D., Powell, G. V., Underwood, E. C., D'amico, J.A, Itoua, I., Strand, H.E., Morrison, J.C, Loucks, C.J., Allnutt, T.F., Ricketts, T.H., Kura, Y., Lamoreux, J.F., Wettengel, W.W., Hedao, P. and Kassem, K. R. (2001). Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth. *BioScience* **51**: 933-938.

- Platts, P. J., R. A. Garcia, C. Hof, W. Foden, L. A. Hansen, C. Rahbek, and N. D. Burgess. 2014. Conservation implications of omitting narrow-ranging taxa from species distribution models, now and in the future. *Diversity and Distributions* **20**:1307-1320.
- Pressey, R. L., R. M. Cowling, and M. Rouget. 2003. Formulating conservation targets for biodiversity pattern and process in the Cape Floristic Region, South Africa. *Biological Conservation* **112**:99-127.
- Rodrigues, A. S., H. R. Akcakaya, S. J. Andelman, M. I. Bakarr, L. Boitani, T. M. Brooks, J. S. Chanson, L. D. C. Fishpool, G. A. B. Da Fonseca, K. J. Gaston, M. Hoffmann, P. A. Marquet, J. D. Pilgrim, R. L. Pressey, J. Schipper, W. Sechrest, S. N. Stuart, L. G. Underhill, R. W. Waller, M. E. J. Watts, and X. Yan. 2004. Global gap analysis: Priority regions for expanding the global protected-area network. *Bioscience* **54**:1092-1100.
- Venter, O., R. A. Fuller, D. B. Segan, J. Carwardine, T. Brooks, S. H. M. Butchart, M. Di Marco, T. Iwamura, L. Joseph, D. O'Grady, H. P. Possingham, C. Rodinini, R. J. Smith, M. Venter, and J. E. M. Watson. 2014. Targeting global protected area expansion for imperiled biodiversity. *PloS Biology* **12**:e1001891.
- Willis, S. G., W. Foden, D. J. Baker, E. Belle, N. D. Burgess, D. J. Carr, N. Doswald, R. A. Garcia, A. Hartley, C. Hof, T. Newbold, C. Rahbek, R. J. Smith, P. Visconti, B. Young, and S. H. M. Butchart. 2015. Integrating climate change vulnerability assessments into systematic conservation planning. *Biological Conservation* **190**: 167–178.
-