

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



2015

Intégration des modèles de distribution des espèces et des évaluations basées sur les traits biologiques pour informer la planification de la conservation



UNEP



WCMC



FRANCAIS

Université de Durham

2015

Le programme des Nations Unies pour l'environnement, Centre de surveillance de la conservation de la nature (PNUE-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.



Intégration des modèles de distribution des espèces et des évaluations basées sur les traits biologiques pour informer la planification de la conservation, rédigé par l'Université de Durham, 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 : Durham University. Intégration des modèles de distribution des espèces et des évaluations basées sur les traits biologiques pour informer la planification de la conservation. UNEP-WCMC technical report.

Disponibilité : UNEP-WCMC, 219 Huntingdon Road, Cambridge CB3 0DL, UK
Tel: +44 1223 277314; Fax: +44 1223 277136
Email: protectedareas@unep-wcmc.org
URL: <http://www.unep-wcmc.org>

Photo de couverture : Tortue, Forêt de Nazinga, Burkina Faso. *Droits d'auteur:* Stephen G. Willis.

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

RESUME.....	4
1. INTRODUCTION	6
2. CONTEXTE DE LA MODELISATION DE LA DISTRIBUTION DES ESPECES ET DES ANALYSES BASEE SUR LES TRAITS BIOLOGIQUES.....	9
A) MODELISATION DE BASE DE LA DISTRIBUTION DES ESPECES.....	9
B) EVALUATIONS DE BASE DE LA VULNERABILITE BASEE SUR LES TRAITS BIOLOGIQUES (TVA).....	13
3. INCLUSION DES DONNEES SUR L'ADAPTATION CLIMATIQUE DES ESPECES INDIVIDUELLES ISSUES DES MODELES DE DISTRIBUTION DES ESPECES DANS LES ANALYSES BASEES SUR LES TRAITS BIOLOGIQUES POUR INFORMER LA VULNERABILITE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE (« TVA MODIFIEE »).....	17
A) METHODES.....	20
B) RESULTATS	22
4. COMBINAISON DES TRAITS BIOLOGIQUES ET DES MODELES DE DISTRIBUTION DES ESPECES POUR INFORMER LA GESTION FUTURE : UTILISATION DES TRAITS POUR AFFINER LES PROJECTIONS DES MODELES DE DISTRIBUTION DES ESPECES (« SDM MODIFIEE »).....	26
A) METHODES.....	26
B) RESULTATS	30
5. CONCLUSIONS	32
6. REFERENCES	34
ANNEXE 1. EXEMPLES D'IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA DISTRIBUTION POSSIBLE FUTURE DES ESPECES D'OISEAUX D'AFRIQUE DE L'OUEST IMPORTANTES POUR LA CONSERVATION.....	37
ANNEXE 2. COMPARAISON ENTRE LA TVA DE CARR ET AL. (2014) ET L'APPROCHE « TVA MODIFIEE »	43
ANNEX 3. IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA DISTRIBUTION FUTURE PROBABLE DES ESPÈCES D'OISEAUX D'AFRIQUE DE L'OUEST IMPORTANTES POUT LA CONSERVATION.....	50

Résumé

Dans ce rapport, nous explorons la possibilité de combiner les projections de l'impact climatique des Modèles de distribution des espèces (SDM) et de l'Évaluation de la vulnérabilité basée sur les traits biologiques (TVA) pour produire des évaluations intégrées de la menace potentielle du changement climatique sur les espèces importantes pour la conservation en Afrique de l'Ouest.

Les évaluations TVA utilisent les données sur les traits biologiques pour renseigner l'exposition, la sensibilité et la capacité d'adaptation probable des espèces face au changement climatique. Les modèles SDM, en reliant le rapport d'une espèce au climat, peuvent être utilisés pour évaluer la sensibilité d'une espèce aux changements projetés du climat, l'exposition climatique étant bien renseignée par les projections du changement climatique. Typiquement, de tels modèles statiques ne considèrent pas la capacité d'une espèce à faire face aux changements, dans les zones de climat devenant adaptées, grâce à leurs traits biologiques.

Ici, nous combinons les modèles SDM et les méthodologies TVA de deux manières :

Tout d'abord, nous utilisons les projections de l'adéquation du climat pour les espèces individuelles (SDM) selon les scénarios climatiques futurs pour remplacer les paramètres d'exposition climatique plus simples et plus généralement inclus dans les analyses basées sur les traits biologiques. Nous évaluons alors la vulnérabilité probable des espèces au changement climatique en combinant ces projections de l'exposition avec les informations sur la sensibilité et l'adaptabilité à partir des analyses basées sur les traits biologiques, donnant lieu à une véritable intégration des approches SDM et TVA, que nous appelons « TVA Modifiée ».

Deuxièmement, nous intégrons les données sur les traits biologiques pertinentes dans les modèles de distribution des espèces à la fois comme un élément dynamique dans les modèles de réponses des espèces aux changements climatiques et, pour les traits biologiques qui ne peuvent pas être inclus dans les modèles de distribution dynamique, à l'aide d'enquêtes basées sur les traits dichotomiques. Il en résulte une approche mixte de combinaison des traits et de la modélisation spatiale que nous appelons « SDM Modifiée ».

Les TVA modifiées, en utilisant les modèles SDM pour renseigner l'exposition climatique dans les TVA traditionnelles, sont plus proches des analyses algorithmiques simples basées sur les traits. Nous observons que le degré de différence entre ces deux méthodes est grandement affecté par la façon dont sont traitées les espèces qui ne font pas l'objet de consensus en ce qui concerne leur impact face au climat futur (ex : pas de tendance constante dans leur réponse aux changements prévus). Toutefois, nous préconisons cette approche combinée par rapport aux TVA simples car elle intègre des changements dans l'adéquation au climat pour chaque espèce et permet d'évaluer la vulnérabilité climatique au niveau de chaque site.

La modélisation spatiale avec les traits biologiques combine quant à elle l'adaptation climatique à partir des SDM avec les informations sur la démographie et la dispersion dans les modèles dynamiques de réponses probables au changement climatique et fournit une évaluation réaliste de la façon dont les espèces pourraient réagir. Les traits biologiques supplémentaires qui ne peuvent être intégrés dans des modèles dynamiques, tels que les interactions entre les espèces et les relations liées à l'habitat, sont évalués à l'aide des requêtes dichotomiques. Cette approche est probablement plus utile pour informer les mesures de gestion potentielles pour les espèces individuelles.

Nous produisons des cartes sur les différences dans la vulnérabilité au changement climatique des ensembles d'espèces dans les aires protégées à travers l'Afrique de l'Ouest en utilisant des TVA modifiées (voir ci-dessus). Nous utilisons également la modélisation spatiale avec les traits biologiques pour produire des recommandations de gestion pour les espèces individuelles en fonction de leur capacité à répondre aux changements prévus.

REMARQUE: Plusieurs des méthodes utilisées dans ce projet ont déjà été présentées en détail dans Willis *et al.* (2015) et Baker *et al.* (2015), dont est tirée une partie du texte de synthèse méthodologique de ce rapport.

1. Introduction

La perte de biodiversité se produit dans la majeure partie du monde (Butchart *et al.* 2010, Secretariat de la CDB, 2010, WWF, 2014) et le changement climatique d'origine anthropique a été identifié comme l'un des principaux moteurs de ces tendances (Parmesan et Yohe, 2003). Cette menace devrait s'aggraver au cours du prochain siècle en raison de l'accélération du réchauffement planétaire et des changements des régimes et des périodes des précipitations, ainsi que les modifications dans les extrêmes climatiques (GIEC, 2007). Diverses prédictions ont été faites sur les impacts du changement climatique sur les habitats et les espèces de la planète, qui indiquent généralement que plus d'espèces seront menacées d'extinction et que leurs distributions pourront considérablement changer, voir même diminuer (Sala *et al.* 2000, Midgley *et al.* 2002, Thomas *et al.* 2004, Bagchi *et al.* 2013). Le changement climatique est non seulement une menace supplémentaire en plus des autres menaces directes sur la biodiversité, telles que le changement de l'utilisation des terres, la chasse excessive et les espèces envahissantes, mais peut également agir en synergie avec ces menaces (Benning *et al.* 2002, Hof *et al.* 2011). Il y a, par conséquent, un besoin urgent d'évaluer les conséquences potentielles du changement climatique futur sur les espèces et d'entreprendre une planification de la gestion adaptative qui permet de formuler des décisions de conservation actuelles et futures. La nécessité de produire des plans de gestion adaptative a stimulé bon nombre de recherche ces dernières années, entraînant diverses approches pour l'évaluation des risques liés au changement climatique (Game *et al.* 2011, Hole *et al.* 2011, Gardali *et al.* 2012, Bagchi *et al.* 2013, Foden *et al.* 2013, Garcia *et al.* 2014).

À ce jour, la majorité des évaluations de la vulnérabilité au changement climatique ont utilisé des Modèles de distribution des espèces (SDM) qui mettent en corrélation des données sur les distribution actuelles des espèces avec les observations sur les climats récents et appliquent ensuite ces projections de corrélations climatiques pour prédire l'emplacement ou les emplacements de conditions climatique adaptées pour une espèce dans l'avenir (Beaumont and Hughes 2002, Phillips *et al.* 2006, Huntley *et al.* 2008, Jensen *et al.* 2008, Harrison *et al.* 2006). Par conséquent, pour prédire les réponses des espèces au futurs changements climatiques projetés, les SDM utilisent l'exposition future d'une espèce au changement climatique (à savoir la mesure dans laquelle l'environnement physique de l'espèce va changer) comme un paramètre d'entrée et d'évaluent la sensibilité des espèces

(la capacité de l'espèce à persister, *in situ* ou ailleurs) à ce changement. Toutefois, ces SDM ne tiennent pas compte des capacités potentielles des espèces à s'adapter à ces changements par la dispersion, le changement de comportement ou l'adaptation évolutive. Par exemple, une espèce pourrait avoir un habitat climatiquement suffisamment adapté dans l'avenir, mais ses limites intrinsèques de dispersions peuvent rendre l'accès à cet habitat peu probable. Les défauts de l'utilisation des approches SDM de base pour simuler les changements futurs des espèces sont bien reconnus (Seo et al. 2009, Sinclair et al. 2010, Wiens et al. 2009) et inclus leur manque de considération de l'information biologique sur la probabilité que les espèces réalisent les changements de distribution projetés par les SDM (Pearson and Dawson, 2004). Ce défaut a conduit à l'élaboration d'une nouvelle génération de SDM dynamiques (ou basés sur les processus) qui comprennent des traits biologiques pertinents, tels que la capacité de dispersion, les exigences en matière d'habitat et d'autres paramètres clés pour évaluer la probabilité de changements de la population dans l'espace et le temps (Kearney et Porter, 2009, Conlisk *et al.* 2013). Toutefois, le paramétrage de ces modèles requiert des données quantitatives sur l'espèce ou le système, ce qui fait défaut pour de nombreuses espèces. Une approche alternative, que nous appelons « Evaluation de la Vulnérabilité basée sur les traits Biologiques (TVA) » (Foden *et al.* 2013, Carr et al. 2014, Willis *et al.* 2015, Pacifici *et al.* 2015) considère la vulnérabilité des espèces face au changement climatique sur la base des meilleures connaissances actuellement disponibles sur l'écologie et l'histoire de vie de l'espèce. Contrairement aux modèles basés sur les processus, les TVA utilisent des indexes composites (par opposition à la modélisation) pour caractériser la vulnérabilité des espèces aux changements climatiques.

Les approches TVA identifient, pour une espèce, les traits qui sont connus ou présumés pouvant la rendre vulnérable aux impacts du changement climatique. Cela implique généralement l'examen de trois aspects de la vulnérabilité: l'exposition au changement climatique, la sensibilité aux changements climatiques, et la capacité d'adaptation à ces changements, les deux derniers aspects bénéficiant de l'examen des traits biologiques. Les espèces qui combinent une exposition élevée, un haut degré de sensibilité et une faible capacité d'adaptation seront les plus vulnérables aux changements climatiques. Ces méthodes fournissent une approche relativement rapide pour classifier les espèces en fonction de leur vulnérabilité probable au changement climatique futur (Rowland *et al.*

2011). Plusieurs variantes de l'approche TVA ont été récemment mises au point et sont appliquées à un nombre croissant de taxons (Williams *et al.* 2008, Chin *et al.* 2010, Dawson *et al.* 2011, Graham *et al.* 2011, Thomas *et al.* 2011, Young *et al.* 2011, Foden *et al.* 2013).

À ce jour, cependant, peu de comparaisons explicites entre les SDM et les TVA ont été effectuées en ce qui concerne leurs objectifs, les cadres conceptuels qui les sous-tendent (Rowland *et al.* 2011) et les résultats qu'ils produisent (Garcia *et al.* 2014). En outre, peu d'efforts ont été faits pour démontrer comment leurs résultats pouvaient être appliqués à des échelles pertinentes pour la prise de décisions en matière de conservation (nationale et à plus petite échelle). Nous cherchons à combler les lacunes de ces deux approches en considérant comment les éléments de chacune pourraient être utilisés pour renforcer l'autre et faire des propositions sur comment ces approches peuvent être intégrées pour fournir de meilleures évaluations de la vulnérabilité au changement climatique. Notre cadre résultant indique également comment les deux approches peuvent être introduites dans la planification de la gestion adaptative et dans l'identification des priorités de la conservation spatiale à des échelles où les décisions de conservation sont prises (Margules et Pressey, 2000, Moilanen *et al.* 2009, Ladle *et al.* 2011). Dans le cadre du projet PARCC, des systèmes de planification systématique de la conservation ont été développés afin d'identifier les aires prioritaires pour la conservation en se basant sur la représentation de grands éléments de biodiversité (les types de couverture végétale, les types d'écorégions et les zones d'altitude), la conservation de la distribution actuelle de certaines espèces (les amphibiens, les oiseaux et les mammifères), ainsi que la conservation de la distribution future des espèces qui peuvent être vulnérables au changement climatique en se basant sur les résultats des SDM et des TVA (Smith 2015). Nous terminons en décrivant certains défis en utilisant les résultats des évaluations de la vulnérabilité au changement climatique dans le cadre de la planification systématique de la conservation.

2. Contexte de la Modélisation de la Distribution des Espèces et des Analyses basée sur les Traits Biologiques

a) Modélisation de base de la Distribution des Espèces

Sources de données

i. Les modèles climatiques régionaux

Les projections climatiques ont été effectuées pour la zone CORDEX Afrique (gamme de longitude = -24,64, 60,28; gamme de latitude = -45,76, 42,24 (Giorgi *et al.* 2009)) dans un processus en deux étapes. Premièrement, un Ensemble Physique Perturbé (PPE), dans lequel les paramètres du modèle sont systématiquement perturbés pour produire une gamme de climats, a été produit en utilisant le modèle de circulation générale HADCM3 (GCM) pour le scénario A1B du SRES (GIEC, 2007). Les simulations pour les membres individuels de l'ensemble ont été comparées aux données de température et de précipitations observées à travers l'Afrique et aux régimes climatiques (ex : les distributions spatio-temporelles des précipitations maximales) des zones Sahéliennes et de la Côte guinéenne, en s'inspirant de McSweeney *et al.* (2012). Les modèles qui n'ont pas pu saisir les caractéristiques climatiques importants de ces trois régions ont été écartés. À partir des modèles restants, un ensemble de cinq membres a été sélectionné qui représente l'ampleur des futures projections de températures et de précipitations dans la région (Buontempo *et al.* 2014). Chacun des cinq membres de l'ensemble a été réduit à une échelle d'environ 50km² de résolution spatiale pour la période 1949-2100, en utilisant le système de modélisation régionale du climat (MRC) appelé PRECIS (Jones *et al.* 2004) basé sur les données physiques du Met Office Hadley Centre (Hartley, Jones et Janes 2015). Afin de mettre la MRC dans un contexte climatique mondial, la MRC a été conduite aux frontières par des champs à grande échelle basés sur le temps (ex : le vent, la température, la vapeur d'eau, la pression de surface et la température de la surface de la mer) fournis par l'ensemble PPE à cinq membres.

