

The importance of deforestation and climate change in shaping lemurs' distributions and in identifying their areas of climatic refuges



Présenté par Corentin Knoploch

Encadré par Clovis Grinand et Ghislain Vieilledent

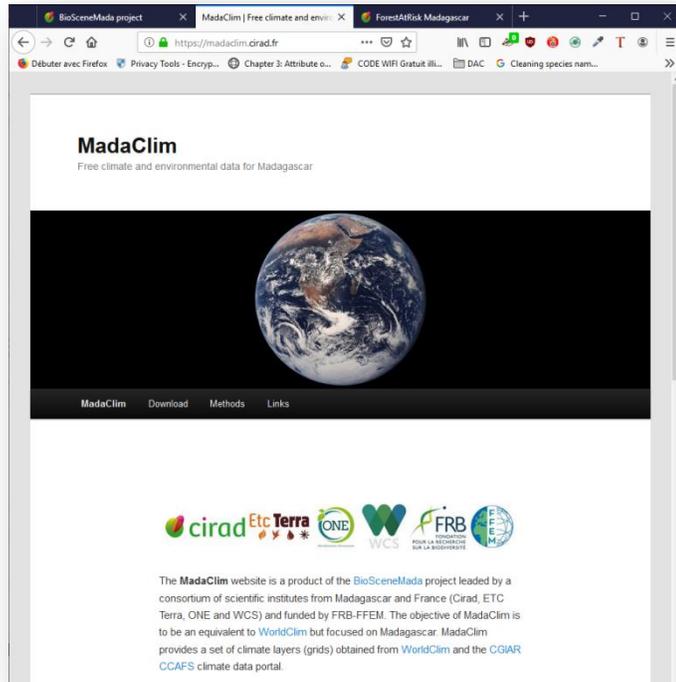


Année universitaire 2018-2019

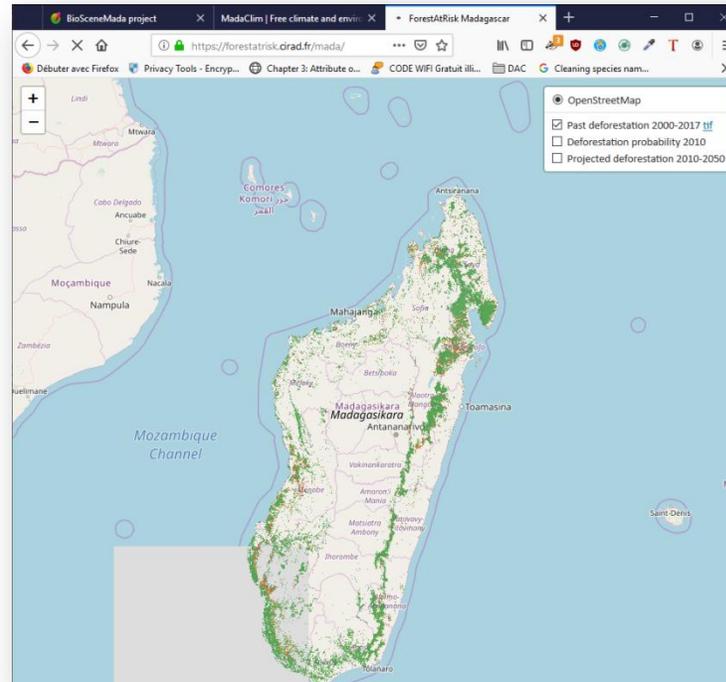
Projet « BiosceneMada »



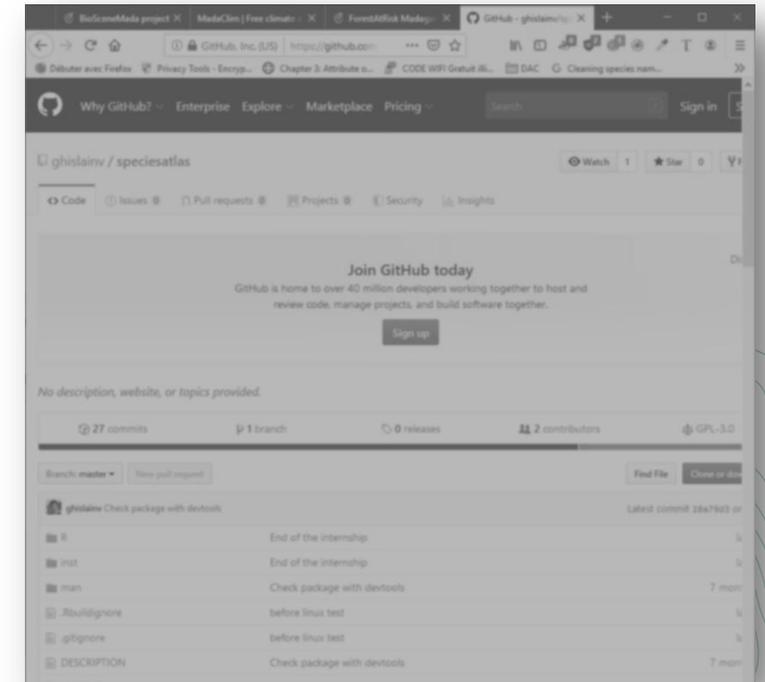
- Objectif: Développer des scénarios d'évolution de la biodiversité à Madagascar sous les effets conjoint du changement climatique et de la déforestation



« Madaclim »



« Forestatrisk »



« SpeciesAtlas »

Aire de distribution

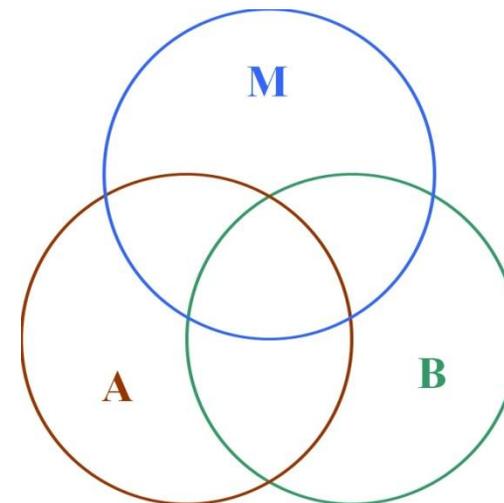
Aire de répartition/distribution: *la zone délimitant la répartition géographique d'une espèce vivante*

différent de

Niche écologique: *L'ensemble des conditions nécessaires permettant la persistance d'un organisme*

Elle est définie par l'interaction de 3 types de facteurs :

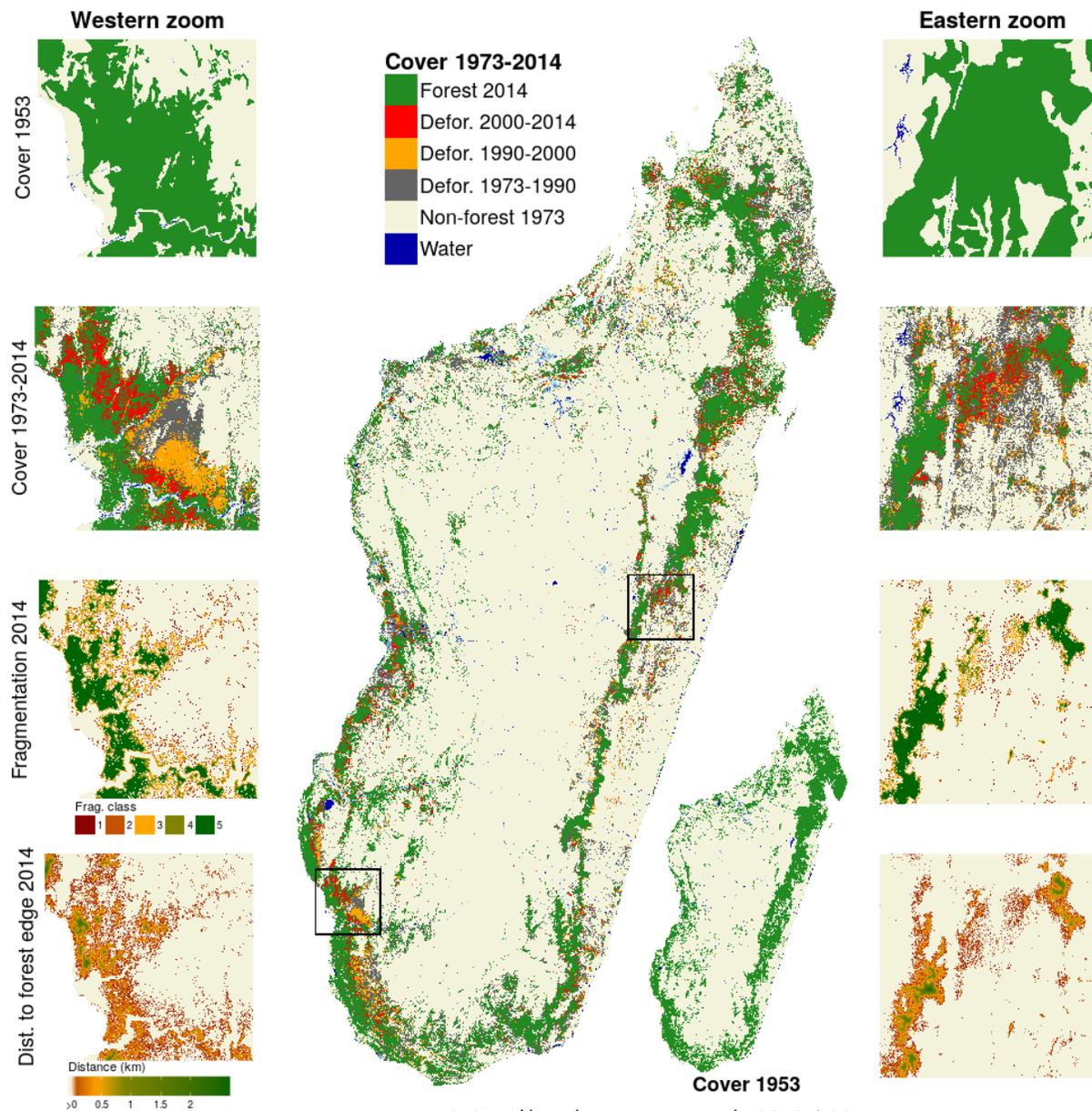
- Facteurs Biotiques (B)
- Mouvement = Capacité de dispersion (M)
- Facteurs Abiotiques (A)