Quatre variables bioclimatiques ont été calculées pour chaque période de temps à partir des données mensuelles des MRC pour chacun des cinq membres de l'ensemble : température moyenne du mois le plus chaud, température moyenne du mois le plus froid, saisonnalité des précipitations (moyenne des précipitations/évapotranspiration potentielle) et index d'aridité (moyenne des précipitations/évapotranspiration potentielle). Ces

paramètres bioclimatiques se sont précédemment révélés être de bons prédicteurs de la distribution des espèces pour divers groupes taxonomiques dans les systèmes tropicaux et subtropicaux (Araújo *et al.* 2006, Bagchi *et al.* 2013, Barbet-Massin et Jetz, 2014) définissant la tolérance aux extrêmes thermiques et à la disponibilité de l'eau. Pour la période de référence (1971-2000) et les trois périodes futures ('2040' = 2011-2040; '2070' = 2041-2070; '2100' = 2071-2100), les variables ont été calculées en tant que moyennes au cours de ces périodes. Puisque les données de référence sont tirées de la MRC, il existe cinq données de référence différentes, chacune validée par des données climatiques observées. Cela a un avantage sur les données observées statistiquement interpolées dans les régions où les observations climatologiques terrestres sont rares (Sylla *et al.* 2013), étant donné que les projections dynamiques sont capables de capter une plus grande hétérogénéité spatiale dans la région et l'incertitude dans les données climatiques actuelles.

ii. Données de distribution des espèces

Les données de distribution des espèces pour les aires de reproduction ont été obtenues à partir des cartes de distribution affinées des espèces pour toutes les espèces d'oiseaux (tiré de BirdLife International et NatureServe, 2013), de mammifères et d'amphibiens (tous les deux tirés de IUCN, 2014) qui ont été quadrillées sur une grille de $0,44^0$ (environ 50 km^2 à l'équateur). Une espèce est considérée comme étant présente dans une cellule si le polygone de distribution chevauche $\geq 10\%$ de la cellule, qui est un seuil généreux qui contribue à veiller à ce que les espèces ayant des aires de distributions restreintes soient représentées. Toutes les zones au-delà de l'aire de distribution sont très peu susceptibles de contenir de fausses absences et, par conséquent, pour la modélisation nous considérons toutes les cellules au-delà de l'aire de distribution comme étant de vraies absences. Il existe une certaine possibilité d'erreurs d'instruction lors de l'utilisation des cartes de distribution améliorées. Cependant, la disponibilité ici de point de fiabilité et d'impartialité des données est limitée et les cartes de distribution affinées des espèces, lorsqu'elles sont utilisées pour les résolutions spatiales de conservation, sont sûrement représentatives des tolérances climatiques des espèces. Les espèces sont prises en compte dans l'analyse si $\geq 75\%$ de leur aire de reproduction occupe toute la mesure de la MRC, écartant ainsi les espèces pour lesquelles nous sommes incapables de modéliser une grande proportion de la relation espèces-climat. Toutes les espèces ayant des aires de reproduction

occupant moins de cinq cellules ont également été écartées de l'analyse en raison des difficultés de modélisation associées à de telles données éparses.

iii. **Elaboration de modèles de distribution des espèces**

Nous avons utilisé une approche de modélisation de la distribution des espèces qui quantifie l'incertitude dans les distributions projetées du fait de la sélection de projections climatiques et d'approches de modélisation différentes et de la dépendance spatiale probable dans les distributions des espèces.

Pour la modélisation, nous avons divisé l'ensemble des données en blocs spatialement désagrégés, plutôt que par partitionnement aléatoire divisé par k , ce qui nous a permis de saisir l'incertitude liée à la dépendance spatiale dans nos projections. Pour chacune des cinq projections climatiques MRC, l'ensemble des données a été divisé en cinq blocs spatialement désagrégés, de sorte que la moyenne et la variance de chaque variable bioclimatique soient approximativement égales à travers les blocs (voir Bagchi *et al.* 2013 pour plus de détails) ; ainsi, chaque bloc a la potentiel de saisir la relation espèce-climat. De manière importante, l'autocorrélation spatiale dans chaque bloc est plus élevée que celle qui existe entre les blocs. En conséquence, là où l'autocorrélation spatiale est élevée, les modèles formés dans les blocs $n-1$ (l'approche de mise en portefeuille adoptée ici) où n est le nombre total de blocs, a produit des résultats médiocres lors des essais sur le bloc retenu. La variation de la probabilité d'occurrence prédite à travers les blocs retenue peut être utilisée pour évaluer l'effet de l'autocorrélation spatiale sur les distributions projetées.

Nous avons modélisé la relation entre la distribution de base d'une espèce (représentant la période 1971-2000) et les quatre variables bioclimatiques actuelles en utilisant toutes les combinaisons de quatre méthodes de modélisation [les modèles linéaires généralisés (GLM), les modèles additifs généralisés (GAM), les modèles stimulés généralisés (GBM) et les forêts aléatoires (RF)] et cinq projections climatiques MRC (20 combinaisons au total). Nous avons conditionné chacune de ces combinaisons de modèle à l'aide des cinq blocs $n-1$ des cellules. Ainsi, pour chaque espèce, 100 modèles ont été ajustés à un sous-ensemble de données de distribution de base, à savoir la combinaison de chaque bloc (5), de la projection climatique RCM (5) et de la méthodologie de modélisation (4). Pour les quatre approches de modélisation, la zone médiane sous le champ de la caractéristique de

fonctionnement du récepteur (AUC) des cinq blocs a été utilisée pour évaluer la précision du modèle final. Le protocole de validation croisée du modèle s'inspire de Bagchi *et al.* (2013). En fin de compte, les modèles de distribution des espèces ont été élaborés pour 1296 espèces à travers tous les taxons, à partir de 1443 espèces au départ (Tableau 1). Ces modèles ont été appliqués aux données climatiques des trois périodes futures (2011-2040; 2041-2070; et 2071-2100). Les résultats de nos recherches récentes (Baker *et al.* 2015) ont suggéré que les projections de fin de siècle sur le changement de l'aire de distribution des espèces contiennent de très fortes incertitudes, ce qui rend les actions de conservation sur la base du résultat médian de ces projections moins susceptibles de réussir. Par conséquent, dans ce rapport, nous présentons des évaluations de la vulnérabilité au changement climatique pour seulement la période de mi-siècle.

b) Evaluations de base de la vulnérabilité basée sur les traits biologiques (TVA)

Cette approche, appelée Cadre d'évaluation de la vulnérabilité au changement climatique dans Carr *et al.* (2014) comprend une série de « règles » qui sont utilisées pour classer les espèces selon trois dimensions de la vulnérabilité au changement climatique (Figure 1.1). Ici, nous décrivons brièvement le protocole de Carr *et al.* (2014) car nous utilisons ce cadre pour intégrer nos SDM. Pour plus de détails sur ce cadre, se référer au rapport de Carr *et al.* (2014). Celui-ci, à son tour, suit de près les procédés décrits dans Foden *et al.* (2013) et Carr *et al.* (2013).

En résumé, les espèces sont évaluées en fonction de leur vulnérabilité au changement climatique en évaluant le degré auquel elles sont exposées au changement climatique (exposition), la mesure dans laquelle elles sont sensibles à ces changements (sensibilité) et leur capacité à faire face à ces changements (adaptabilité). L'exposition est définie par Carr *et al.* (2014) comme étant la mesure dans laquelle l'environnement physique d'une espèce va changer en raison du changement climatique, la sensibilité comme étant le manque de potentiel pour une espèce de persister *in-situ*, et l'adaptabilité comme étant la capacité d'une espèce à éviter les impacts négatifs du changement climatique par la dispersion et/ou la microévolution.

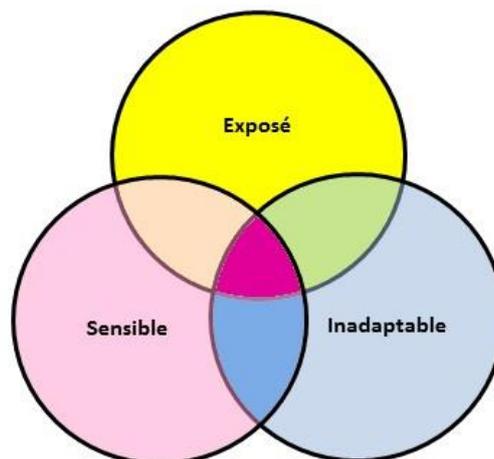


Figure 1.1. La plus grande vulnérabilité au changement climatique se produit lorsque les espèces qui possèdent des traits ou caractéristiques biologiques qui leur confèrent une faible sensibilité et adaptabilité sont exposées à un changement climatique considérable. Foden *et al.* (2013).

Les espèces qui sont les plus exposées, sensibles et inadaptables sont considérées comme les plus vulnérables aux changements climatiques. Ces espèces, représentées par

l'intersection dans le centre de la Figure 1.1, sont signalées comme faisant objet d'une plus grande préoccupation de conservation. Des informations importantes peuvent également être obtenues à partir d'espèces obtenant un score très élevé pour d'autres combinaisons des dimensions de la vulnérabilité du cadre.

Carr *et al.* (2014) suggèrent cinq traits biologiques qui rendent les espèces particulièrement sensibles au changement climatique. Ce sont: (1) les exigences d'habitat / micro-habitat spécialisés, (2) les faibles tolérances ou seuils environnementaux qui sont susceptibles d'être dépassés en raison du changement climatique à tout moment du cycle de vie, (3) la dépendance d'un déclencheur environnemental spécifique qui est susceptible d'être perturbé par le changement climatique, (4) la dépendance envers des interactions interspécifiques qui sont susceptibles d'être perturbées par le changement climatique et (5) la rareté. En outre, deux traits biologiques indiquent une probabilité réduite d'une espèce à être en mesure de s'adapter au changement climatique: (1) la faible capacité de dispersion et (2) l'incapacité d'évoluer rapidement pour faire face au changement climatique.

Les espèces ont reçu les mentions « inconnu », « faible » ou « élevé » pour chacun des sept traits mentionnés ci-dessus, sur la base d'un large éventail de sources d'information. Si dans certains cas, les seuils de risque sont clairs (par exemple, « ne se produit que sur les sommets des montagnes »), dans de nombreux cas aucune base n'a pu être définie *a priori* pour l'établissement d'un seuil de risque d'extinction particulier. Dans de tels cas (par exemple la tolérance de l'exposition aux variations de température projetée), Carr *et al.* (2014) ont utilisé un seuil arbitraire pour identifier le quartile supérieur des espèces les plus touchées au sein du groupe et les classer comme étant à risque « élevé » pour cet élément.

Les données sur les traits pour les amphibiens et les oiseaux ont été rendues disponibles par Foden *et al.* (2013) qui ont mené une analyse globale des amphibiens et des oiseaux. Pour les autres groupes taxonomiques, les données ont été collectées lors de deux ateliers régionaux d'évaluation des espèces qui se sont tenus à Lomé au Togo, dans le cadre du projet PARCC et grâce à des consultations avec des experts sur les espèces.

Les évaluations de l'Exposition ont été réalisées en superposant les changements projetés au niveau des variables climatiques pertinentes des taxons sur les polygones améliorés des aires de distribution des espèces pour obtenir des mesures simples du

changement climatique auquel chaque espèce sera exposée. Les polygones des aires de distribution des espèces ont été quadrillés et l'affinage de l'aire de distribution quadrillée en éliminant les cellules contenant des élévations et des habitats jugés inadaptés pour l'espèce.

Puisque l'identification de seuils représentant une exposition significative aux changements climatiques pour les espèces individuelles a rarement été effectuée, les scores ont été obtenus en classant les espèces selon le changement climatique attendu au sein de leur aire de distribution, puis en qualifiant celles du quartile le plus élevé des valeurs d'exposition comme étant à forte exposition. Les espèces ont donc été évaluées comme ayant potentiellement un risque d'exposition « élevé », « pas très élevé » ou « inconnu » dans les projections de changement climatique futur.

Carr *et al.* (2014) ont examiné l'exposition des espèces aux changements de température et de précipitations pour les mêmes trois périodes futures de 30 ans, comme décrit dans la section des modèles de distribution des espèces ci-dessus, en utilisant les mêmes projections du climat futur. Pour toutes les cellules dans l'aire de distribution d'une espèce, des moyennes générales de référence (OBM) pour la température et les précipitations ont été calculées. Les différences entre la référence des OBM et celles des trois périodes futures ont été utilisées comme des mesures du changement projeté dans les moyennes de températures à travers l'aire de distribution actuelle de chaque espèce pour la période future respective. Pour les changements projetés des précipitations moyennes, on a utilisé le ratio absolu entre la valeur de référence et les valeurs futures des OBM. En outre, la déviation absolue moyenne (AAD), une statistique sommaire pour la dispersion, a été calculée pour toutes les espèces et pour les deux variables climatiques. Les différences entre la référence et les AAD des trois futurs climatiques et les ratios absolus de la référence et des AAD projetées ont été utilisés comme mesures de l'évolution prévue de la variabilité de la température et des précipitations, respectivement, dans l'aire de distribution actuelle de chaque espèce. Les résultats ont été classés et le quartile supérieur identifié comme les espèces présentant un risque « élevé ».

Les scores sur la sensibilité, l'adaptabilité et l'exposition de chaque espèce ont été utilisés pour calculer des scores de vulnérabilité globale à l'aide de deux simples étapes logiques : on a attribué aux espèces un score élevé dans chaque dimension de vulnérabilité si elles possèdent un trait qui y contribue (ex : considérée comme sensible parce qu'étant un

spécialiste de l'habitat). Les espèces ont été considérées comme très vulnérables dans l'ensemble seulement si elles ont reçu la mention « élevé » dans tous les trois critères, à savoir l'exposition, la sensibilité et la capacité d'adaptation. Pour prendre en compte les données manquantes sur certains traits biologiques, chacune des étapes précédentes a été exécutée deux fois, une fois en remplaçant les informations des traits biologiques manquantes par un faible score de vulnérabilité et une fois avec un score élevé. Cela a fourni, respectivement, les scénarios du meilleur des cas (optimiste) et du pire des cas (pessimiste).

Il est extrêmement important de noter que, puisque la plupart des seuils de traits biologiques sont des seuils simplement relatifs pour des variables continues (par exemple, 25% des espèces de plus grande exposition aux variations de températures moyennes), plutôt que de tester empiriquement les seuils de vulnérabilité, cette approche offre une mesure relative, et non absolue, de la vulnérabilité au changement climatique. Les chiffres réels et les pourcentages d'espèces qui émergent comme étant vulnérables en utilisant cette approche ne représentent donc que le degré de chevauchement entre les trois dimensions de la vulnérabilité, plutôt qu'une mesure de la vulnérabilité globale. Il n'est donc pas convenable d'utiliser les résultats pour comparer les degrés de vulnérabilité entre les différents groupes taxonomiques. Les espèces identifiées comme vulnérables au changement climatique devraient être considérées comme des estimations des espèces les plus vulnérables, en notant que dans certains groupes taxonomiques, toutes les espèces peuvent être à risque face aux impacts du changement climatique, tandis que dans d'autres, bien peu d'espèces peuvent effectivement être sérieusement affectées de manière négative.

Les deux sections suivantes (sections 2 et 3) décrivent les différentes méthodes utilisées pour intégrer les données issues des TVA et des SDM, et pour présenter les résultats des deux méthodes. La Section 2 décrit notre méthode pour intégrer les données d'adéquation climatique de chaque espèce (à partir des modèles de distribution des espèces) dans l'analyse basée sur les traits biologiques (« TVA modifiées ») et présente les résultats en termes de vulnérabilité au changement climatique. La section 3 présente les méthodes et la synthèse des résultats sur l'utilisation des traits biologiques pour affiner les projections des modèles de distribution d'espèces (« SDM modifiée »).

3. Inclusion des données sur l'adaptation climatique des espèces individuelles issues des modèles de distribution des espèces dans les analyses basées sur les traits biologiques pour informer la vulnérabilité au changement climatique (« TVA modifiée »)

Intégrer la modélisation de l'adéquation climatique dans les TVA

La principale mesure de l'exposition des TVA (voir Section 1) est calculée comme la différence absolue (de la température) ou le ratio du changement (des précipitations) dans les moyennes climatiques sur l'ensemble de l'aire de distribution d'une espèce entre la période future et la période de référence (y compris également l'écart absolu moyen, comme une mesure de dispersion). Cette méthode ne fait aucune distinction entre les changements dans les différentes parties de l'aire de distribution d'une espèce et ne peut pas rapporter la différence dans l'exposition au changement climatique entre, par exemple, les marges de l'aire de distribution et le centre de l'aire de distribution. Par exemple, les changements climatiques dans différentes parties de l'aire de distribution, tels qu'une sécheresse à grande échelle dans l'ouest mais une augmentation des précipitations dans l'est de l'aire de distribution d'une espèce, n'auraient pas d'impact sur la mesure de l'exposition initiale. Ici, comme une alternative aux mesures d'exposition plutôt simplistes utilisées dans les évaluations TVA de base, nous évaluons l'exposition spécifique des espèces sur la base des changements spatialement explicites dans la modélisation de l'adéquation climatique à partir des SDM corrélatifs et sur la base de multiples variables climatiques interagissant (voir méthodes dans la section 1, et Baker *et al.* (2015) pour la méthodologie complète et pour les estimations du changement de l'adéquation climatique pour les aires protégées et pour des espèces spécifiques).