*Modifié d'après
Soberón and
Peterson (2005)*

Déforestation

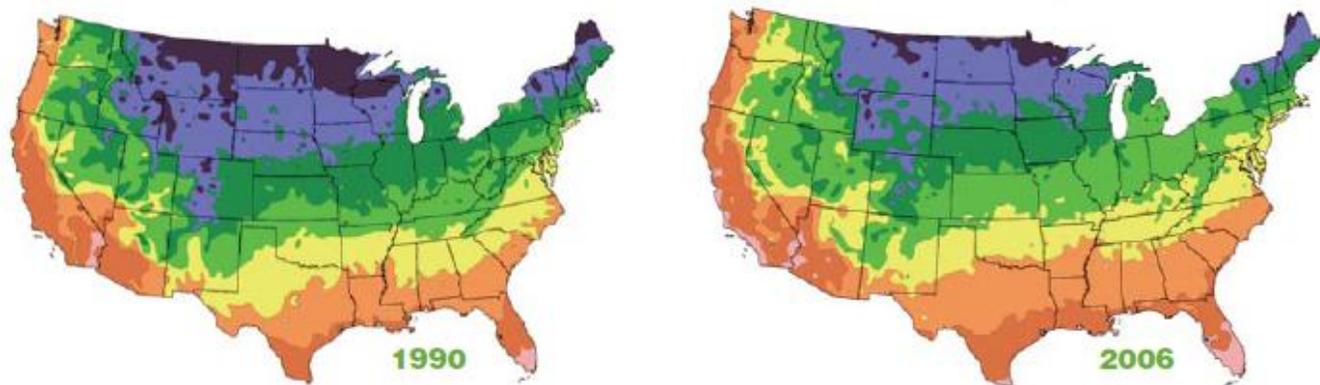
- Principale cause: la culture sur brûlis
- 80% de la biodiversité totale de Madagascar présente en forêt
- 100 000 ha par an
- 9,1% des espèces disparues depuis 50 ans (Allnutt *et al.* 2008)



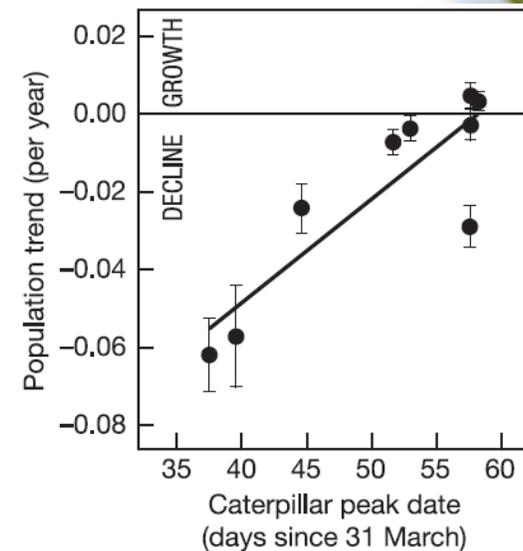
Vieilledent *et al.* (2018).

Rôle et effets du climat

- Rôle du **climat** dans la **définition des limites écologique** de nombreuses espèces
- Une **modification des conditions climatiques** agit sur:
 - La migration
 - La phénologie
 - La reproduction et la croissance



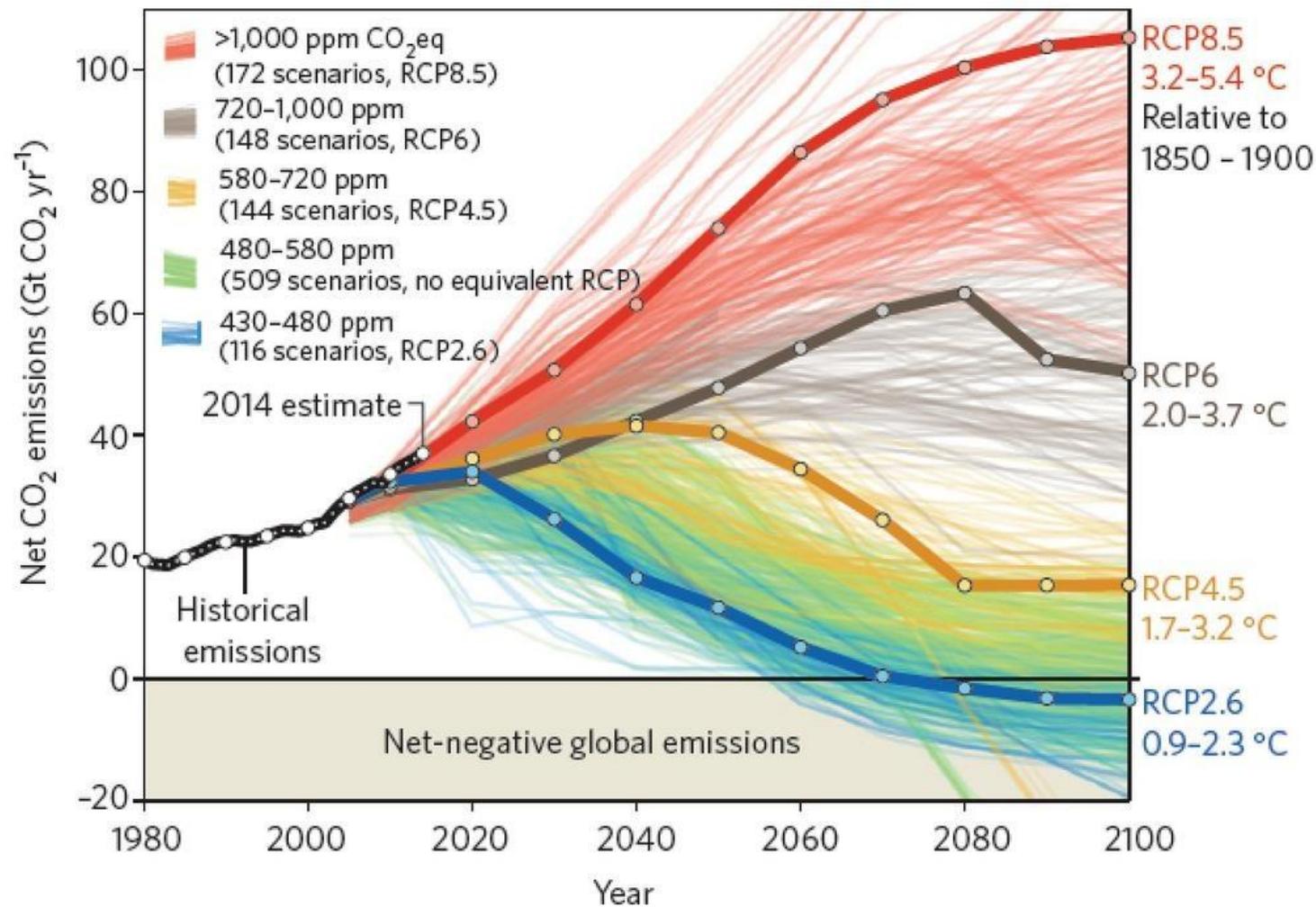
*Déplacement vers le nord des zones de rusticité aux États-Unis
National Arbor Day Foundation.*



Tendance des populations de Ficedula hypoleuca en réponse à la date d'émergence d'une espèce de chenille



Prédire le climat futur



Problématique

Comment le changement climatique et la déforestation vont-ils affecter la distribution futur des espèces à Madagascar ?

Objectifs

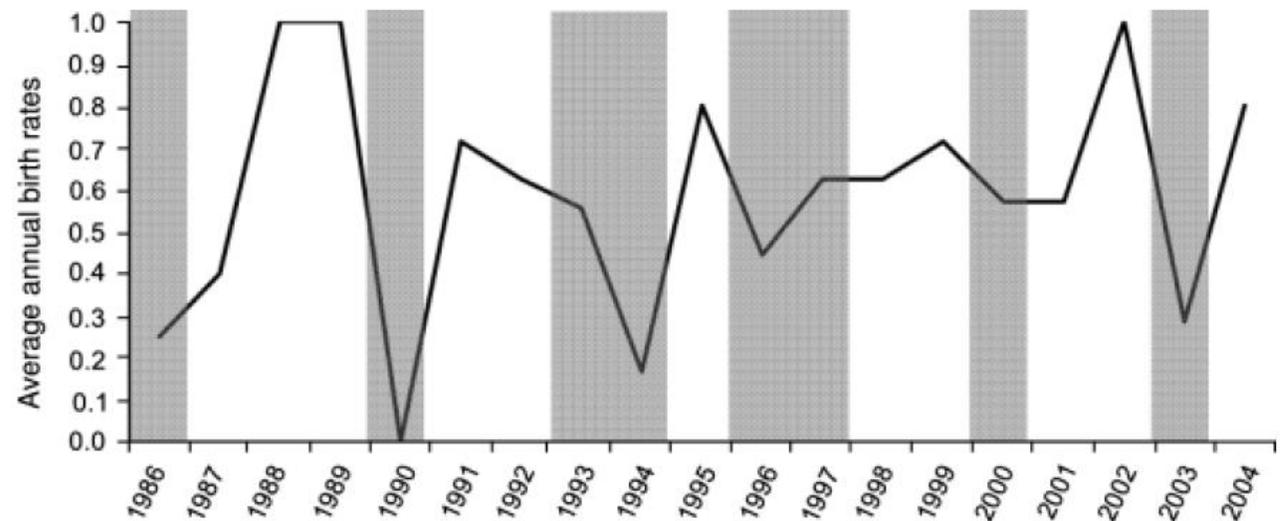
- Quantifier les effets de la **déforestation** et du **changement climatique** à l'échelle de l'espèce
- Explorer les patterns spatiaux de **richesse futur** et **présente**
- Identifier des zones de stabilité climatique (**refuges**) et les menaces liées à la déforestation

Méthode



Etude de cas sur les Lémuriens:

- Espèce à fort enjeux de conservation: 95% menacées (IUCN Red List)
- Fortement impactées par la déforestation
- Sensible aux effets du changement climatique (sècheresse et précipitation)



Le taux de natalité annuelle moyen de Propithecus edwardsi est négativement associé aux périodes de cyclones (Dunham et al. 2011)