Il est important de comprendre si l'intégration des valeurs de l'adéquation climatique dérivées des SDM dans les analyses basées sur les traits biologiques modifie nettement les projections de la vulnérabilité au changement climatique. Si les deux approches ne diffèrent pas, alors il y a peu de raisons d'opter pour la complexité statistique supplémentaire de produire des modèles SDM pour remplacer l'estimation la plus directe des anomalies climatiques présentes dans une distribution. Cette dernière approche rend les analyses TVA plus accessibles pour une application par des non-spécialistes, car elle ne demande pas de capacité de modélisation complexe. En revanche, si les deux approches diffèrent

considérablement, cela suggère fortement que les estimations les plus nuancées de l'adéquation climatique et du changement de l'adéquation, obtenues à partir des SDM, pourraient fournir des estimations affinées de l'exposition des différentes espèces au changement climatique. Nous présentons une exploration de la performance relative des TVA de base par rapport aux TVA modifiées en annexe 2.

La Figure 2.1 montre de manière conceptuelle comment les données SDM d'adéquation sont incorporées dans les analyses basées sur les traits biologiques.

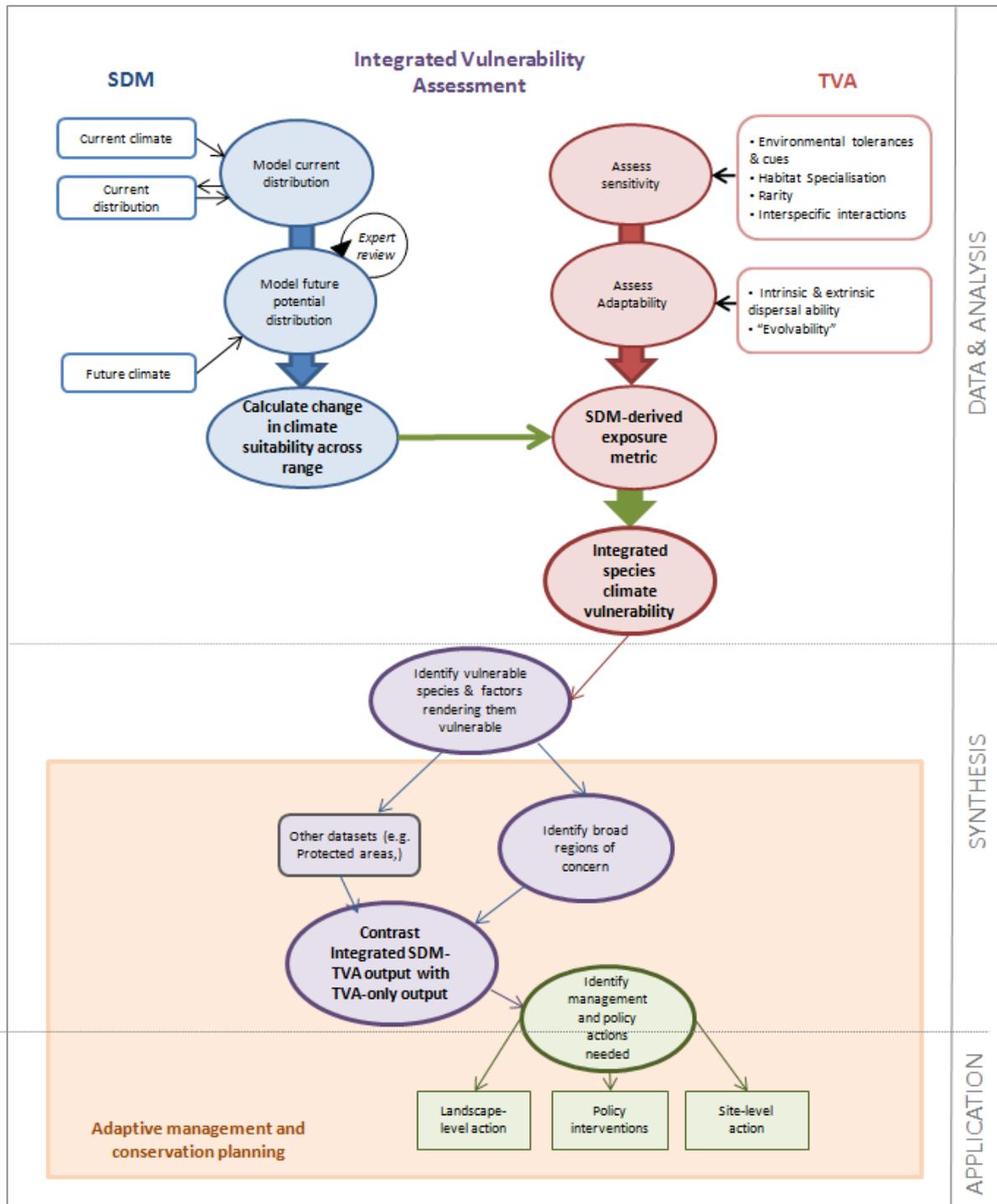


Figure 2.1. Modèle conceptuel démontrant les manières dont les données SDM ont été intégrées dans le cadre de modélisation des TVA et les liens vers son application ultérieure. Les flèches vertes et le texte en gras indique les composants du modèle influencés par l'approche intégrée. Figure adaptée de Willis *et al.* (2015).

a) Méthodes

Nous utilisons les estimations de l'exposition climatique dérivées des SDM comme un remplacement direct des mesures de base de l'exposition climatique utilisées dans les TVA de Carr *et al.* (2014). Si l'adéquation climatique moyenne modélisée augmente pour une espèce sur un site donné, celle-ci est classée comme ayant une faible exposition climatique, et si l'adéquation diminue, elle est classée comme ayant une exposition climatique plus élevée. Les deux autres types de traits de vulnérabilité (adaptabilité et sensibilité) sont utilisés exactement comme estimé par Carr *et al.* (2014), et les trois mesures sont combinées en utilisant la méthode de Carr *et al.* (2014) pour qualifier les espèces comme ayant une vulnérabilité climatique élevée ou faible (voir la section Méthodes ci-dessous pour plus de détails).

Pour chacune des espèces identifiées dans les TVA de Carr *et al.* (2014) comme ayant une vulnérabilité « élevée » au changement climatique, nous avons calculé la variation relative de l'adéquation climatique du modèle (à partir des SDM) pour chaque espèce dans chaque aire protégée dans laquelle elle se produit, comme suit:

$$CLIM\ Change\ i,j = \frac{CLIM_{Futur\ ij}}{CLIM_{Référence\ ij}}$$

Où $CLIM_{Futur}$ est l'adéquation climatique future de l'espèce i dans l'aire protégée j , et $CLIM_{Référence}$ est l'adéquation climatique actuelle de l'espèce i dans l'aire protégée j . Cela a été calculé pour chacune des 100 projections (5 blocs x 5 MRC x 4 MCG, ce qui représente une gamme d'incertitude). Lorsqu'il existe un consensus directionnel parmi les 100 projections (95% du quantile ne chevauchant pas l'unité), le changement directionnel en climat adéquat est considéré comme « probable » (voir Baker *et al.* 2015 pour plus de détails). Ce changement a été classifié soit comme une adéquation climatique « croissante », soit « décroissante ». Là où il n'y a pas de consensus directionnel, on a classifié cela de la mention « pas de consensus » (ou NC).

Nous supposons que si, au niveau des espèces au sein d'une AP, l'adéquation climatique est croissante, la vulnérabilité au changement climatique sera faible et, inversement, si l'adéquation climatique est décroissante, la vulnérabilité au changement climatique sera élevée. Par conséquent, cette approche permet aux espèces d'avoir

différentes catégories d'exposition climatique dans les différentes parties de leur aire de distribution, contrairement à la mesure de l'exposition des TVA initiales.

Nous avons ensuite calculé le pourcentage de concordance entre les espèces évaluées comme étant vulnérables au changement climatique selon l'analyse TVA et selon celle qui utilise le changement de l'adéquation climatique des SDM. S'inspirant de Carr *et al.* (2014), nous avons comparé ces évaluations catégoriques du changement local de l'adéquation climatique à l'évaluation de la vulnérabilité au changement climatique tirée des TVA en utilisant deux scénarios : 1) Un scénario du « pire des cas » où toutes les espèces classifiées comme NC dans la tendance directionnelle pour leur adéquation au climat dans une AP donnée sont considérées comme ayant une capacité d'adaptation décroissante ; et 2) un scénario du « Meilleur des cas » où toutes ces espèces sont considérées comme ayant une capacité l'adéquation croissante.

b) Résultats

Comparaison de la vulnérabilité climatique entre celle dérivée des mesures climatiques simples et celle dérivée des SDM

Comparée à l'évaluation de la vulnérabilité au changement climatique de Carr et al. (2014, Annexe 2), l'approche « TVA modifiée », qui intègre une modélisation de l'adéquation climatique spatialement explicite (Figure 2.2), montre moins d'espèces d'amphibiens vulnérables au changement climatique par site, mais plutôt, beaucoup plus d'espèces avec peu de consensus dans le degré auquel elles seraient vulnérables aux changements climatiques à venir, selon les projections climatiques futures.

La vulnérabilité climatique globale des oiseaux suivant l'approche « TVA modifiée » (Figure 2.3) suggère moins d'espèces vulnérables au climat que ne le montre l'analyse originale de Carr *et al.* (voir Annexe 2) dans les parties méridionales de la région, avec près de 70 espèces projetées de subir une baisse de leur capacité d'adaptation dans les aires protégées du Sud, par rapport à la projection de plus de 100 espèces dans l'analyse TVA originale. L'approche « TVA modifiée » a également indiqué un grand nombre d'espèces d'oiseaux pour lesquelles aucun consensus sur la vulnérabilité au changement climatique n'a pu être établi.

Le nombre d'espèces de mammifères considérées comme vulnérables par Carr *et al.* (2014) est dans l'ensemble similaire dans sa structure aux totaux découlant de l'approche « TVA modifiée » (Figure 2.4), mais, encore une fois, les totaux identifiés comme vulnérables dans les différentes AP sont plus faibles que ceux estimés par Carr *et al.* (2014). L'approche « TVA modifiée » souligne également moins de certitude (c.-à-d. absence de consensus) dans certaines parties du SE du Nigeria et dans les zones côtières du Ghana, de la Côte d'Ivoire et du Libéria, en comparaison à Carr *et al.* (Figure 2.4 vs. Annexe 2, Figure A2.4).

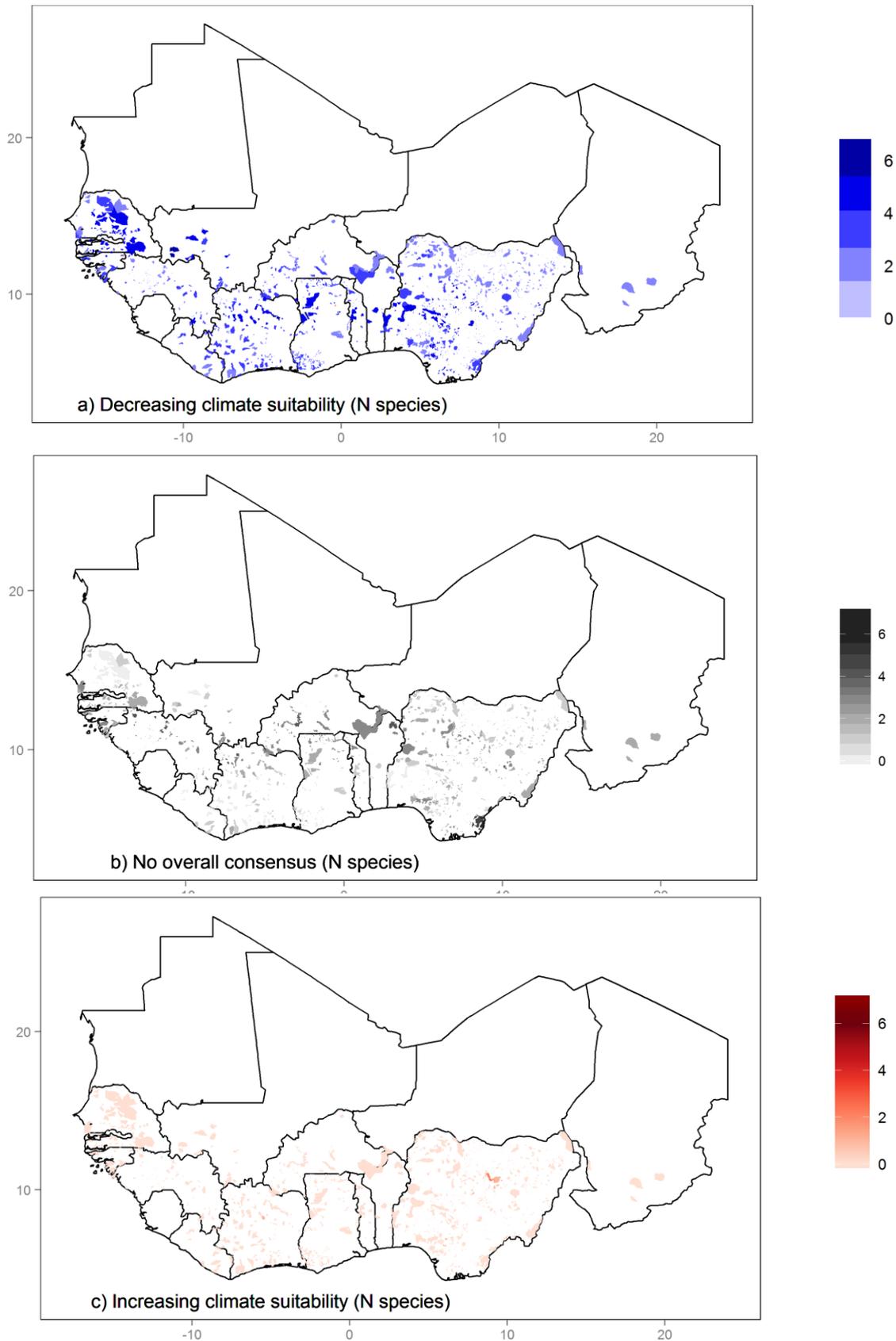


Figure 2.2. Nombre d'espèces d'amphibiens précédemment classifiées comme vulnérables au changement climatique par Carr et al. (2014) ayant été évaluées comme vulnérables au changement climatique d'ici 2041-2070 avec l'analyse « TVA modifiée »(voir texte). (a) montre le nombre d'espèces en situation d'adéquation climatique décroissante d'ici 2041-2070 dans chacune des aires protégées, (b) montre le nombre d'espèces n'ayant pas de consensus sur l'impact climatique futur et (c) montre le nombre d'espèces pour lesquelles l'adéquation climatique est croissante dans les aires protégées.