→ Sur les 89 espèces disponibles, nous avons modélisés la distribution de 51

Méthode

Données d'occurrences:

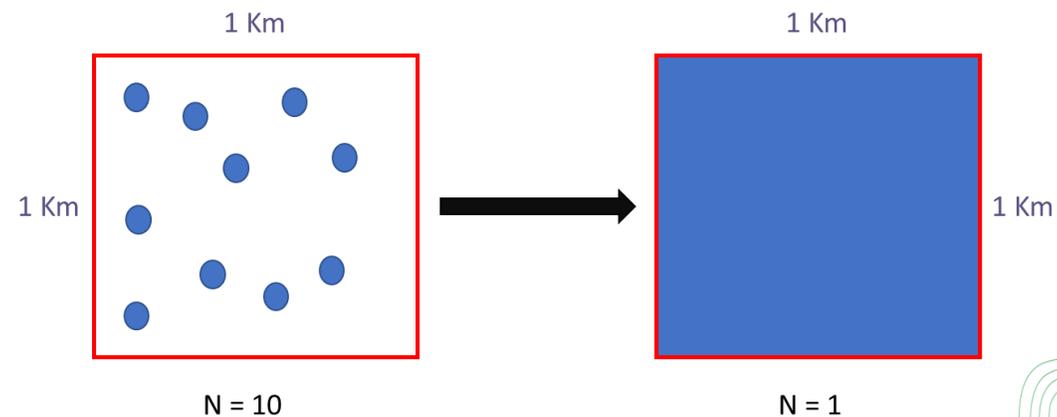
Proviennent de différentes sources, toutes **validées** par des experts :

Erreurs taxonomiques : package R « taxise »

Erreurs spatiales: package R « coordinateCleaner »

Raréfaction des données à 1km^2

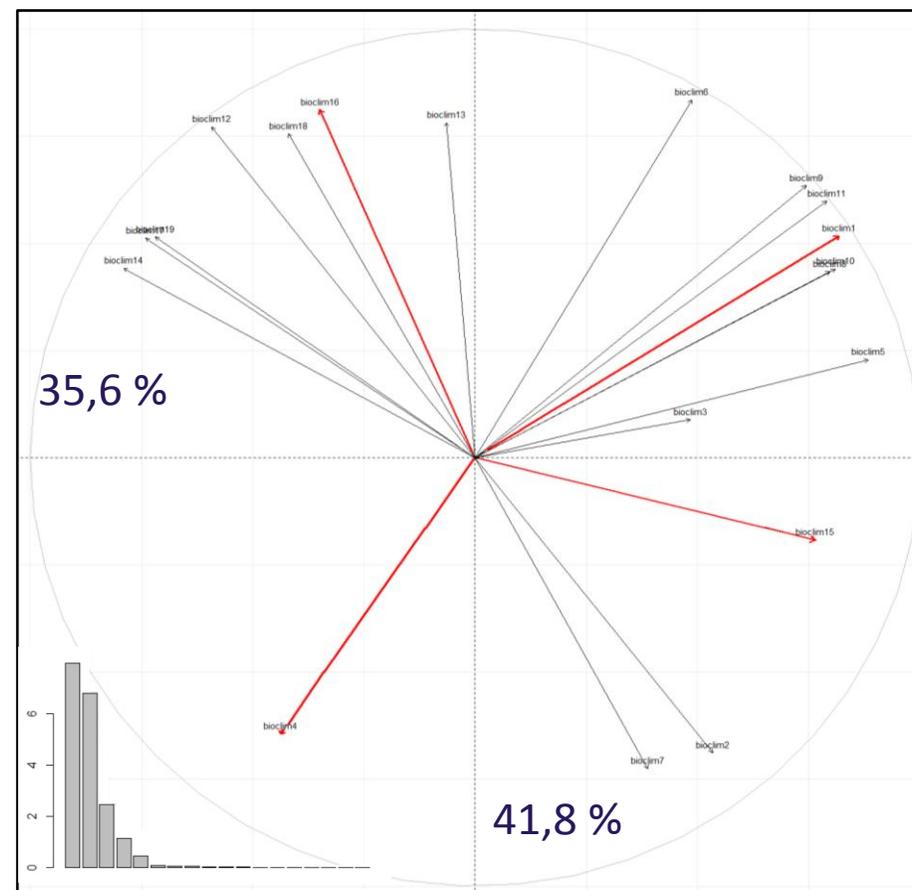
9571 \rightarrow 5252 \rightarrow 3375 observations



Méthode

Données climatiques actuelles :

- Moyennes climatiques sur la période 1950-2000 issuent de MadaClim
- **Variable sélectionnées** à partir d'une ACP
 - Température moyenne annuelle
 - Précipitation totale annuelle
 - Saisonnalité des températures
 - Saisonnalité des précipitations
- Ajouté par la suite: Déficit hydrique

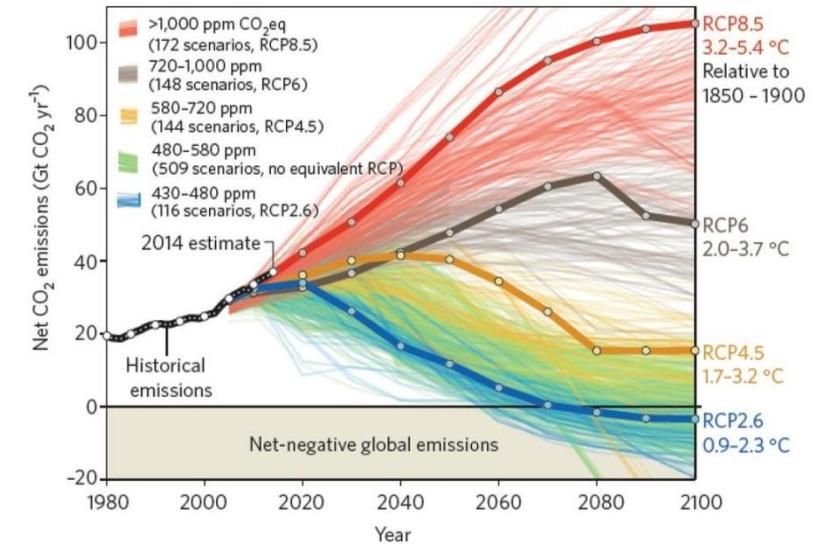


Coefficient de corrélation < 0,6

Méthode

Données climatiques futurs:

- Données issues du CMIP5 (IPPC Fifth Assessment)
- Trois GCMs sont utilisés sous deux scénarios (4,5 et 8,5) pour l'années 2085



Toutes les variables climatiques (actuelles et futurs) ont été rééchantillonnées à une résolution de 1km²

Les données actuelles et futurs ont toutes été centrées et réduites

Méthode

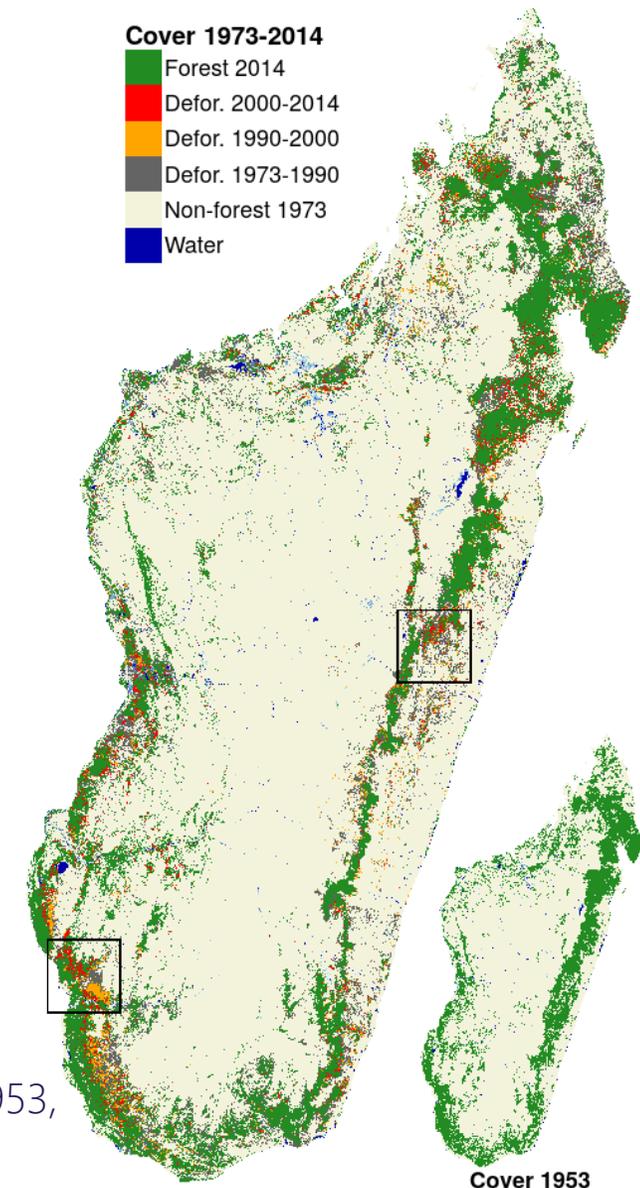
Données recouvrement forestier:

- Cartes de déforestation actuelle: Vieilledent *et al.* (2018).

Faite à partir du **couvert forestier en 2000** (Harper *et al.* 2007) et de carte de **déforestations annuelles** (Hansen *et al.* 2013)

- Carte de déforestation futur: Vieilledent *et al.* (in prep.)

Modélisation de la déforestation historique et **projection dans le futur**

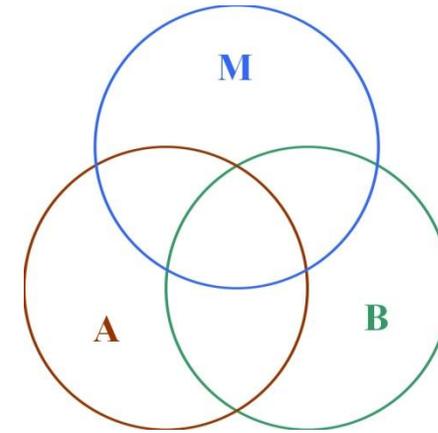


Couvert forestier en 2014 et 1953,
Vieilledent *et al.* (2018)

Méthode

Hypothèses de travail:

- Deux scénarios de dispersion: full et zero
- Avec ou sans déforestation
- Plusieurs scénarios de changement climatique (RCP)



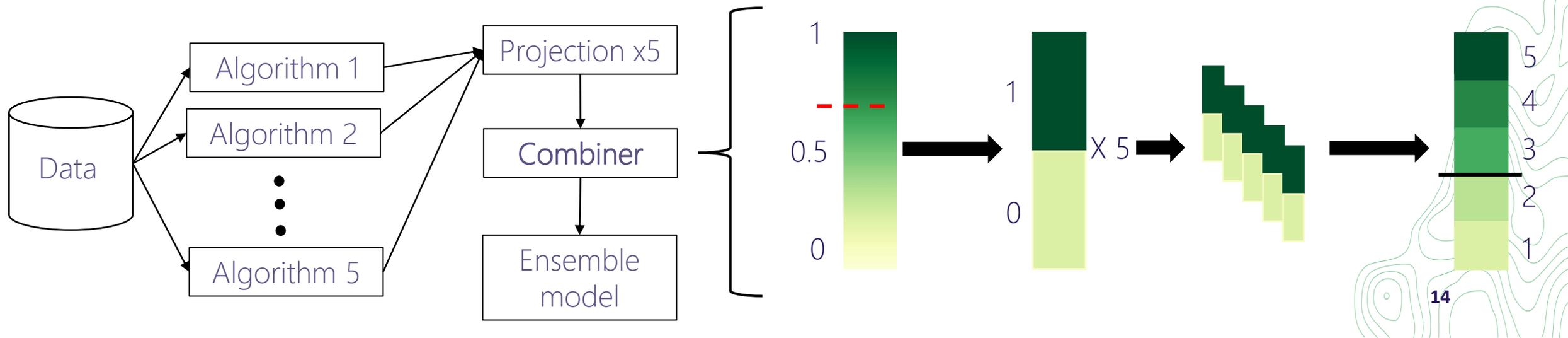
#	Dispersal	Deforestation	Climate change
1	Zero	No	4.5
2			8.5
3	Full	Yes	No
4			4.5
5		No	8.5
6			4.5
7	Yes	No	8.5
8			4.5
9			8.5
10			4.5



Méthode

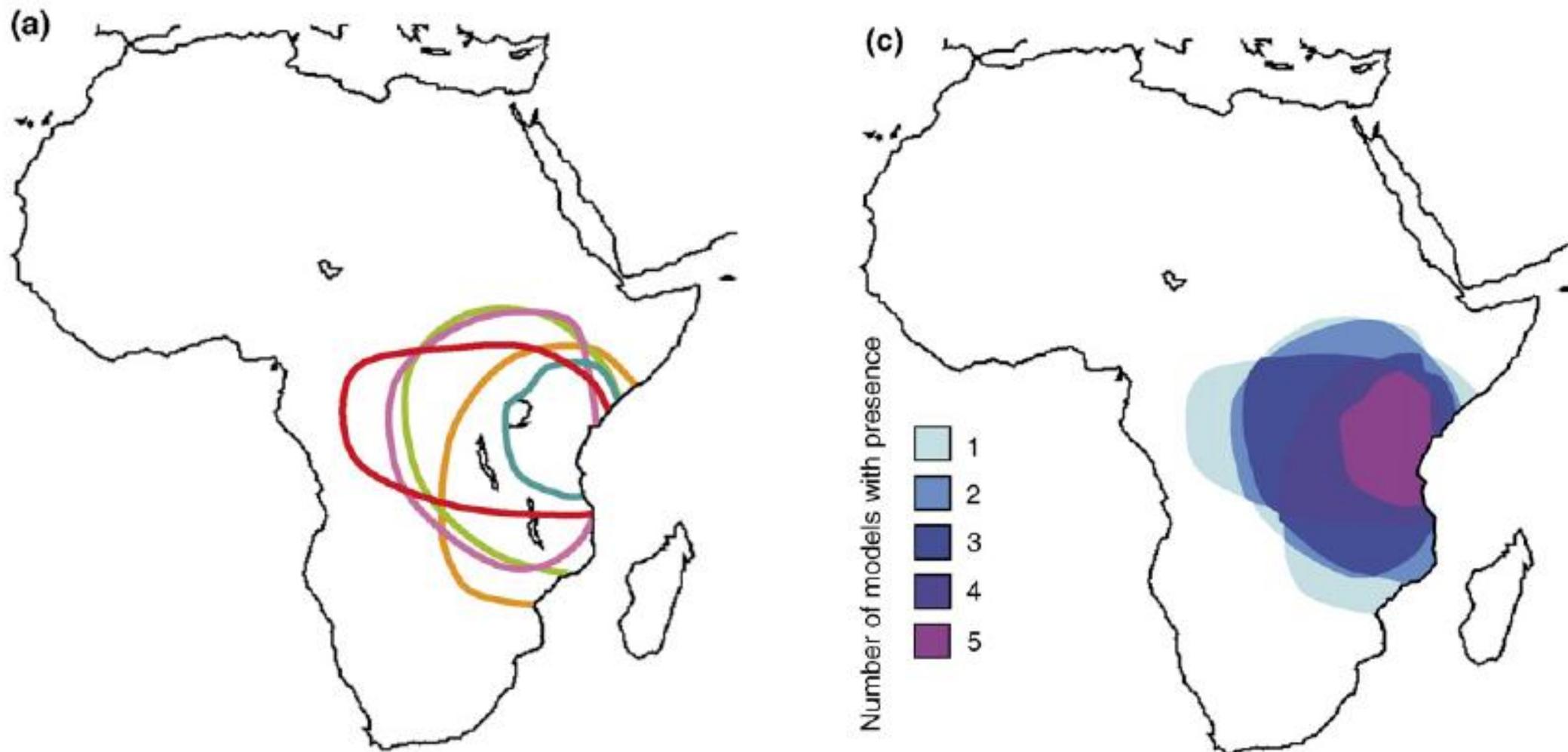
Modélisation de la niche et de l'aire de distribution actuelle:

- Méthode d'« **Ensemble modelling** » pour construire la **niche** de chaque espèce ayant plus de 10 observations
- En entrée: **données de présence et absence** (10 000 absences)



Méthode

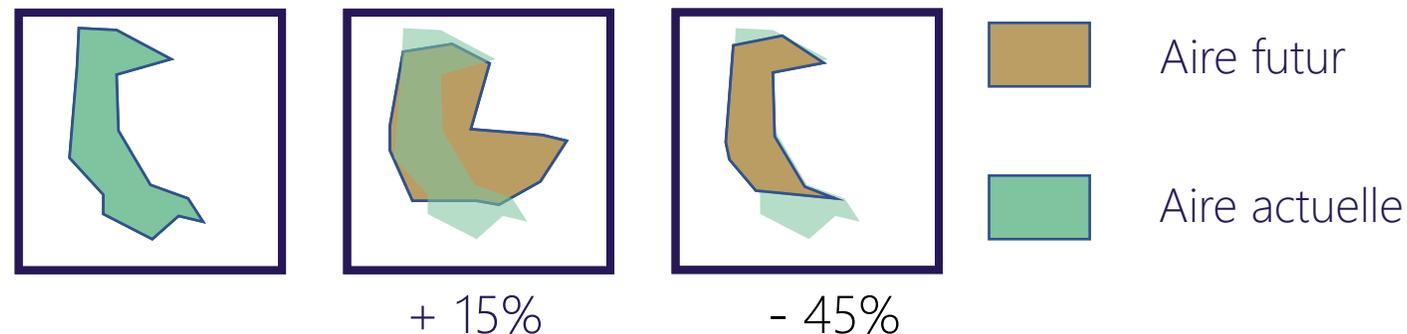
Modélisation de l'aire de distribution actuelle:



Méthode

Quantification des effets dues aux changement climatique et à la déforestation:

1^{ère} étape: Mesurer le changement



Species name	Current SDA	Full dispersal					Zero dispersal				
		With deforestation			Without deforestation		With deforestation			Without deforestation	
		No climate change	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	No climate change	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Avahi laniger	49622	-74	-77	-80	-3	-20	-74	-78	-80	-11	-22
Eulemur flavifrons	3821	-25	-100	-100	-100	-100	-25	-100	-100	-100	-100
Eulemur fulvus	95670	-76	-56	43	34	128	-76	-77	-65	-10	-17

Méthode

Quantification des effets dues aux changement climatique et à la déforestation:

2^{ème} étape: Modéliser le changement

()

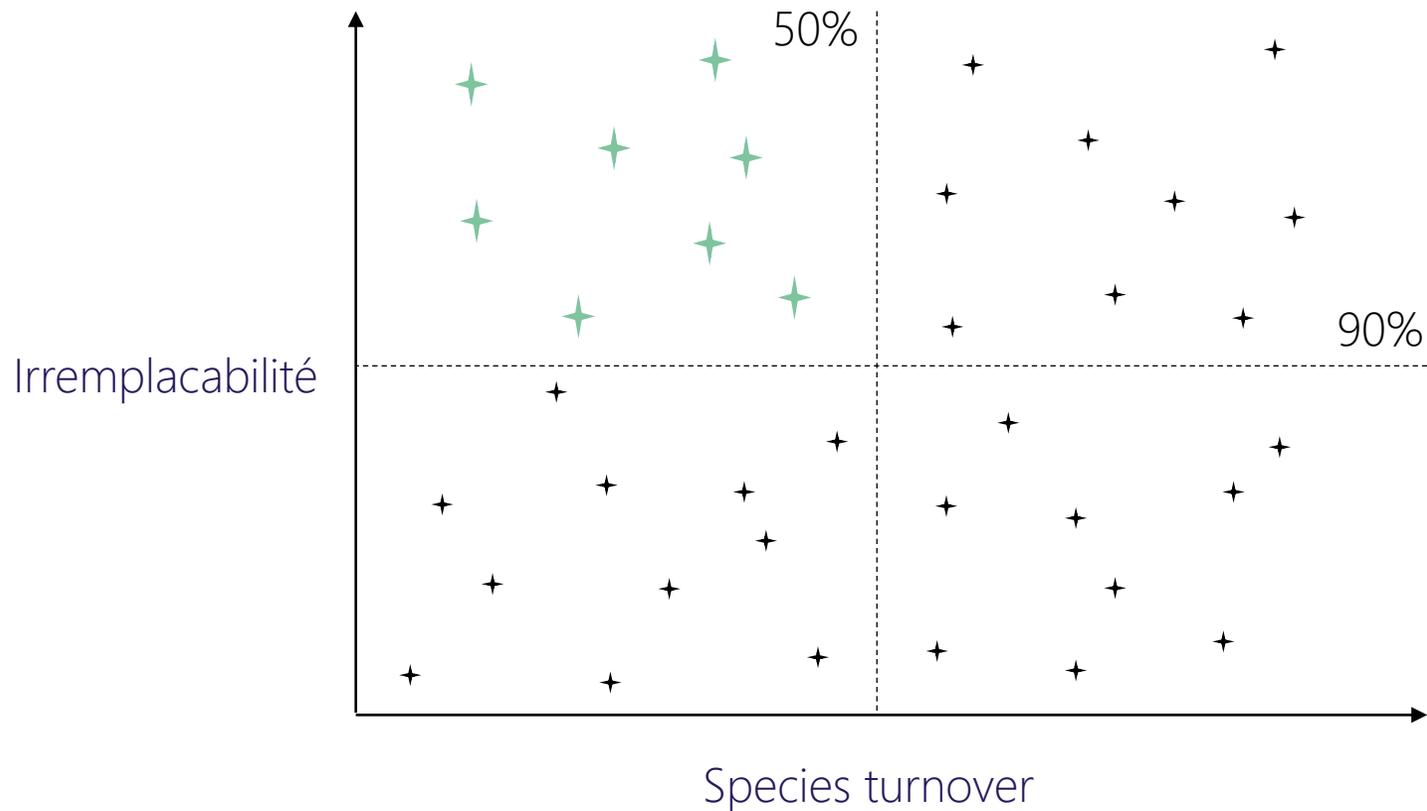
Avec:

i qui varie de 1 à 10 (nb de scenarios)

j qui varie de 1 à 51 (nb espèces)

Méthode

Identification des zones de stabilités (refuges) x 10

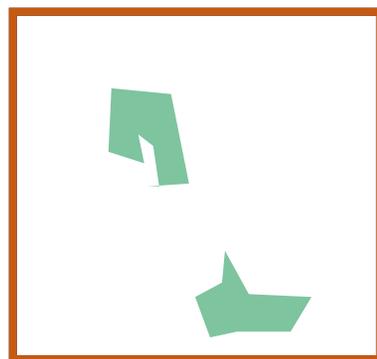


Irremplacabilité futur =
Richesse pondérée par l'aire
de distribution des espèces

: Turnover = Biodiversité β =
Taux de changement de la
communauté

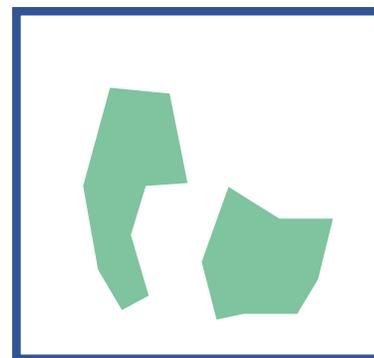
Méthode

Identification des zones de stabilité climatique menacées par la déforestation



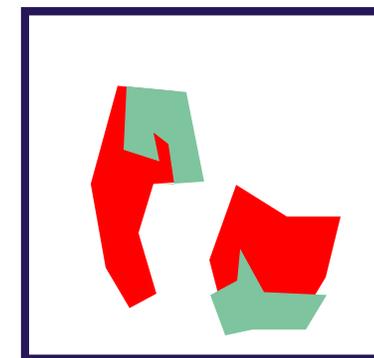
Refuges avec
déforestation

+



Refuges sans
déforestation

=



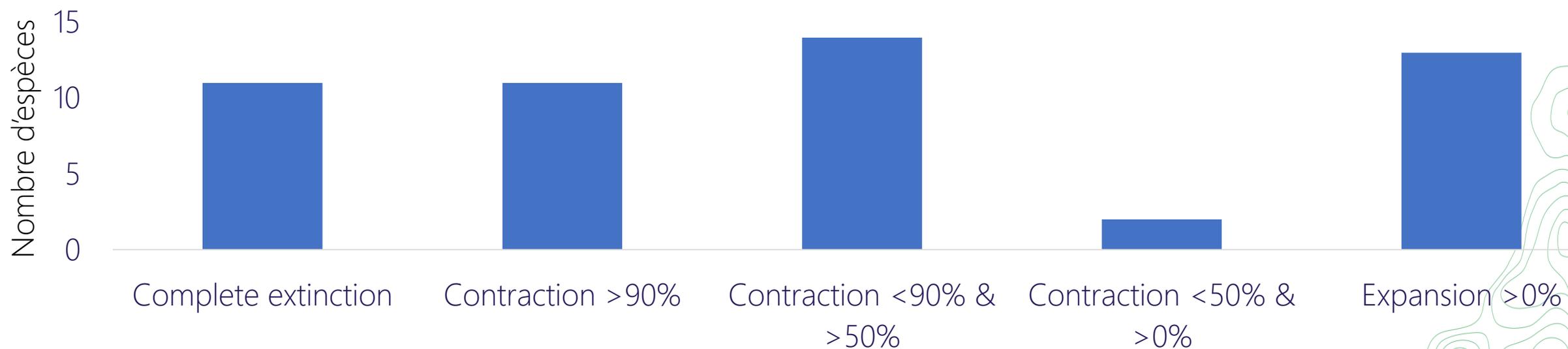
Refuges menacés par
la déforestation

#	Dispersal	Deforestation	Climate change
1	Zero	No	4.5
2			8.5
3	Yes	No	No
4			4.5
5			8.5

Résultats

1) Forte diminution des aires de distributions

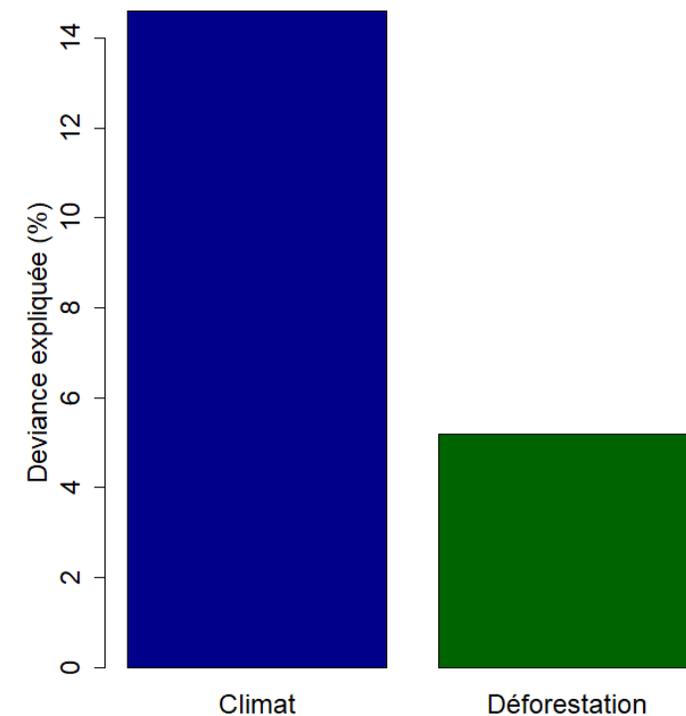
- Scénarios climatiques seuls → contraction pour 59% des espèces
- Avec déforestation → 75%
- 11 espèces devraient complètement **disparaître** quelque soit le scénario



Résultats 2) Effets du changement climatique > déforestation

- Effets moyen **négatif** à travers toutes les espèces
- Rôle **3x plus important** du climat

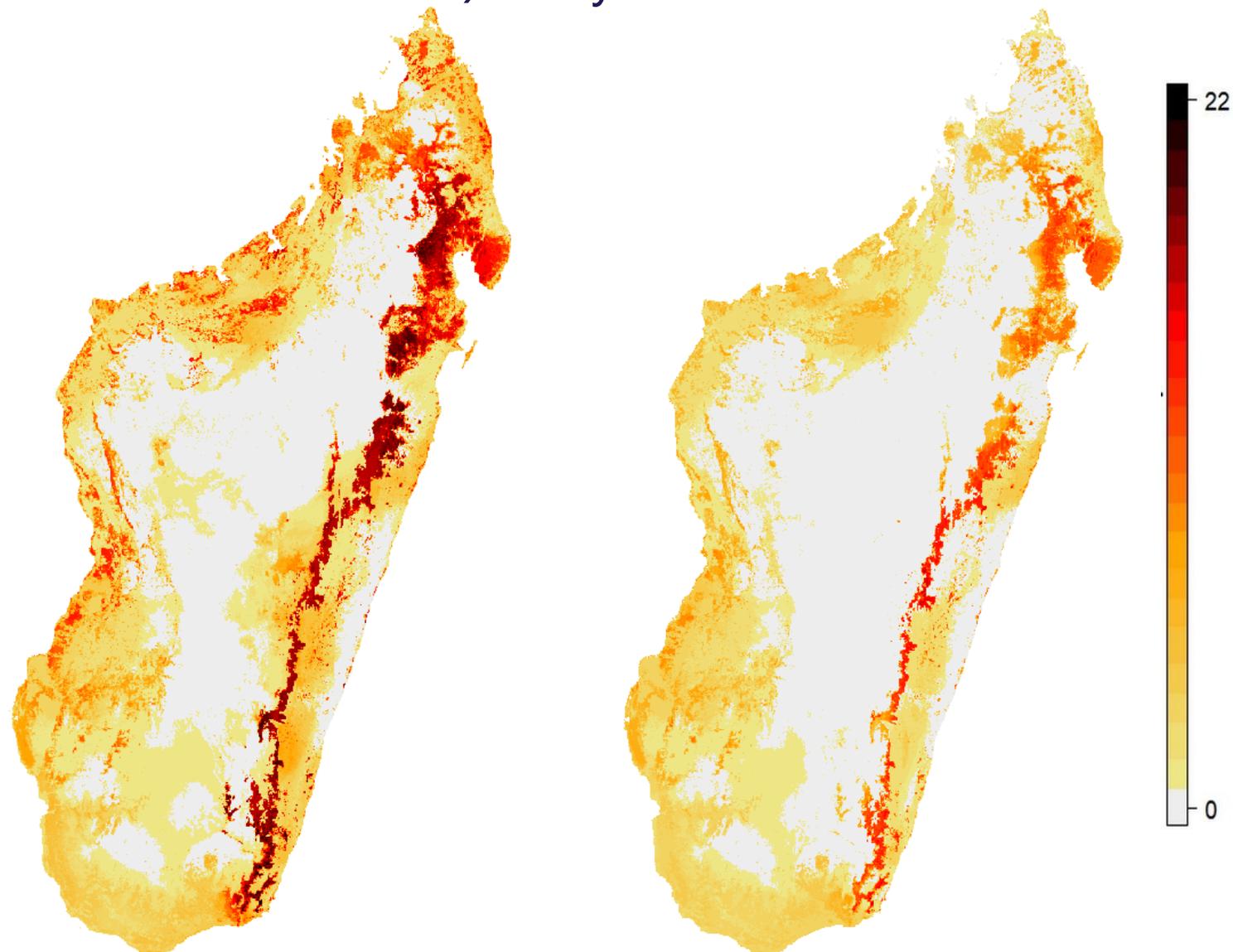
Variables	Change in SDA (%)			Deviance explained (%)
	coef	SE	<i>p</i> value	
RCP 4.5	-66.4	1.1	<0.001	14.6
RCP 8.5	-80.5	1.1	<0.001	
Deforestation	-56.4	1.08	<0.001	5.2