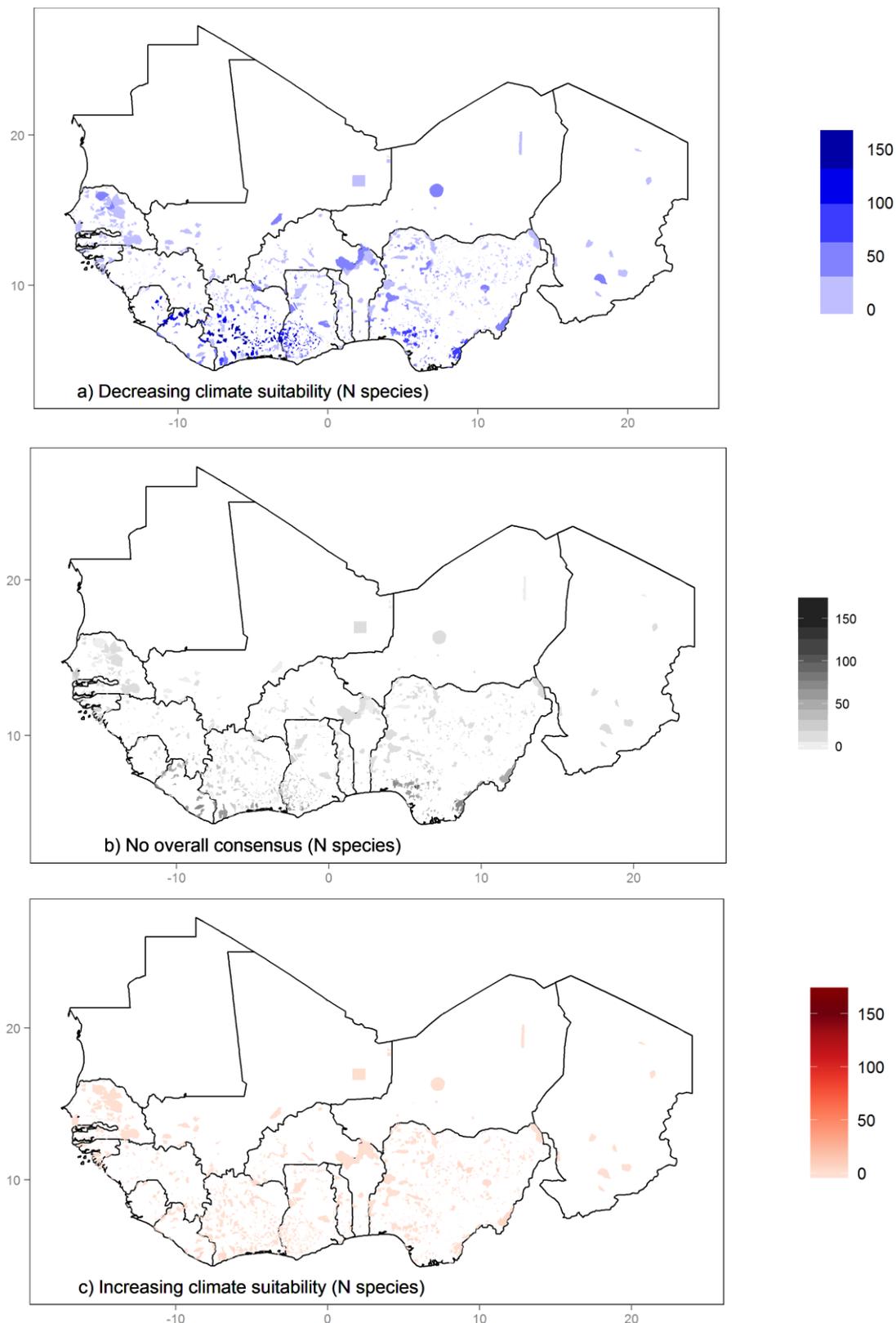


Figure 2.3. Nombre d'espèces d'oiseaux précédemment classifiées comme vulnérables au changement climatique par Carr et al. (2014) ayant été évaluées comme vulnérables au changement climatique d'ici 2041-2070 avec l'analyse « TVA modifiée »(voir texte). (a) montre le nombre d'espèces en situation d'adéquation climatique décroissante d'ici 2041-2070 dans chacune des aires protégées, (b) montre le nombre d'espèces n'ayant pas de consensus sur l'impact climatique futur et (c) montre le nombre d'espèces pour lesquelles l'adéquation climatique est croissante dans les aires protégées.

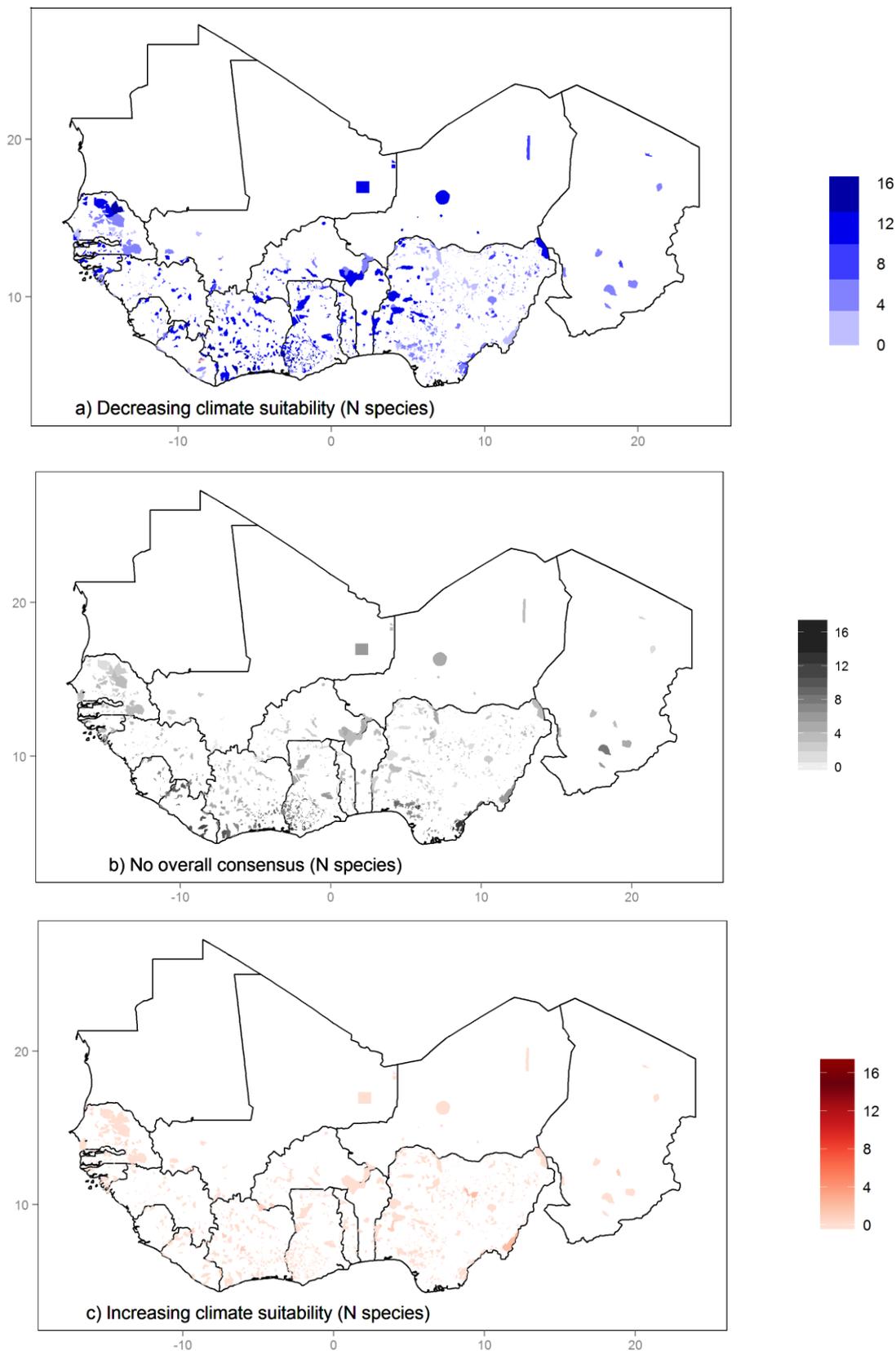


Figure 2.4. Nombre d'espèces de mammifères précédemment classifiées comme vulnérables au changement climatique par Carr et al. (2014) ayant été évaluées comme vulnérables au changement climatique d'ici 2041-2070 avec l'analyse « TVA modifiée »(voir texte). (a) montre le nombre d'espèces en situation d'adéquation climatique décroissante d'ici 2041-2070 dans chacune des aires protégées, (b) montre le nombre d'espèces n'ayant pas de consensus sur l'impact climatique futur et (c) montre le nombre d'espèces pour lesquelles l'adéquation climatique est croissante dans les aires protégées.

4. Combinaison des traits biologiques et des modèles de distribution des espèces pour informer la gestion future : Utilisation des traits pour affiner les projections des modèles de distribution des espèces (« SDM modifiée »)

a) Méthodes

Afin d'intégrer les traits biologiques dans les SDM, un processus que nous appelons « modélisation spatiale avec les traits », nous avons adopté un processus en deux étapes, inspiré de Willis *et al.* (2015). Premièrement, pour les caractères quantitatifs qui peuvent être considérés dans le cadre de la modélisation dynamique, nous avons combiné ces traits dans un SDM dynamique. Les traits pertinents pouvant être considérés de cette manière, à partir des données disponibles pour les espèces d'Afrique de l'Ouest, incluent la durée de la génération et les distances de dispersion natales (qui étaient uniquement disponibles pour les oiseaux). Deuxièmement, pour les caractères qualitatifs ne pouvant pas être facilement incorporés dans un cadre de modélisation pour la plupart des espèces, nous avons entrepris une analyse post-hoc sur les résultats des SDM pour identifier les espèces qui pourraient être affectées par des facteurs qui ne sont pas pris en compte dans les SDM dynamiques. Pour compléter ce second processus, nous avons utilisé les résultats des deux SDM, dynamique et statique, pour informer les questions fournies dans le diagramme de la Figure 3.1. Les SDM statiques renseignent Q1 dans le diagramme, et les SDM dynamiques renseignent Q2. La comparaison des SDM statiques et dynamiques renseigne Q3. Q4 est renseigné par l'examen post-hoc des traits individuels des espèces, et Q5 par un examen des traits et de l'apparition d'interaction entre des espèces et/ou des habitats. Dans la Figure 2.1, nous pouvons également identifier les grands objectifs de gestion pour les espèces individuelles.

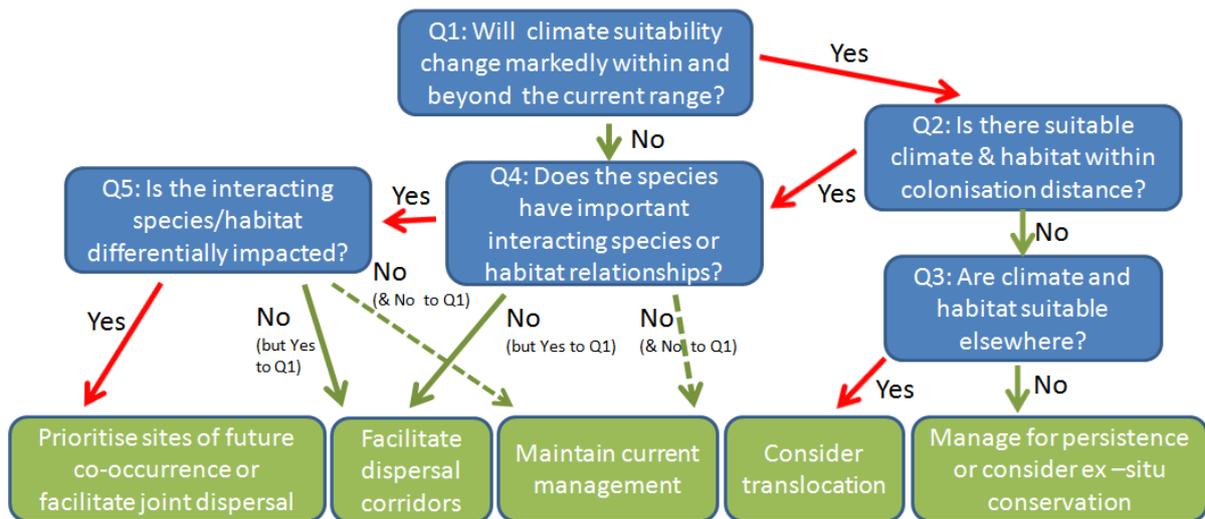


Figure 3.1 Diagramme démontrant le potentiel d'intégration des approches SDM et TVA dans la pratique. Les boîtes bleues sont des questions auxquelles répondent les données SDM et TVA; les modèles intégrés SDM-TVA répondent aux questions Q1-Q3 ; et les considérations post-hoc des traits répondent aux questions Q4-Q5. Les boîtes vertes indiquent les mesures de gestion à envisager qui en résultent, en plus de la gestion continue au sein de l'aire de distribution actuelle [Tirée de Willis *et al.* 2015].

La Figure 3.2 ci-dessous, adaptée de Willis *et al.* (2015), démontre schématiquement comment les données sur les traits ont été incorporées dans le processus des SDM et, dans la première étape de la synthèse, comment les traits sont alors considérés comme post-modélisation pour fournir de plus amples informations sur les espèces qui sont préoccupantes pour la conservation.

Les résultats du diagramme de la Figure 3.1 pourraient fournir une approche alternative de classification des espèces en termes de vulnérabilité élevée au changement climatique par rapport aux approches TVA habituelles (par exemple Carr *et al.* 2014). L'action de gestion intitulée « maintenir la gestion actuelle » reflète une faible vulnérabilité. Les deux mesures de gestion intitulées « prioriser les sites de cooccurrence, ou faciliter la dispersion conjointe » et « faciliter les corridors de dispersion » peuvent être considérées comme le reflet d'une vulnérabilité intermédiaire des espèces, tandis que les espèces dont les résultats du diagramme portent les mentions « envisager la translocation » ou « gérer la persistance ... » peuvent être considérées comme faisant objet de la vulnérabilité la plus élevée.

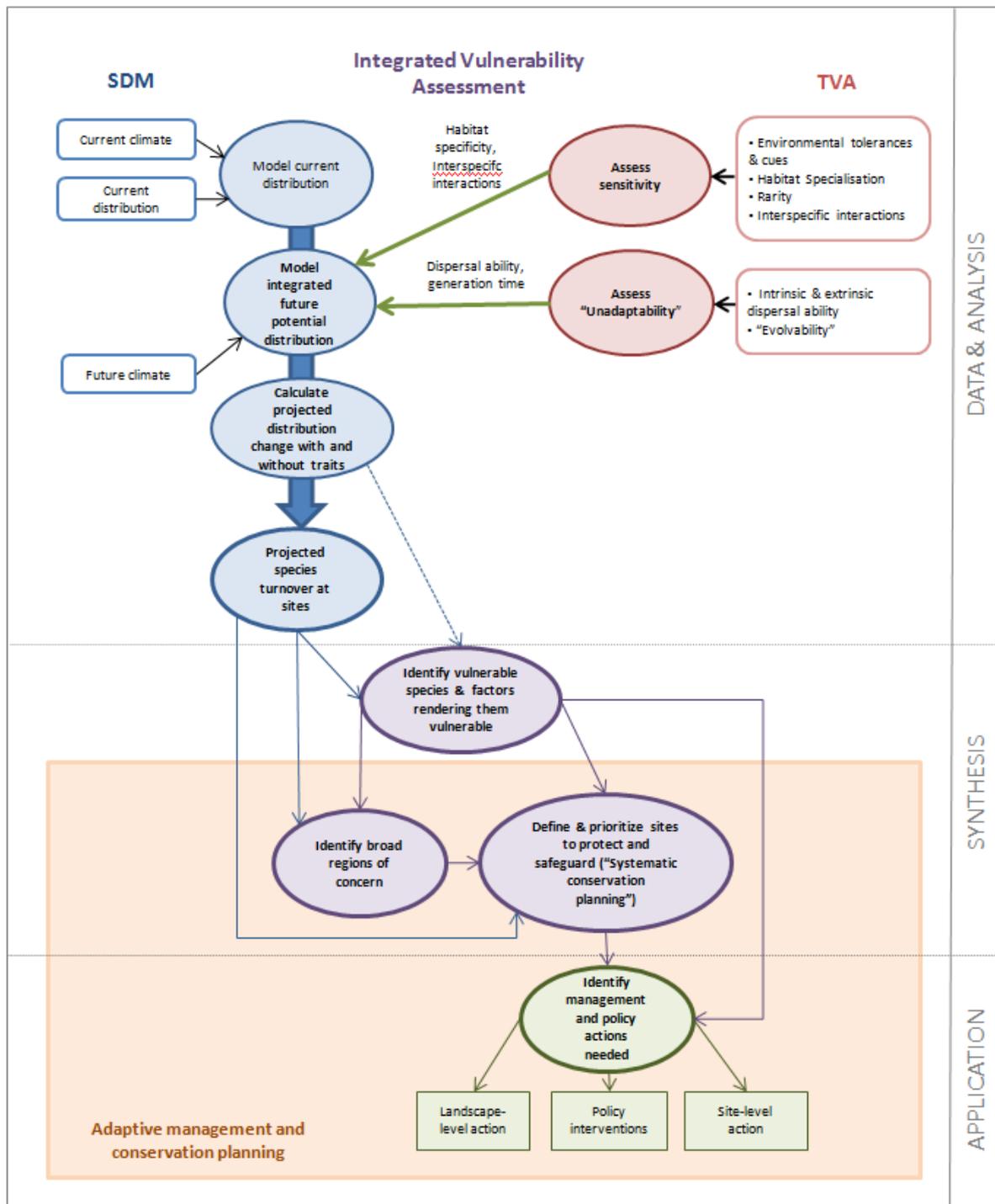


Figure 3.2. Modèle conceptuel démontrant les manières dont les données SDM ont été intégrées dans le cadre de modélisation des TVA et les liens vers son application ultérieure. Les flèches vertes et le texte en gras indique les composantes du modèle influencées par l'approche intégrée. Figure adaptée de Willis *et al.* (2015).

Nous avons utilisé les règles algorithmiques suivantes pour dicter l'affectation des espèces à travers les questions du diagramme de la Figure 3.1 :

Q1) Afin d'évaluer si l'adéquation climatique va changer de façon marquée à l'intérieur et au-delà de l'aire de distribution actuelle d'une espèce : Toute espèce qui est projetée soit de

perdre >10% de son aire de distribution actuelle, soit de gagner >10% de son aire de distribution actuelle a reçu un « Oui » à Q1.

Q2) Pour évaluer s'il y avait un climat adéquat et un habitat dans la zone de colonisation d'une espèce, nous avons attribué à l'espèce un « Oui » à Q2 si le gain projeté de l'aire de distribution sous l'effet de la dispersion était > 10% de son aire de distribution actuelle.

Q3) Pour répondre à Q3 de la Figure 3.1 et évaluer si le climat et l'aire de distribution sont adaptés ailleurs pour une espèce, nous classifions l'espèce dans trois groupes (Q3_{perte}, Q3_{inoccupé} et Q3_{Maintien}) en utilisant les algorithmes suivants:

i) Q3_{perte} = Après la dispersion, y a-t-il toujours plus de pertes que de gains (> 5% pour servir de tampon contre de très petites différences);

ii) Q3_{inoccupé} = Après la dispersion, y a-t-il toujours des zones non colonisées mais adéquates (> 5% de l'étendue moyenne occupée par la dispersion future, pour servir de tampon contre de très petites différences);

iii) Q3_{Maintien} = Si l'espèce pouvait remplir l'espace approprié disponible, par tout moyen, l'étendue de son aire de distribution actuelle pourrait-elle au moins être maintenue ? (> 5% de l'étendue moyenne occupée par la dispersion future, pour servir de tampon contre de très petites différences).

En outre, étant donné la complexité de répondre aux questions 4 et 5 de la Figure 3.1 (voir Willis *et al.* 2015 pour des exemples), nous avons mis en évidence les espèces qui, selon les prévisions, vont transférer leur aire de distribution dans les zones qui sont actuellement dominées par un biome différent de celui/ceux où elles se trouvent actuellement. Cette approche présuppose que l'espèce se limite à un biome particulier à cause de la combinaison des espèces/caractéristiques de ce biome. Elle suppose également que le biome (généralement basé sur les types d'espèces de plantes dominantes sous-jacentes) sera moins en mesure de répondre aux changements du climat qu'une espèce d'oiseaux individuelle. Par exemple, en utilisant cette mesure, nous allons classifier comme étant particulièrement sensible une espèce obligatoire des forêts tropicales dont l'aire de distribution future adéquate s'étend dans le biome de savane. En revanche, si l'aire de distribution future d'une espèce obligatoire des forêts s'étend jusqu'à une zone de forêt tropicale qui est actuellement inoccupée, nous supposons que cette extension de l'aire de distribution est moins

susceptible d'être limitée par les effets des interactions importantes entre les espèces/habitats.

Nous utilisons ces approches pour résumer le nombre d'espèces faisant l'objet d'une préoccupation de conservation qui nécessiteront diverses pratiques de gestion à l'avenir. En outre, nous identifions un sous-ensemble d'espèces qui pourraient disparaître en Afrique de l'Ouest à l'avenir, à moins qu'une colonisation assistée ne soit envisagée. Nous fournissons également des cartes montrant les changements potentiels dans les aires de distribution des espèces importantes pour la conservation comme des Figures supplémentaires.

b) Résultats

Les modifications projetées des aires de distribution dans le cadre du changement climatique futur, après avoir pris en compte des traits tels que la capacité de dispersion, la durée d'une génération et l'âge de la première reproduction, en plus de la capacité d'adaptation climatique, étaient très variables. Dans l'annexe 1, nous illustrons des exemples typiques de certaines des réponses avec un tableau qui met en évidence les espèces qui pourraient potentiellement être considérées comme des candidates à la colonisation assistée pour maintenir d'importantes populations ouest-africaines.

La Figure 3.3, ci-dessous, résume, en utilisant le diagramme de la Figure 3.1, les stratégies de gestion dominantes qui sont susceptibles d'être les plus bénéfiques pour les espèces d'oiseaux présentant un intérêt pour la conservation en Afrique de l'Ouest, sur la base de l'examen des espèces individuelles issu de SDM statiques et dynamiques. Environ la moitié des espèces bénéficieront des efforts de conservation qui facilitent leur capacité naturelle à modifier leur aire de distribution afin de suivre le climat (sans interventions plus directes, telles que la colonisation assistée). Environ 40% des espèces bénéficieront d'une attention particulière sur la gestion des sites au sein de leur aire de distribution où ils devraient persister. Surtout, environ 15% des espèces bénéficieront de ces deux activités de gestion (barre violette ci-dessous). Une plus petite proportion (environ 15% des espèces) sera gérée plus efficacement par le maintien de la gestion actuelle au sein de leur aire de distribution (c.à.d. que des opportunités limitées d'expansion ou un risque de déclin existent), bien que cela ne prenne pas en compte la possibilité que des espèces clés dont ces

espèces dépendent déplacent leur aire de distribution. La colonisation assistée a été considérés comme l'un des objectifs clés de gestion future à envisager pour une petite proportion des espèces considérées (9%), ce qui suggère que cela pourrait devenir une nouvelle option de gestion à envisager en Afrique de l'Ouest dans l'avenir.

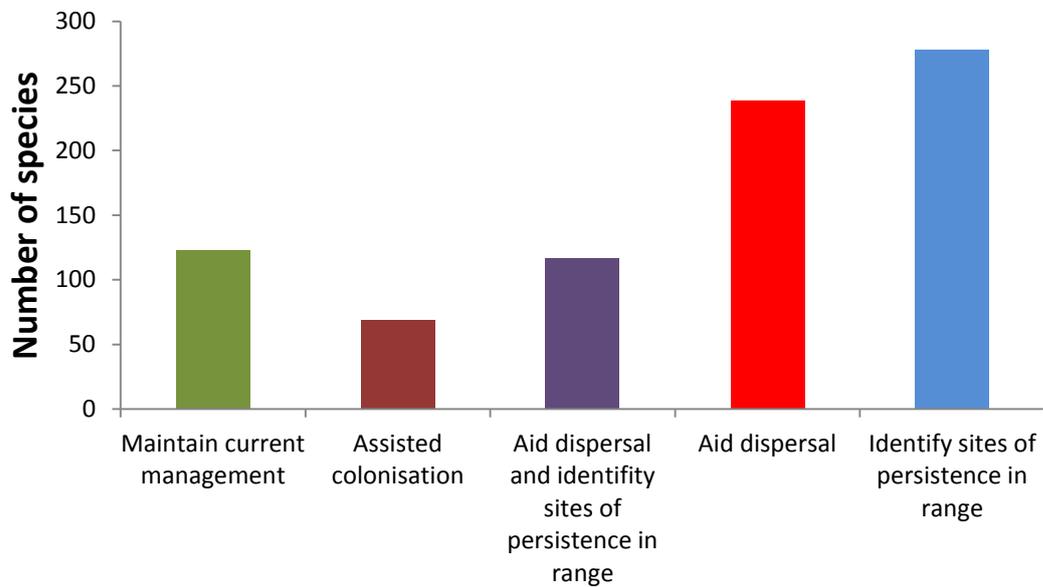


Figure 3.3. Résumé des principales stratégies de gestion nécessaires à la gestion des espèces d'oiseaux importantes pour la conservation à travers l'Afrique de l'Ouest. Pour la plupart des espèces, la stratégie de gestion dominante (en plus de maintenir la gestion actuelle au sein de l'aire de distribution) qui facilitera la plus grande extension de l'aire de distribution est présentée, avec jusqu'à trois activités de gestion sélectionnées pour les espèces nécessitant de multiples options de gestion dans différentes parties de leur aire de distribution. Le choix de la catégorie « maintenir la gestion actuelle » indique qu'aucune gestion supplémentaire n'est nécessaire pour maintenir la population. Les espèces pour lesquelles la stratégie de gestion est « identification de sites de persistance dans l'aire de distribution » sont celles pour lesquelles la capacité d'adaptation future au sein de l'aire de distribution actuelle est variable.

5. Conclusions

Les deux différentes approches adoptées ici (« SDM modifiée » et « TVA modifiée ») mettent toutes les deux en évidence le bénéfice pouvant être acquis à partir de l'intégration des données sur les traits biologiques dans les SDM et vice versa. L'intégration des données sur les traits biologiques dans les SDM fournit une meilleure compréhension des stratégies de gestion qui pourraient aider les espèces à faire face au changement climatique projeté, tandis que l'intégration de la modélisation de l'adéquation climatique spécifique à chaque espèce dans l'analyse TVA permet non seulement l'estimation des projections spécifiques à chaque site des risques liés au changement climatique pour les espèces individuelles, mais ces TVA affinées peuvent également identifier différents groupes d'espèces comme étant vulnérables au changement climatique.

L'incorporation de traits dans les SDM dynamiques ainsi que des considérations de gestion post-hoc offrent des possibilités importantes pour que les plans de gestion de sites individuels puissent être adaptés aux mouvements de chaque espèce du fait du changement climatique. Nous démontrons ici que pour la plupart des espèces d'oiseaux d'Afrique de l'Ouest (les seuls taxons pour lesquels nous avons des données sur les traits biologiques suffisantes pour entreprendre une telle évaluation), les options de gestion principales qui permettront de maximiser la présence d'espèces importantes pour la conservation seront de faciliter la dispersion naturelle des espèces de leur aire de distribution actuelle vers les zones de climat adéquat dans le futur, ou d'identifier des sites de climat adéquat persistants au sein de leur aire de distribution actuelle. Des sites refuges au sein de des aires de distribution actuelles et des zones potentielles d'expansion de la population peuvent être identifiés à partir des SDM qui intègrent les traits biologiques des espèces. Les cartes pour toutes les espèces d'oiseaux d'Afrique de l'Ouest importantes pour la conservation ont été produites pour leur aire de distribution africaine (données supplémentaires pouvant être fournies sur demande). La gestion basée sur la facilitation de ces deux réponses au changement climatique (retrait ou déplacement des aires de distribution) constitue la recommandation la plus courante pour les espèces d'oiseaux d'Afrique de l'Ouest. On s'attend à ce qu'une plus petite proportion des espèces (environ 100 espèces) persistent dans leur aire de distribution actuelle avec des changements limités en raison du changement climatique. Pour une proportion encore plus petite (environ 60 espèces) le climat adéquat devient si limité au sein l'aire de distribution actuelle et dans la zone de colonisation naturelle que la colonisation assistée pourrait être considérée comme une stratégie de conservation. Dans l'ensemble, nous constatons que les meilleures stratégies de gestion pour la majorité des espèces d'oiseaux examinées dans cette étude sont de faciliter leurs mouvements vers de nouvelles aires face

au changement du climat et, pour les espèces dont la projection de mouvement est limitée, de mettre en place (ou de continuer) une gestion de haute qualité sur les sites à l'intérieur de leur aire de distribution actuelle qui devraient rester climatiquement adéquats.

6. Références

- ARAUJO, M. B., THUILLER, W. & PEARSON, R. G. 2006. Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *Journal of Biogeography*, 33, 1712-1728.
- BAGCHI, R., CROSBY, M., HUNTLEY, B., HOLE, D. G., BUTCHART, S. H. M., COLLINGHAM, Y., KALRA, M., RAJKUMAR, J., RAHMANI, A., PANDEY, M., GURUNG, H., TRAI, L. T., VAN QUANG, N. & WILLIS, S. G. 2013. Evaluating the effectiveness of conservation site networks under climate change: accounting for uncertainty. *Global Change Biology*, 19, 1236-1248.
- BAKER, D. J., HARTLEY, A. J., BURGESS, N. D., BUTCHART, S. H. M., CARR, J. A., SMITH, R. J., BELLE, E. & WILLIS, S. G. 2015. Assessing climate change impacts for vertebrate fauna across the West African protected area network using regionally appropriate climate projections. *Diversity and Distributions*, in press.
- BARBET-MASSIN, M. & JETZ, W. 2014. A 40-year, continent-wide, multispecies assessment of relevant climate predictors for species distribution modelling. *Diversity and Distributions*, 20, 1285-1295.
- BEAUMONT, L. J. & HUGHES, L. 2002. Potential changes in the distributions of latitudinally restricted Australian butterfly species in response to climate change. *Global Change Biology*, 8, 954-971.
- BENNING, T. L., LAPOINTE, D., ATKINSON, C. T. & VITOUSEK, P. M. 2002. Interactions of climate change with biological invasions and land use in the Hawaiian Islands: Modeling the fate of endemic birds using a geographic information system. *Proceedings of the National Academy of Science*, 99, 14246-14249.
- BIRDLIFE-INTERNATIONAL & NATURESERVE 2013. Bird species distribution maps of the world. Version 3.0. Cambridge, UK and NatureServe, Arlington, USA: BirdLife International.
- BUONTEMPO, C., MATHISON, C., JONES, R., WILLIAMS, K., WANG, C. & MCSWEENEY, C. 2014. An ensemble climate projection for Africa. *Climate Dynamics*, 1-22.
- BUTCHART, S. H. M., WALPOLE, M., COLLEN, B., VAN STRIEN, A., SCHARLEMANN, J. P. W., ALMOND, R. E. A., BAILLIE, J. E. M., BOMHARD, B., BROWN, C., BRUNO, J., CARPENTER, K. E., CARR, G. M., CHANSON, J., CHENERY, A. M., CSIRKE, J., DAVIDSON, N. C., DENTENER, F., FOSTER, M., GALLI, A., GALLOWAY, J. N., GENOVESI, P., GREGORY, R. D., HOCKINGS, M., KAPOS, V., LAMARQUE, J.-F., LEVERINGTON, F., LOH, J., MCGEOCH, M. A., MCRAE, L., MINASYAN, A., MORCILLO, M. H., OLDFIELD, T. E. E., PAULY, D., QUADER, S., REVENGA, C., SAUER, J. R., SKOLNIK, B., SPEAR, D., STANWELL-SMITH, D., STUART, S. N., SYMES, A., TIERNEY, M., TYRRELL, T. D., VIE, J.-C. & WATSON, R. 2010. Global Biodiversity: Indicators of Recent Declines. *Science*, 328, 1164-1168.
- CARR, J. A., HUGHES, A. F. & FODEN, W. B. 2014. A Climate Change Vulnerability Assessment of West African Species. UNEP-WCMC Technical Report. Cambridge, UK.
- CARR, J. A., OUTHWAITE, W. E., GOODMAN, G. L., OLDFIELD, T. E. E. & FODEN, W. B. 2013. Vital but vulnerable: Climate change vulnerability and human use of wildlife in Africa's Albertine Rift. *Occasional Paper of the IUCN Species Survival Commission No. 48*. Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN, .
- CHIN, A., KYNE, P., WALKER, T. I. & MCAULEY, R. B. 2010. An integrated risk assessment for climate change: analysing the vulnerability of sharks and rays on Australia's Great Barrier Reef. *Global Change Biology*, 16, 1936-1953.
- CONLISK, E., SYPHARD, A. D., FRANKLIN, J., FLINT, L., FLINT, A. & REGAN, H. 2013. Uncertainty in assessing the impacts of global change with coupled dynamic species distribution and population models. *Global Change Biology*, 19, 858-869.
- DAWSON, T. P., JACKSON, S. T., HOUSE, J. I., PRENTICE, I. C. & MACE, G. M. 2011. Beyond predictions: biodiversity conservation in a changing climate. *Science*, 332, 53-58.
- FODEN, W. B., BUTCHART, S. H. M., STUART, S. N., VIÉ, J.-C., AKÇAKAYA, H. R., ANGULO, A., DEVANTIER, L. M., GUTSCHE, A., TURAK, E., CAO, L., DONNER, S. D., V.KATARIYA, BERNARD, R., HOLLAND, R. A., HUGHES, A. F., O'HANLON, S. E., GARNETT, S. T., ŞEKERCIOĞLU, Ç. H. &