Pourcentage de déviance expliquée par chaque variables

Résultats

3) Analyse visuelle des effets du changement climatique



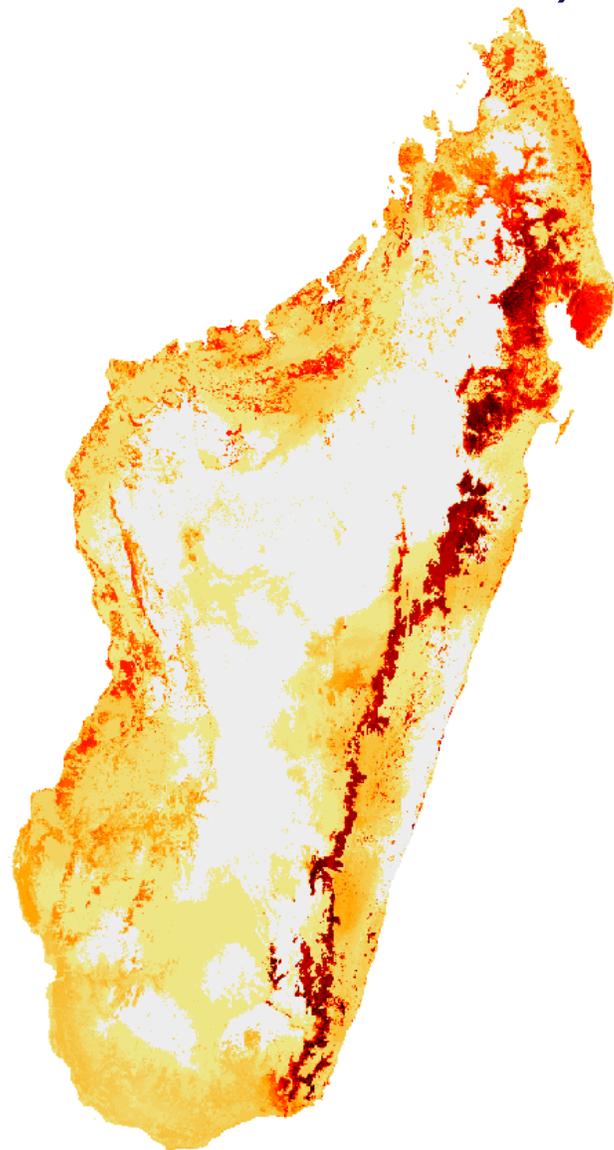
Richesse actuelle

Richesse futur prédite (8.5, no dispersal)

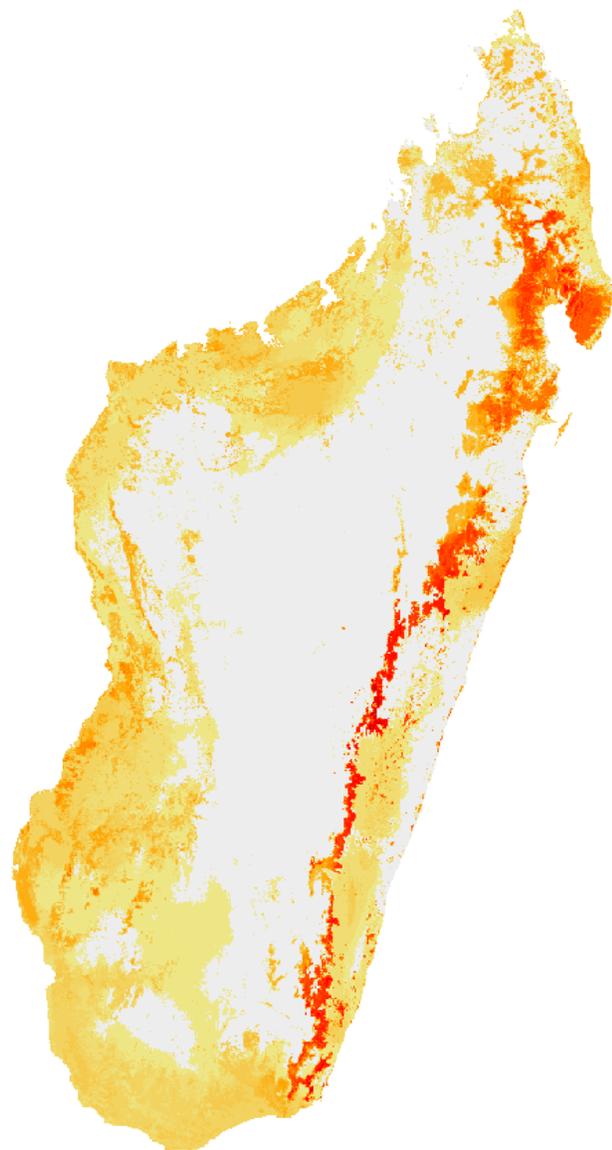


Résultats

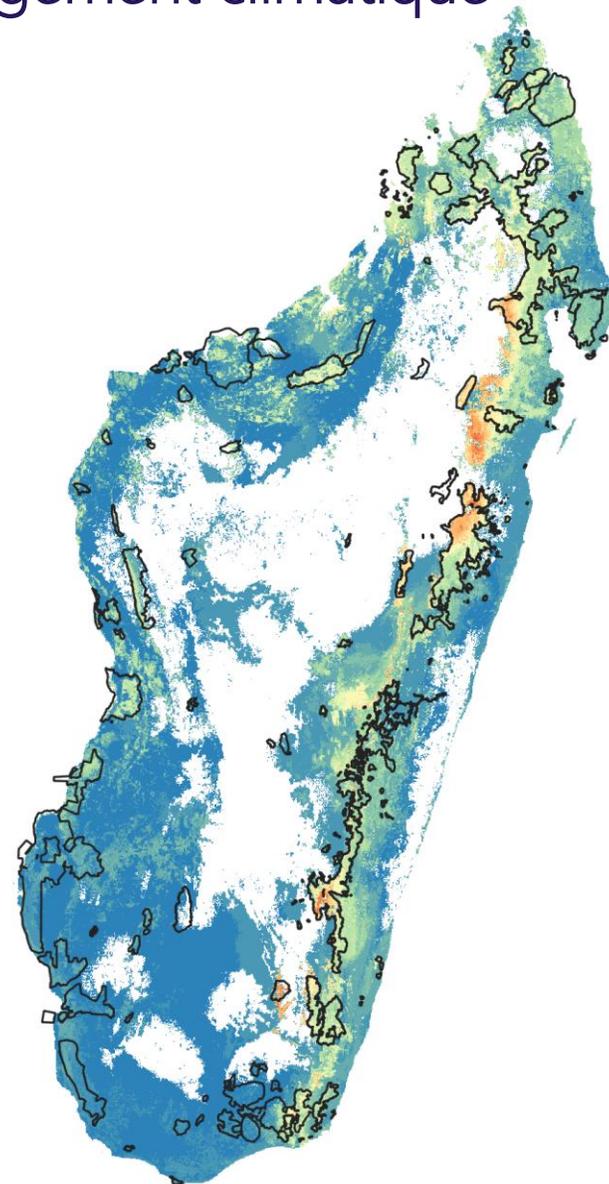
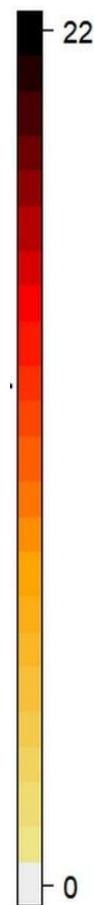
3) Analyse visuelle des effets du changement climatique



Richesse actuelle



Richesse futur prédite (8.5, no dispersal)