- MACE, G. M. 2013. Climate change susceptibility of the world's birds, amphibians and corals. *PLoS One*, 8, :e65427.
- GAME, E. T., LIPSETT-MOORE, G., SAXON, E., PETERSON, N. & SHEPPARD, S. 2011. Incorporating climate change adaptation into national conservation assessments. *Global Change Biology*, 17, 3150-3160.
- GARCIA, R. A., ARAÚJO, M. B., BURGESS, N. D., FODEN, W. B., GUTSCHE, A., RAHBK, C. & CABEZA, M. 2014. Matching species traits to projected threats and opportunities from climate change. *Journal of Biogeography*, 41, 724-735.
- GARDALI, T., SEAVY, N. E., DIGAUDIO, R. T. & COMRACK, L. A. 2012. A climate change vulnerability assessment of California's at-risk birds. *PLoS One*, 7, e29507.
- GIORGI, F., JONES, C. & ASRAR, G. R. 2009. Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. *WMO Bulletin*, 58, 175-183.
- GRAHAM, N. A. J., CHABANET, P., EVANS, R. D., JENNINGS, S., LETOURNEUR, Y., MACNEIL, M. A., MCCLANAHAN, T. R., OHMAN, M. C., POLUNIN, N. V. C. & WILSON, S. K. 2011. Extinction vulnerability of coral reef fishes. *Ecology Letters*, 14, 341-348.
- HARRISON, P. A., BERRY, P. M., BUTT, N. & NEW, M. 2006. Modelling climate change impacts on species' distributions at the European scale: implications for conservation policy. *Environmental Science & Policy*, 9, 116-128.
- HARTLEY, A.J., JONES, R. and JANES, T. 2015. Projections of change in ecosystem services under climate change. UNEP-WCM Technical Report.
- HOF, C., ARAUJO, M. B., JETZ, W., RAHBK, C. & : 2011. Additive threats from pathogens, climate and land-use change for global amphibian diversity. *Nature*, 480, 516-519.
- HOLE, D. G., HUNTLEY, B., ARINAITWE, J., BUTCHART, S. H. M., COLLINGHAM, Y. C., FISHPOOL, L. D. C., PAIN, D. J. & WILLIS, S. G. 2011. Toward a Management Framework for Networks of Protected Areas in the Face of Climate Change. *Conservation Biology*, 25, 305-315.
- HUNTLEY, B., COLLINGHAM, Y. C., WILLIS, S. G. & GREEN, R. E. 2008. Potential Impacts of Climatic Change on European Breeding Birds. *Plos One*, 3.
- IPCC 2007. *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, UK, and New York, NY, USA., Cambridge University Press.
- IUCN 2014. The IUCN Red List of Threatened Species. *Version 2014.2*.
- JENSEN, R. A., MADSEN, J., O'CONNELL, M., WISZ, M. S., TOMMERVIK, H. & MEHLUM, F. 2008. Prediction of the distribution of Arctic-nesting pink-footed geese under a warmer climate scenario. *Global Change Biology*, 14, 1-10.
- JONES, R. G., NOGUER, M., HASSELL, D. C., HUDSON, D., WILSON, S. S., JENKINS, G. J. & MITCHELL, J. F. B. 2004. Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS. Exeter, UK: Met Office Hadley Centre.
- KEARNEY, M. & PORTER, W. 2009. Mechanistic niche modelling: combining physiological and spatial data to predict species' ranges. *Ecology Letters*, 12, 334-350.
- LADLE, R. J., WHITTAKER, R. J., WATSON, J. E. M., GRANTHAM, H. S., WILSON, K. A. & POSSINGHAM, H. P. 2011. Systematic conservation planning: past, present and future. In: LADLE, R. J. & WHITTAKER, R. J. (eds.) *Conservation Biogeography*. Oxford, UK: Blackwells.
- MARGULES, C. R. & PRESSEY, R. L. 2000. Systematic conservation planning. *Nature*, 405, 243-253.
- MCSWEENEY, C. F., JONES, R. G. & BOOTH, B. B. B. 2012. Selecting Ensemble Members to Provide Regional Climate Change Information. *Journal of Climate*, 25, 7100-7121.
- MIDGLEY, G. F., HANNAH, L., MILLAR, D., RUTHERFORD, M. C. & POWRIE, L. W. 2002. Assessing the vulnerability of species richness to anthropogenic climate change in a biodiversity hotspot. *Global Ecology and Biogeography*, 11, 445-451.
- MOILANEN, A., WILSON, K. A. & POSSINGHAM, H. P. 2009. *Spatial Conservation Prioritization: Quantitative Methods and Computational Tools*, Oxford, UK, Oxford University Press.
- PACIFICI, M., FODEN, W. B., VISCONTI, P., WATSON, J. F. M., BUTCHART, S. H. M., KOVACS, K. M., SCHEFFERS, B. R., HOLE, D. G., MARTIN, T. G., AKCAKAYA, H. R., CORLETT, R. T., HUNTLEY, B., BICKFORD, D., CARR, J. A., HOFFMANN, A. A., MIDGLEY, G. F., PEARCE-KELLY, P., PEARSON, R.

- G., WILLIAMS, S. E., WILLIS, S. G., YOUNG, B. & RONDININI, C. 2015. Assessing species vulnerability to climate change. *Nature Climate Change*, 5, 215-225.
- PARMESAN, C. & YOHE, G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421, 37-42.
- PEARSON, R. G. & DAWSON, T. P. 2004. Bioclimate envelope models: what they detect and what they hide - response to Hampe (2004). *Global Ecology and Biogeography*, 13, 471-473.
- PHILLIPS, S. J., ANDERSON, R. P. & SCHAPIRE, R. E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231-259.
- ROWLAND, E. L., DAVISON, J. E. & GRAUMLICH, L. J. 2011. Approaches to Evaluating Climate Change Impacts on Species: A Guide to Initiating the Adaptation Planning Process. *Environmental Management*, 47, 322-337.
- SALA, O. E., CHAPIN, F. S., ARMESTO, J. J., BERLOW, E., BLOOMFIELD, J., DIRZO, R., HUBER-SANWALD, E., HUENNEKE, L. F., JACKSON, R. B., KINZIG, A., LEEMANS, R., LODGE, D. M., MOONEY, H. A., OESTERHELD, M., POFF, N. L., SYKES, M. T., WALKER, B. H., WALKER, M. & WALL, D. H. 2000. Biodiversity - Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287, 1770-1774.
- SECRETARIAT OF THE CBD 2010. *Global Biodiversity Outlook 3*, Montréal.
- SEO, C., THORNE, J. H., HANNAH, L. & THUILLER, W. 2009. Scale effects in species distribution models: implications for conservation planning under climate change. *Biology Letters*, 5, 39-43.
- SINCLAIR, S. J., WHITE, M. D. & NEWELL, G. R. 2010. How Useful Are Species Distribution Models for Managing Biodiversity under Future Climates? *Ecology and Society*, 15, e-article 8.
- SMITH, R.J. 2013. A Gap Analysis of Climate Change Resilience Areas: A Preliminary Study. UNEP-WCMC technical report.
- SYLLA, M. B., GIORGI, F., COPPOLA, E. & MARIOTTI, L. 2013. Uncertainties in daily rainfall over Africa: assessment of gridded observation products and evaluation of a regional climate model simulation. *International Journal of Climatology*, 33, 1805-1817.
- THOMAS, C. D., CAMERON, A., GREEN, R. E., BAKKENES, M., BEAUMONT, L. J., COLLINGHAM, Y. C., ERASMUS, B. F. N., DE SIQUEIRA, M. F., GRAINGER, A., HANNAH, L., HUGHES, L., HUNTLEY, B., VAN JAARVELD, A. S., MIDGLEY, G. F., MILES, L., ORTEGA-HUERTA, M. A., PETERSON, A. T., PHILLIPS, O. L. & WILLIAMS, S. E. 2004. Extinction risk from climate change. *Nature*, 427, 145-148.
- THOMAS, C. D., HILL, J. K., ANDERSON, B. J., BAILEY, S., BEALE, C. M., BRADBURY, R. B., BULMAN, C. R., CRICK, H. Q. P., EIGENBROD, F., GRIFFITHS, H. M., KUNIN, W. E., OLIVER, T. H., WALMSLEY, C. A., WATTS, K., WORSFOLD, N. T. & YARDLEY, T. 2011. A framework for assessing threats and benefits to species responding to climate change. *Methods in Ecology and Evolution*, 2, 125-142.
- WIENS, J. A., STRALBERG, D., JONGSOMJIT, D., HOWELL, C. A. & SNYDER, M. A. 2009. Niches, models, and climate change: Assessing the assumptions and uncertainties. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106, 19729-19736.
- WILLIAMS, S. E., SHOO, L. P., ISAAC, J. L., HOFFMANN, A. A. & LANGHAM, G. 2008. Towards an Integrated Framework for Assessing the Vulnerability of Species to Climate Change. *Plos Biology*, 6, 2621-2626.
- WILLIS, S. G., FODEN, W., BAKER, D. J., BELLE, E., BURGESS, N. D., CARR, J. A., DOSWALD, N., GARCIA, R. A., HARTLEY, A., HOF, C., NEWBOLD, T., RAHBEK, C., SMITH, R. J., VISCONTI, P., YOUNG, B. & BUTCHART, S. H. M. 2015. Integrating climate change vulnerability assessments from Species Distribution Models and Trait-based Approaches *Biological Conservation*, in press.
- WWF 2014. Living Planet report 2014: species and spaces, people and places. In: MCLELLAN, R., IYENGAR, L., JEFFRIES, B. & OERLEMANS, N. (eds.).
- YOUNG, B., BYERS, E., GRAVUER, K., HALL, K., HAMMERSON, G. & REDDER, A. 2011. Guidelines for Using the NatureServe Climate Change Vulnerability Index. Release 2.1. April 2011. https://connect.natureserve.org/sites/default/files/documents/Guidelines_NatureServeClimateChangeVulnerabilityIndex_r2.1_Apr2011.pdf.

Annexe 1. Exemples d'impacts du changement climatique sur la distribution possible future des espèces d'oiseaux d'Afrique de l'Ouest importantes pour la conservation

Pour certaines espèces (ex: *Campephaga oriolina*, Figure A1.1), les projections montrent que la quasi-totalité de la région où ils se trouvent actuellement en Afrique de l'Ouest va devenir inadaptée, et leur maintien peut dépendre de la colonisation assistée d'autres aires devenant climatiquement adéquates. Les projections montrent que d'autres espèces vont perdre une grande partie de leur aire de distribution en Afrique de l'Ouest (ex: *Jubula lettii*, Figure A1.2) mais sans aucune zone climatiquement adéquate au-delà de leurs capacités de dispersion. Pour ces espèces, il faut mettre la priorité sur leur conservation dans les petites aires qui sont projetées de rester adéquates.

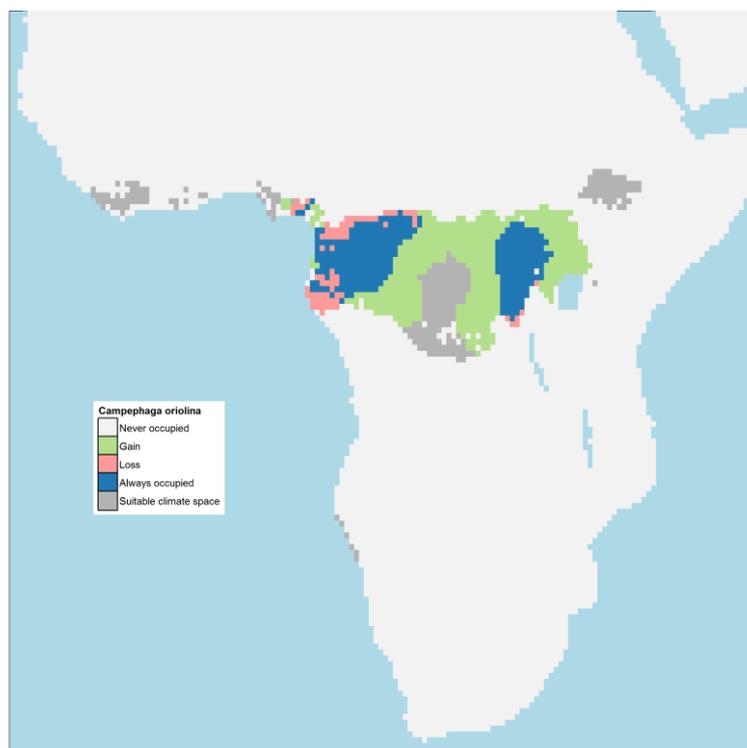


Figure A1.1. Le changement projeté dans l'étendue de l'aire de distribution de *Campephaga oriolina*, montrant une réduction marquée de l'aire de distribution en Afrique de l'Ouest, certaines importantes zones d'aires de distribution climatiquement adaptées dans certaines parties du Liberia et de la Côte d'Ivoire sont au-delà des capacités de dispersion de cette espèce. Dans la légende de la Figure, « toujours occupé » indique une adéquation climatique dans les périodes actuelles et futures. « Gains » indique les zones d'adéquation climatique dans la capacité de la colonisation pour la période donnée, et « pertes » indiquent la perte d'adéquation climatique entre la période actuelle et future. « Espaces de climat adapté » indique les zones qui deviennent nouvellement climatiquement adéquates dans le futur mais qu'une espèce est incapable de coloniser dans la période considérée.

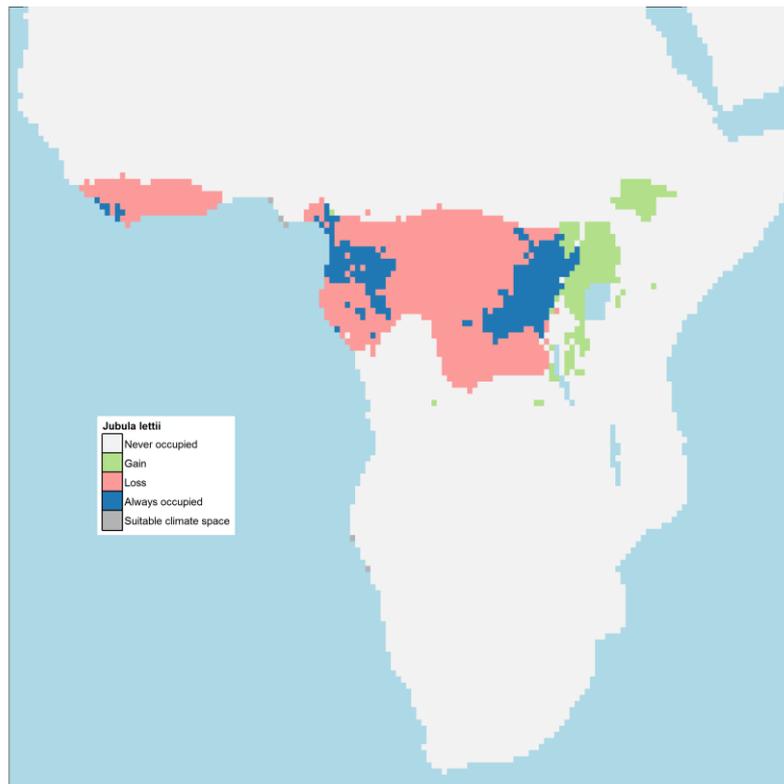


Figure A1.2. Le changement projeté dans l'étendue de l'aire de distribution de *Jubula lettii* montrant une réduction marquée de son aire de distribution en Afrique de l'Ouest.

Pour les autres espèces (ex: *Jynx ruficollis*, Figure A1.3), bien qu'il y ait la possibilité que la colonisation assistée introduise des espèces en Afrique de l'Ouest, les sites adéquats en Afrique de l'Ouest sont trop petits et fragmentés pour être susceptibles de créer une population viable à long terme, et les ressources de conservation sont probablement mieux utilisées dans les parties de l'aire de distribution où la persistance est plus probable.