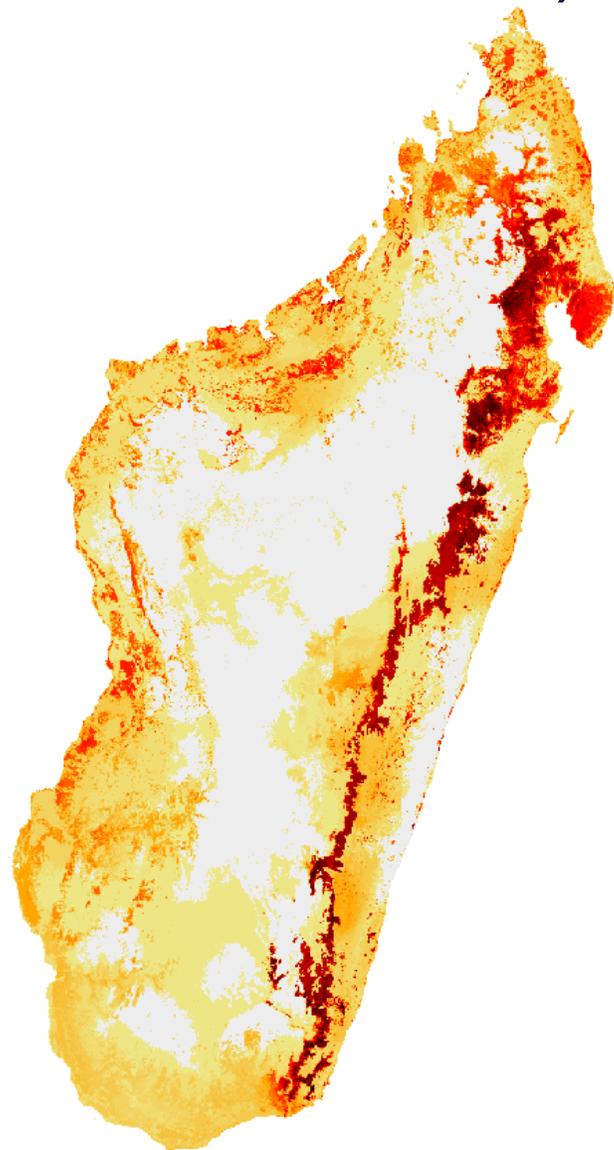
Pertes futur prédites



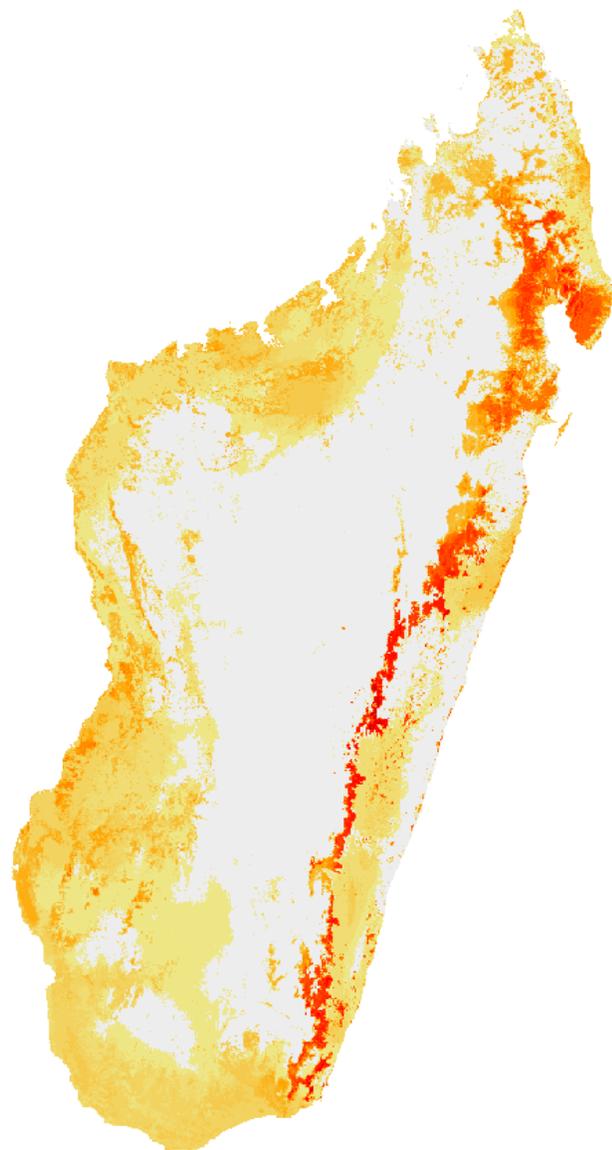
23

Résultats

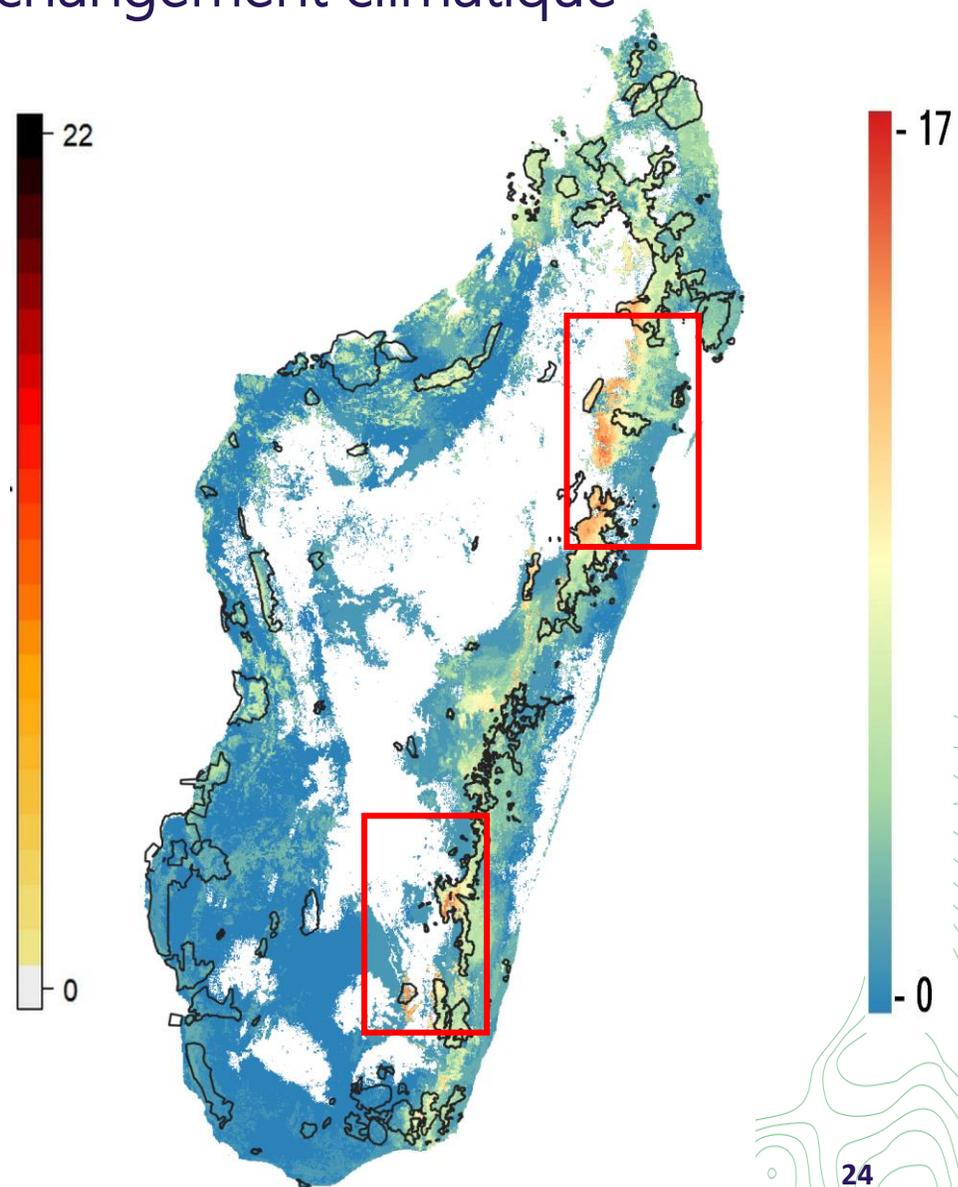
3) Analyse visuelle des effets du changement climatique



Richesse actuelle



Richesse futur prédite (8.5, no dispersal)



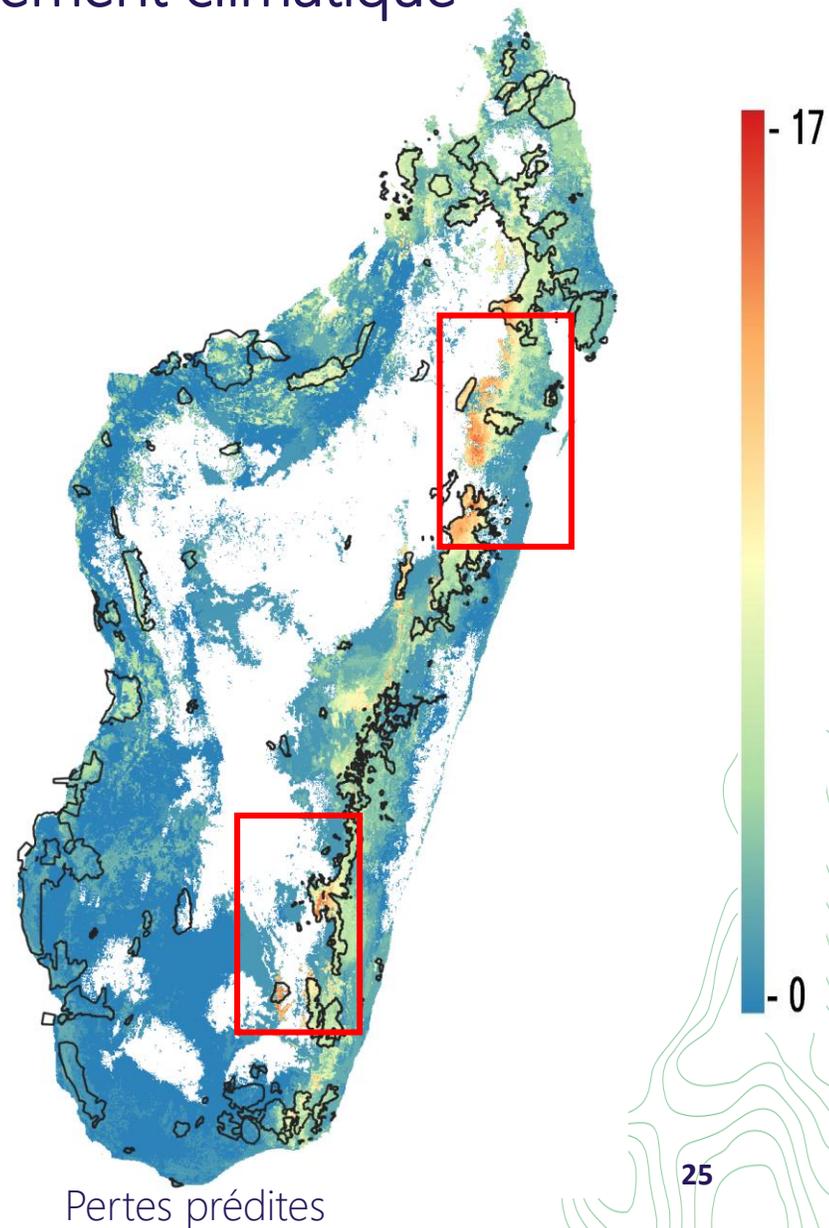
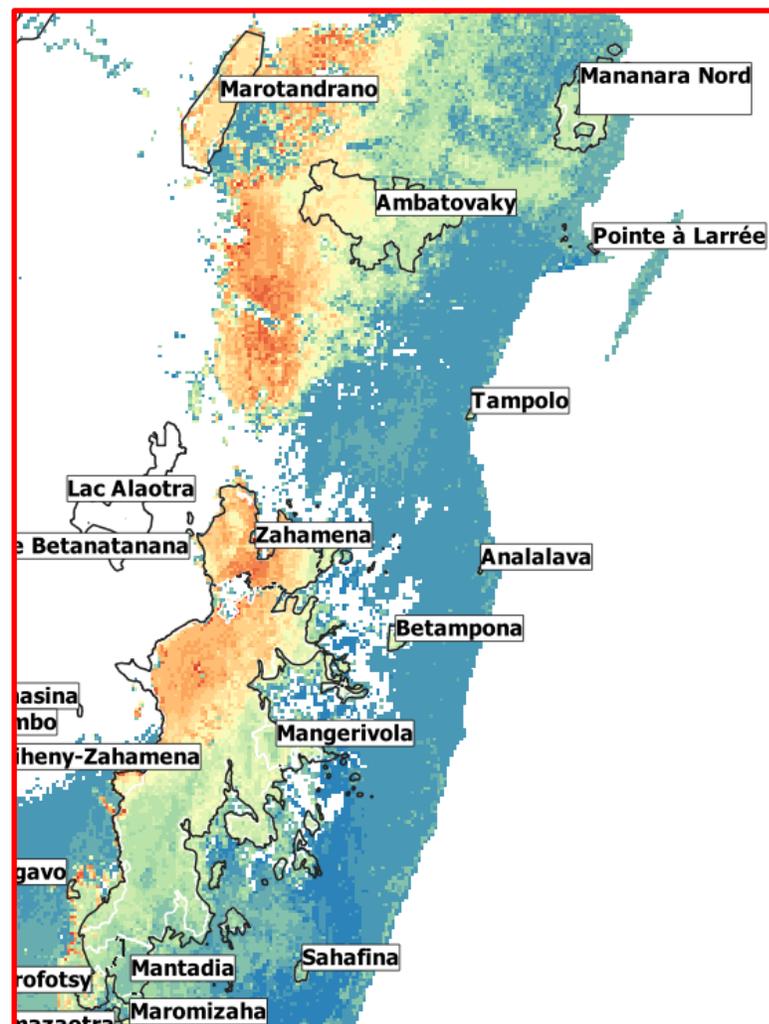
Pertes futur prédites