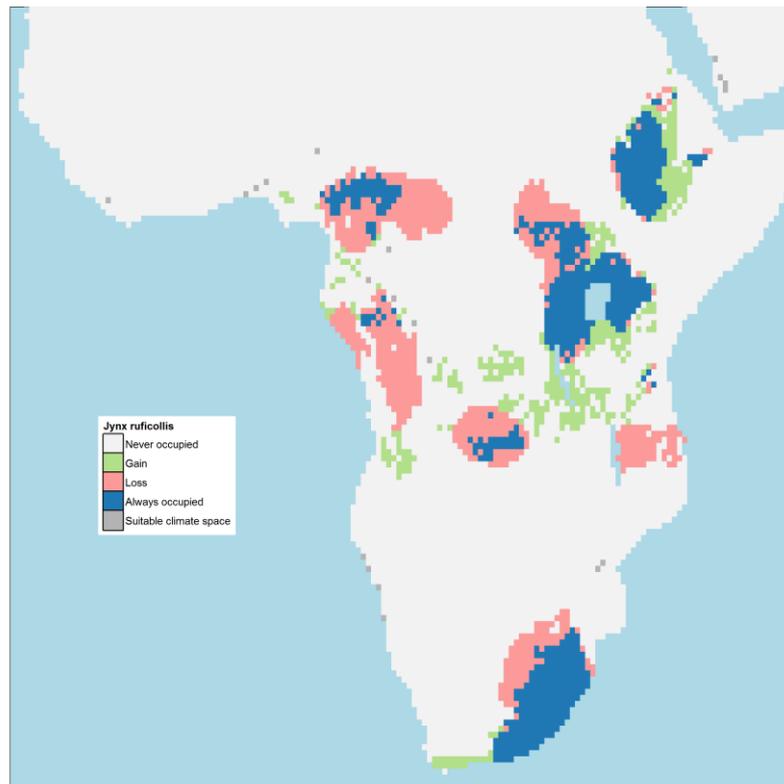


Figure A1.3. Changement projeté de l'étendue de l'aire de distribution de *Jynx ruficollis* montrant une réduction marquée de son aire de distribution dans les régions occidentales de l'Afrique centrale, mais une étendue limitée des espaces de climat adéquat en Afrique de l'Ouest dans le futur.

Pour les autres espèces, la zone de climat adéquat au sein de l'aire de colonisation des espèces peut connaître de fortes réductions dans le futur, même si il existe des régions de climat adéquat au-delà des capacités de dispersion de l'espèce. Pour ces espèces (ex: *Campephaga oriolina*, Figure A1.1), la colonisation assistée pourrait être considérée comme un outil de conservation futur. La liste des espèces pour lesquelles la colonisation assistée pourrait être envisagée figure dans le Tableau A1.1. Notez que cette liste est fondée uniquement sur une perte substantielle de l'espace de climat adéquat dans l'aire de distribution actuelle des espèces en Afrique de l'Ouest ou ailleurs, et une augmentation correspondante de l'espace climatique potentiel en l'Afrique de l'Ouest mais qui est au-delà des capacités de colonisation de l'espèce. Les espèces qui sont projetées comme étant en mesure de coloniser de vastes aires nouvelles, mais qui ont aussi des aires situées au-delà de leur capacité de colonisation en Afrique de l'Ouest ne sont pas incluses. Cette liste ne tient pas compte de la disponibilité d'habitats adéquats qui sont déjà disponibles dans les nouveaux sites adéquats, ni des éventuels problèmes liés à l'introduction d'une nouvelle espèce dans une communauté établie. La liste devrait être considérée simplement comme un point de départ à partir duquel des évaluations plus approfondies sur les avantages

découlant de la colonisation assistée pourraient être effectuées sur la base de considérations écologiques détaillées. Dans la grande majorité des cas, la colonisation assistée doit être considérée que comme une dernière option, si des modifications de l'aire de distribution naturelle n'est pas possible pour une raison quelconque, car il y a des risques considérables associés à l'introduction d'espèces dans de nouvelles aires.

Contrairement aux exemples donnés ci-dessus ainsi que dans le tableau A1.1, pour lesquelles des réductions significatives de des aires de distribution se produisent, il y a aussi un certain nombre d'espèces qui devraient rester aussi répandue dans le futur qu'elles le sont actuellement (ex: *Crysococcyx caprius*, Figure A1.4), tandis que d'autres espèces devraient avoir la capacité d'élargir considérablement leur aire de distribution (ex: *Colius striatus*, Figure A1.5), peut-être en colonisant l'Afrique de l'Ouest pour la première fois.

Table A1.1 Liste des 56 espèces candidates pour lesquelles la colonisation assistée pourrait être considérée comme un outil de conservation dans le futur.

Noms Scientifiques des Espèces	
<i>Acrocephalus gracilirostris</i>	<i>Lybius leucocephalus</i>
<i>Agelastes niger</i>	<i>Malimbus cassini</i>
<i>Anthreptes aurantium</i>	<i>Malimbus coronatus</i>
<i>Apalis binotata</i>	<i>Malimbus erythrogaster</i>
<i>Apus batesi</i>	<i>Malimbus racheliae</i>
<i>Baeopogon clamans</i>	<i>Melignomon zenkeri</i>
<i>Bradypterus baboecala</i>	<i>Muscicapa tessmanni</i>
<i>Campephaga oriolina</i>	<i>Myrmecocichla nigra</i>
<i>Campephaga petiti</i>	<i>Nectarinia oritis</i>
<i>Caprimulgus natalensis</i>	<i>Nectarinia ursulae</i>
<i>Chlorocichla falkensteini</i>	<i>Nesocharis capistrata</i>
<i>Chloropeta natalensis</i>	<i>Nesocharis shelleyi</i>
<i>Cisticola brunnescens</i>	<i>Ortygospiza locustella</i>
<i>Cisticola discolor</i>	<i>Parmoptila woodhousei</i>
<i>Cossypha isabellae</i>	<i>Phyllastrephus poensis</i>
<i>Cossyphicula roberti</i>	<i>Phyllastrephus poliocephalus</i>
<i>Crinifer zonurus</i>	<i>Picathartes gymnocephalus</i>
<i>Criniger ndussumensis</i>	<i>Picathartes oreas</i>
<i>Criniger olivaceus</i>	<i>Platysteira chalybea</i>
<i>Dryoscopus senegalensis</i>	<i>Poicephalus crassus</i>
<i>Estrilda nonnula</i>	<i>Poliolais lopezi</i>
<i>Euplectes hartlaubi</i>	<i>Prinia bairdii</i>
<i>Grafisia torquata</i>	<i>Prinia fluviatilis</i>
<i>Gymnobucco bonapartei</i>	<i>Prinia leucopogon</i>
<i>Kakamega poliothorax</i>	<i>Terpsiphone rufocinerea</i>
<i>Lamprotornis purpureiceps</i>	<i>Thripias namaquus</i>
<i>Laniarius atroflavus</i>	<i>Thripias xantholophus</i>
<i>Laniarius poensis</i>	<i>Urolais epichlorus</i>

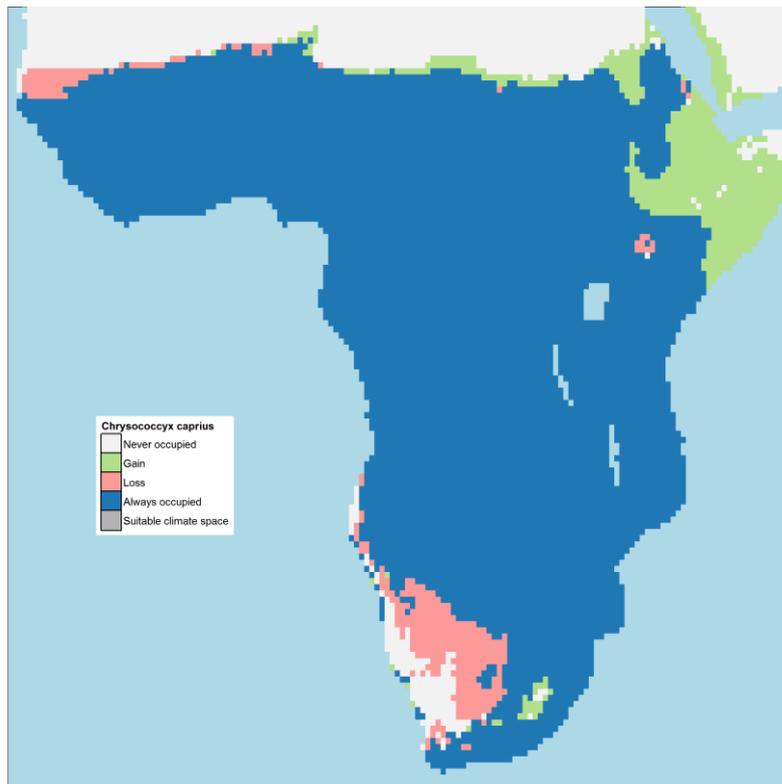


Figure A1.4. Changement projeté dans l'étendue de l'aire de distribution de *Chrysococcyx caprius*, une espèce projetée de connaître très peu de changement à travers l'Afrique de l'Ouest dans le futur.

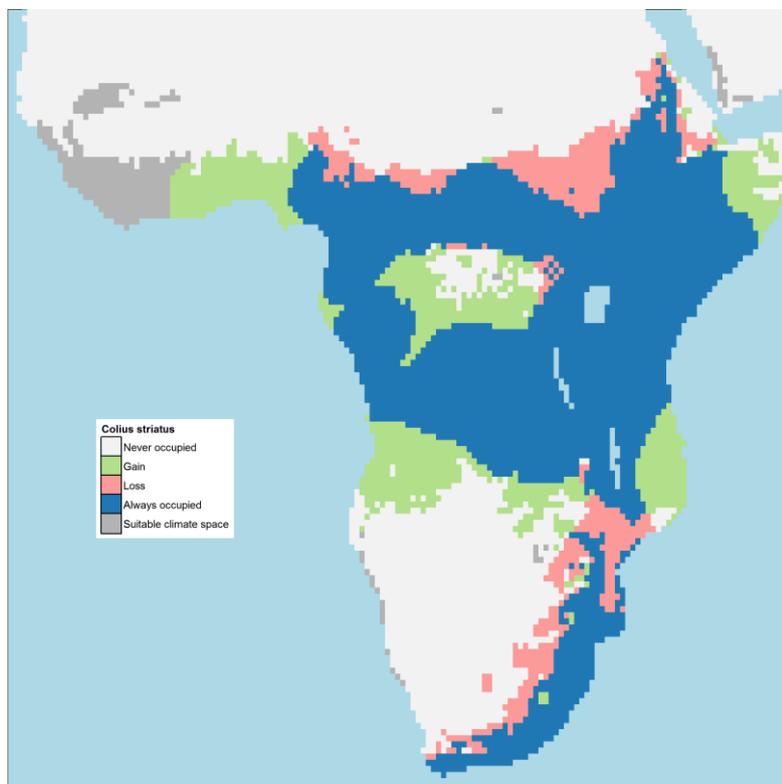


Figure A1.5. Changement projeté de l'aire de distribution de *Colius striatus*, une espèce qui est projetée d'élargir son aire de distribution plus à l'intérieur de l'Afrique de l'Ouest (et dans d'autres régions) dans le futur.

Annexe 2. Comparaison entre la TVA de Carr et al. (2014) et l'approche « TVA Modifiée »

Résumé

La TVA originale a identifié 194 espèces de grande vulnérabilité globale face au changement climatique en utilisant des mesures climatiques simples appliquées à travers toute l'aire de distribution des espèces (Carr *et al.* 2014, Figure A2.1). Ici, nous avons été en mesure de produire une mesure plus nuancée de l'exposition au climat qui varie à travers l'espace. Par conséquent, nous avons été en mesure d'attribuer des évaluations individuelles de la vulnérabilité au changement climatique pour chacune de ces espèces dans chaque aire protégée.

Dans le scénario du « pire des cas » pour les trois groupes taxonomiques, il y a un consensus élevé dans le pourcentage des espèces dont la vulnérabilité climatique coïncide entre la TVA et les approches SDM (Figures A2.2a, A2.3a et A2.4a). En revanche, dans le scénario du « meilleur des cas », il y a un consensus beaucoup plus faible dans le pourcentage des espèces dont la vulnérabilité climatique coïncide entre les approches TVA et SDM (Figures A2.2b, A2.3b et A2.4b). Le grand nombre d'espèces ayant la mention « pas de consensus » dans la tendance directionnelle en climat adéquat de l'approche SDM signifie que le consensus général est susceptible d'être inférieur, mais pas plus bas qu'indiqué dans les scénarios du « meilleurs des cas ».

Les Amphibiens

La Figure A2.2 cartographie la concordance de la vulnérabilité au changement climatique pour les amphibiens, telle que analysée selon les deux approches contrastées. Les cartes montrent, pour les espèces d'amphibiens, que malgré une forte corrélation entre les deux méthodes dans le scénario du meilleur des cas (Figure A2.2a), il existe un désaccord considérable et une structuration spatiale importante dans le désaccord dans le scénario du meilleur des cas (A2.2b). En particulier, il y a des désaccords considérables concernant les habitats les plus secs du nord et de l'est de la région, mais une plus grande concordance dans certaines zones côtières des régions forestières.

La concordance étroite dans le scénario du pire des cas (c.à.d. où nous supposons que les espèces ayant des tendances peu claires à travers les sites auront une adéquation décroissante) entre la TVA modifiée et l'évaluation TVA originale suggère que les méthodes originales de l'évaluation de l'adéquation au climat (en utilisant les variations moyennes du climat) identifient de nombreuses espèces comme étant vulnérables au changement climatique. A l'inverse, dans l'hypothèse de la TVA modifiée qui stipule que les espèces ayant des tendances peu claires ne sont pas climatiquement vulnérables, il y a très peu de concordance et la structuration spatiale est considérable. Cette structuration suggère que le climat affecte l'adéquation des espèces différemment à travers les aires de distributions des espèces, ce qui suggère à son tour que l'utilisation des données relatives à l'adéquation climatique dérivées des SDM améliore la séparation des aires où les espèces connaîtront différents degrés d'exposition climatique. Il est cependant à noter que les faibles niveaux de concordance dans les zones désertiques et semi-désertiques seront partiellement la cause de la faible diversité des espèces dans ces zones, ce qui signifie qu'un changement dans la catégorisation de seulement une ou deux espèces affectera beaucoup la concordance des pourcentages.

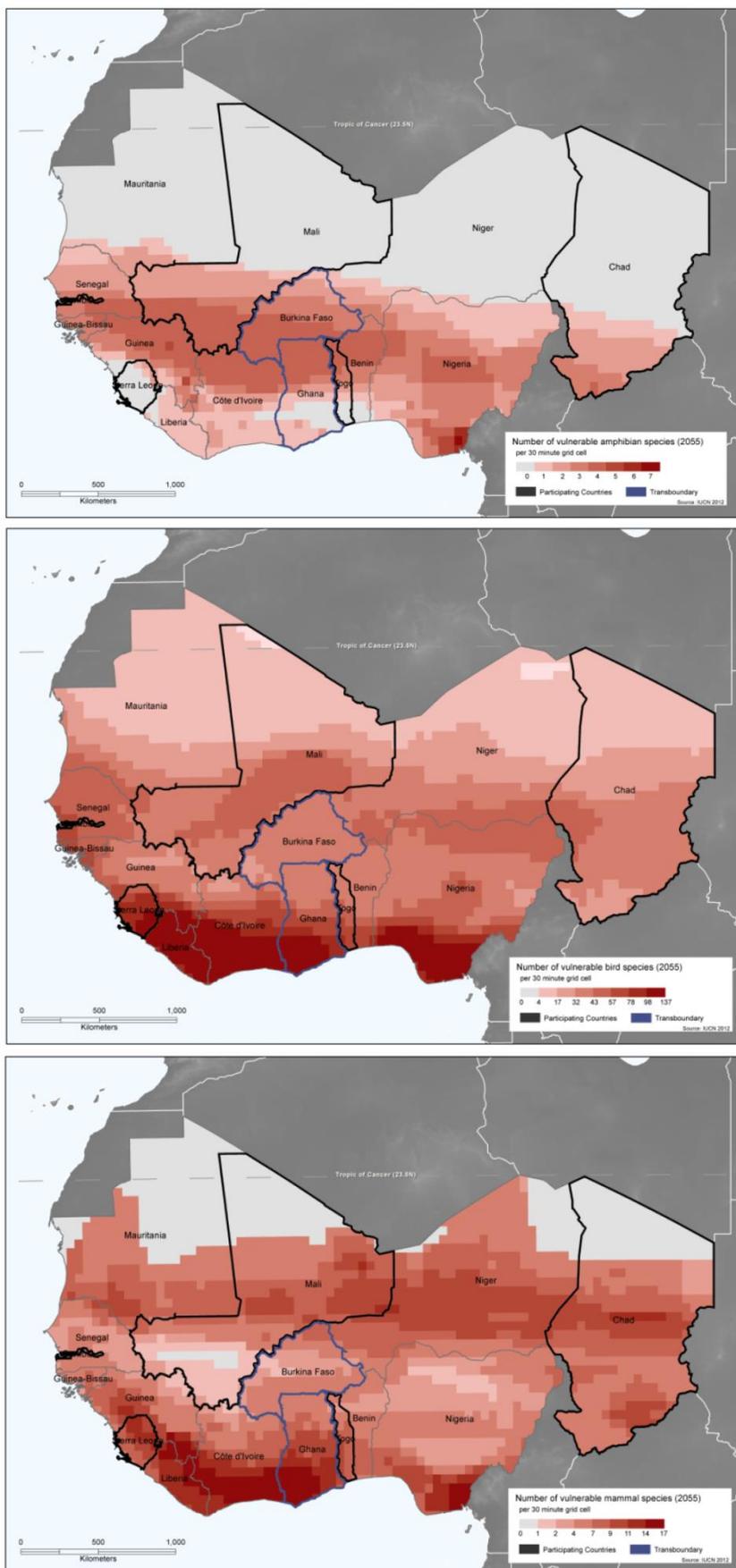


Figure A2.1. Richesse en amphibiens (en haut), oiseaux (au milieu) et mammifères (en bas) d’Afrique de l’Ouest vulnérables au changement climatique pour la période 2040-2069, tirée des méthodes originales de Carr *et al.* (2014). Images tirées de Carr *et al.* (2014).

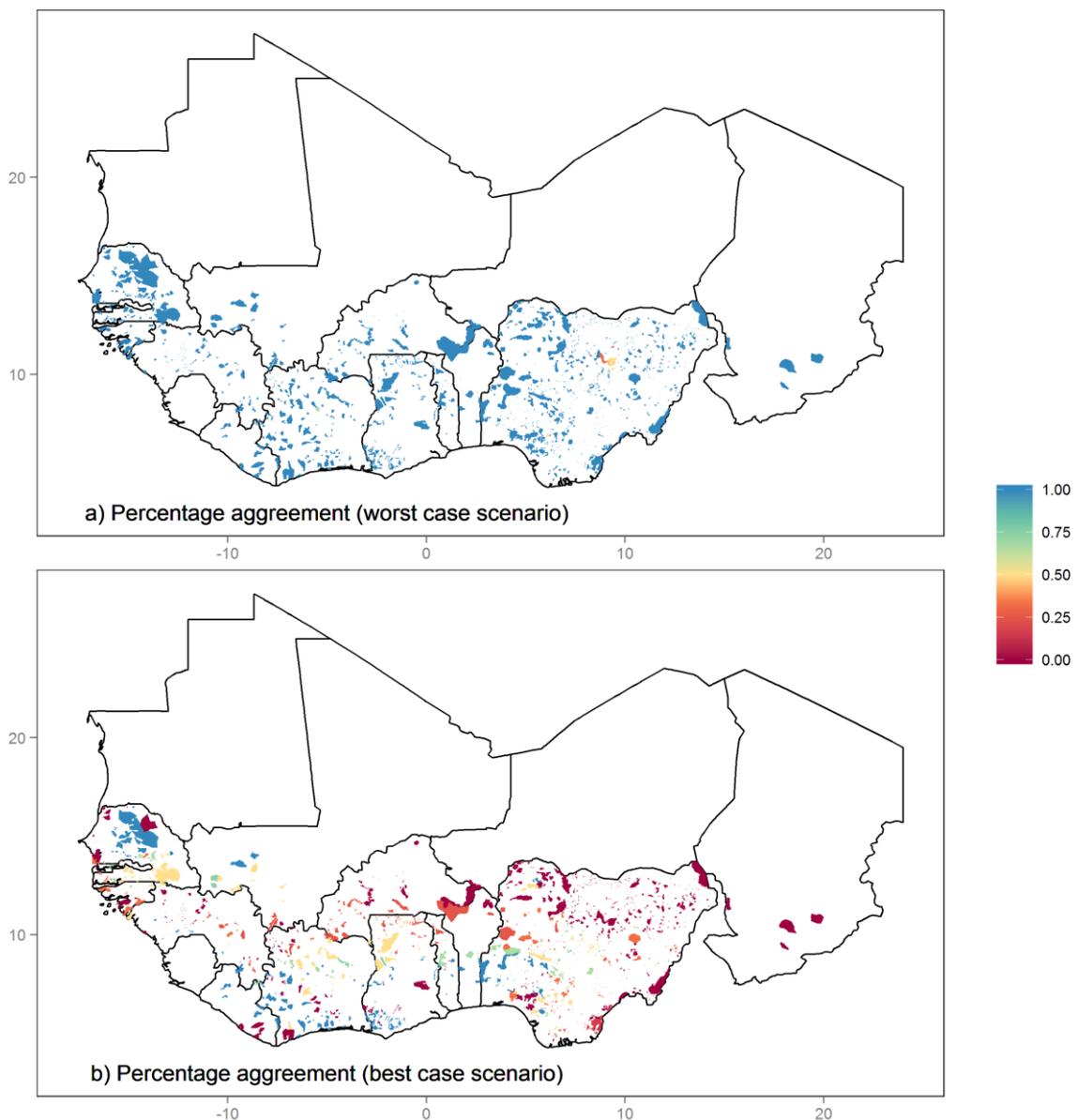


Figure A2.2. Pourcentage de concordance entre les espèces d'amphibiens évaluées comme étant vulnérables au changement climatique selon l'analyse TVA et celles évaluées en utilisant le changement d'adéquation climatique issu des SDM, selon a) un scénario du « pire des cas » où toutes les espèces classifiées NC dans la tendance directionnelle en climat adéquat dans une AP donnée sont considérées comme ayant une adéquation décroissante; et b) un scénario du « meilleur des cas » où toutes ces espèces sont considérées comme ayant une adéquation croissante.

Les oiseaux

La Figure A2.3a montre une tendance similaire pour les espèces d'oiseaux (par rapport aux amphibiens) dans le scénario du pire des cas, avec la adéquation presque complète entre les deux approches. Dans le meilleur des cas (Figure A2.3b), comme avec les espèces d'amphibiens, il y a une différence considérable entre les deux approches et une structuration spatiale de ces différences. Cependant, contrairement aux amphibiens, il

n'existe presque pas de régions de concordance élevée dans ce scénario et beaucoup de zones ont une concordance seulement intermédiaire. Une bande de concordance modérée traverse les zones de transition de la savane-arborée de la Guinée dans l'ouest de l'Afrique. Comme avec les amphibiens, ce contraste dans les niveaux de concordance dans les scénarios du meilleur et du pire des cas suggère que de nombreux oiseaux sont identifiés comme climatiquement vulnérables dans l'approche TVA de base, mais dans de nombreuses zones, le signal d'adéquation climatique (comme dérivé des SDM) reste incertain. Par conséquent, quand il est supposé dans l'approche TVA modifiée que l'absence de consensus dans le changement d'adéquation se traduira par une faible vulnérabilité climatique, les différences entre les deux méthodes deviennent marquées. Encore une fois, la structuration spatiale dans le scénario du meilleur des cas indique un signal non uniforme dans la vulnérabilité climatique pour les espèces à travers leurs aires de distribution dans cette région.

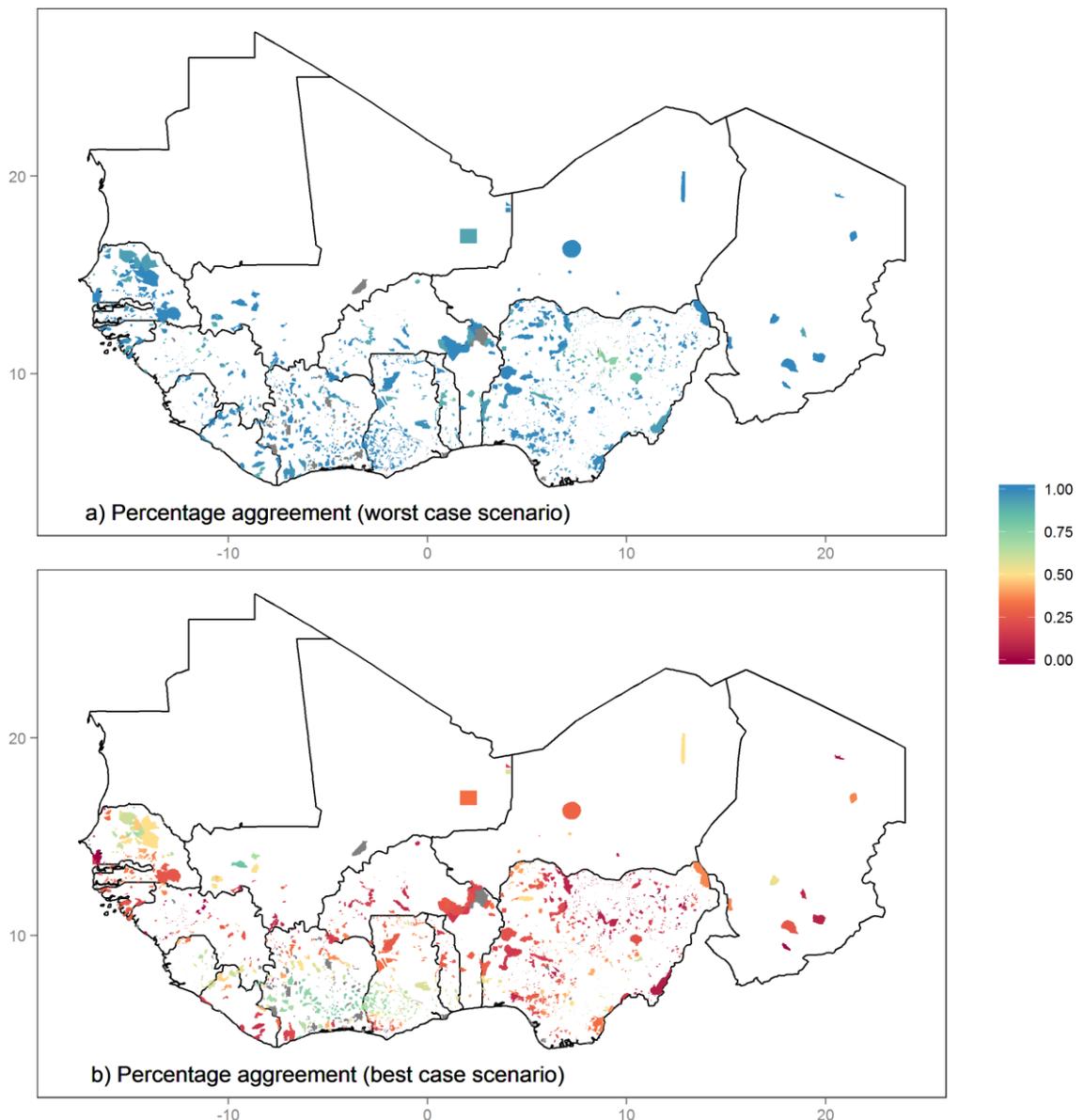


Figure A2.3. Pourcentage de concordance entre les espèces d'oiseaux évaluées comme étant vulnérables au changement climatique selon l'analyse TVA et celles évaluées en utilisant le changement d'adéquation climatique issu des SDM, selon a) un scénario du « pire des cas » où toutes les espèces classifiées NC dans la tendance directionnelle en climat adéquat dans une AP donnée sont considérées comme ayant une adéquation décroissante; et b) un scénario du « meilleur des cas » où toutes ces espèces sont considérées comme ayant une adéquation croissante.

Les mammifères

La concordance entre les deux méthodes d'évaluation de la vulnérabilité au changement climatique est également très élevée pour les espèces de mammifères en ce qui concerne le scénario du pire des cas (Figure A2.4a). Cependant, encore une fois, il existe des différences importantes entre les deux approches dans le scénario du meilleur des cas (Figure A2.4b). Comme avec les amphibiens et les oiseaux, il y a très peu de zones de concordance élevée pour ce scénario, mais de vastes zones de concordance faible à modérée et une forte structuration spatiale qui suggère une variabilité locale de la vulnérabilité climatique.

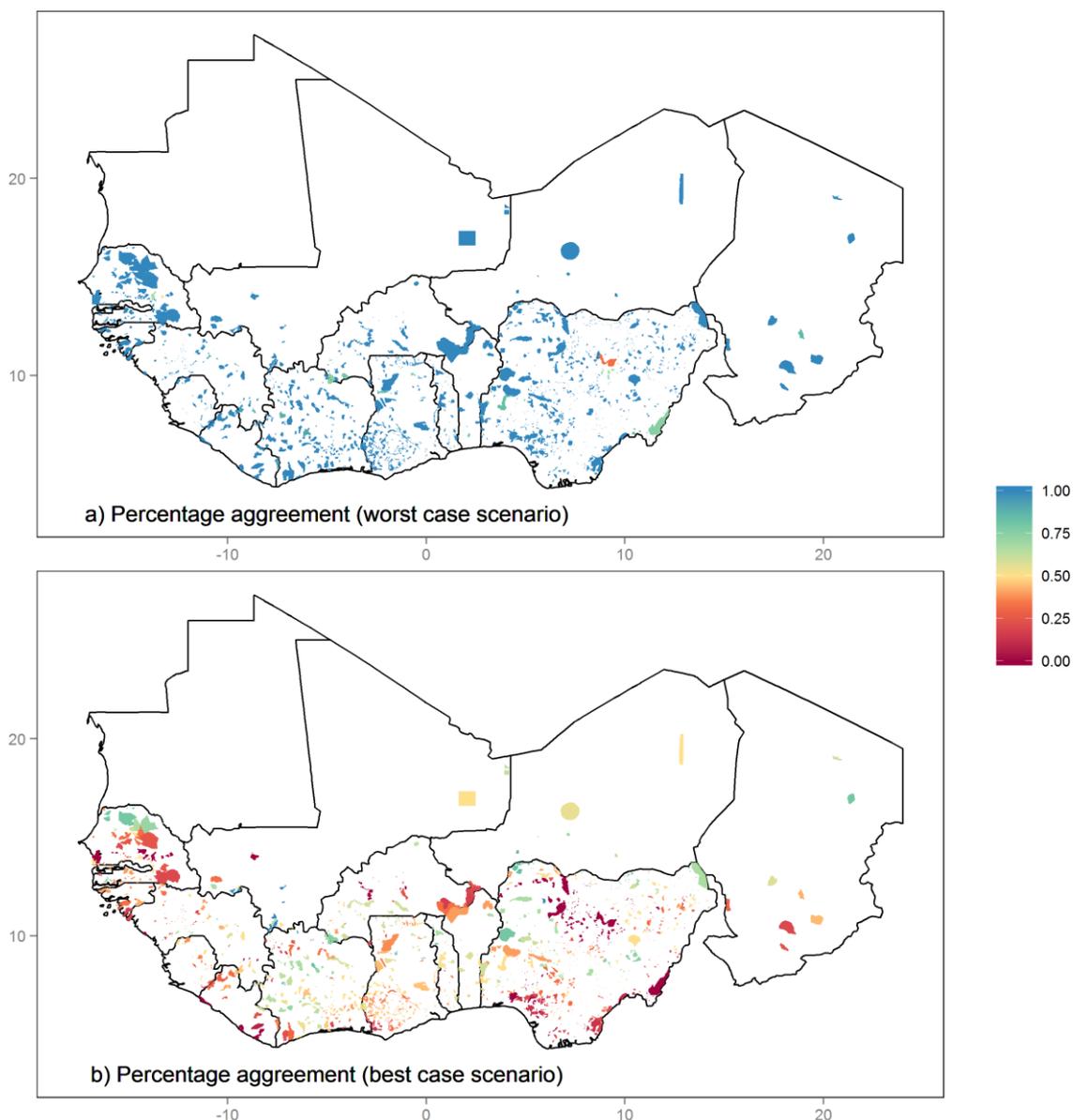


Figure A2.4. Pourcentage de concordance entre les espèces de mammifères évaluées comme étant vulnérables au changement climatique selon l'analyse TVA et celles évaluées en utilisant le changement d'adéquation climatique issu des SDM, selon a) un scénario du « pire des cas » où toutes les espèces classifiées NC dans la tendance directionnelle en climat adéquat dans une AP donnée sont considérées comme ayant une adéquation décroissante; et b) un scénario du « meilleur des cas » où toutes ces espèces sont considérées comme ayant une adéquation croissante.

Annex 3. Impacts du changement climatique sur la distribution future probable des espèces d'oiseaux d'Afrique de l'Ouest importantes pour la conservation

Les cartes des impacts probables des changements climatiques futurs des 756 espèces d'oiseaux importantes pour la conservation qui se trouvent dans, ou à proximité, de la région d'étude en Afrique de l'Ouest, sont disponibles en format PDF et peuvent être fournies sur demande.