Résultats

3) Analyse visuelle des effets du changement climatique

Certaines zones sont particulièrement impactées:

- Le Corridor d'Ankeniheny-Zahamena
- La réserve national de Marotandrano
- La réserve spéciale de Kalambatritra

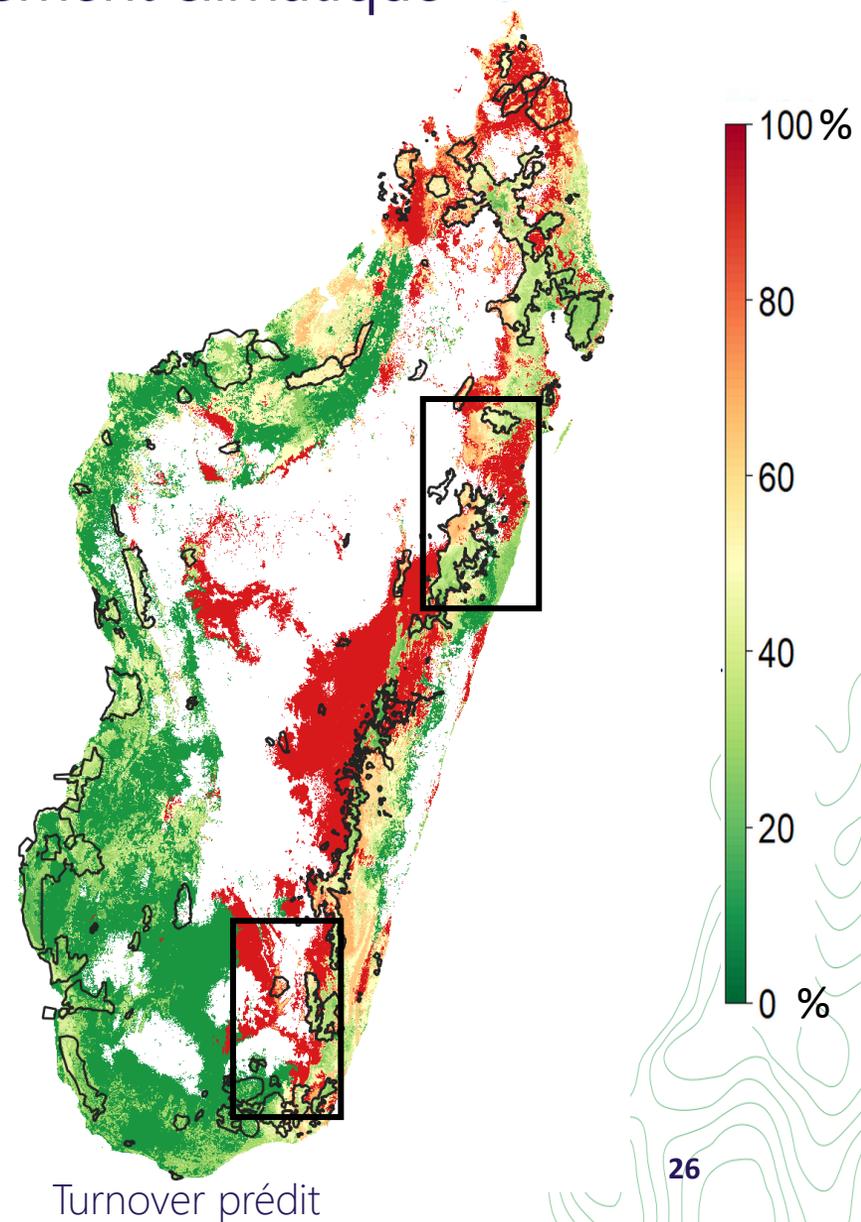


Résultats

3) Analyse visuelle des effets du changement climatique

Certaines zones sont particulièrement impactées:

- Le Corridor d'Ankeniheny-Zahamena
- La réserve national de Marotandrano
- La réserve spéciale de Kalambatritra

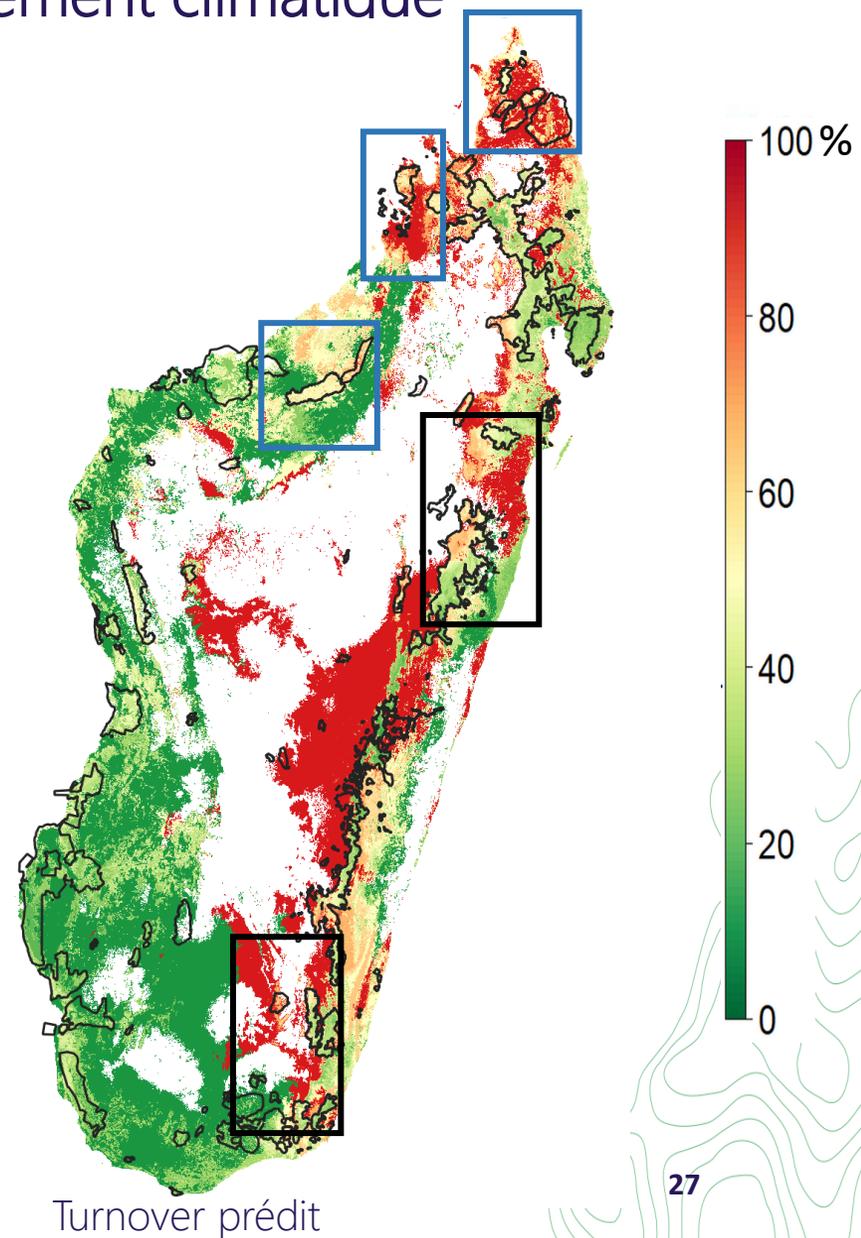


Résultats

3) Analyse visuelle des effets du changement climatique

Certaines zones sont particulièrement impactées:

- Le Corridor d'Ankeniheny-Zahamena
- La réserve national de Marotandrano
- La réserve spéciale de Kalambatritra
- Les environs de la montagne d'ambre
- La réserve de Manongarivo
- Le corridor de Bongolava

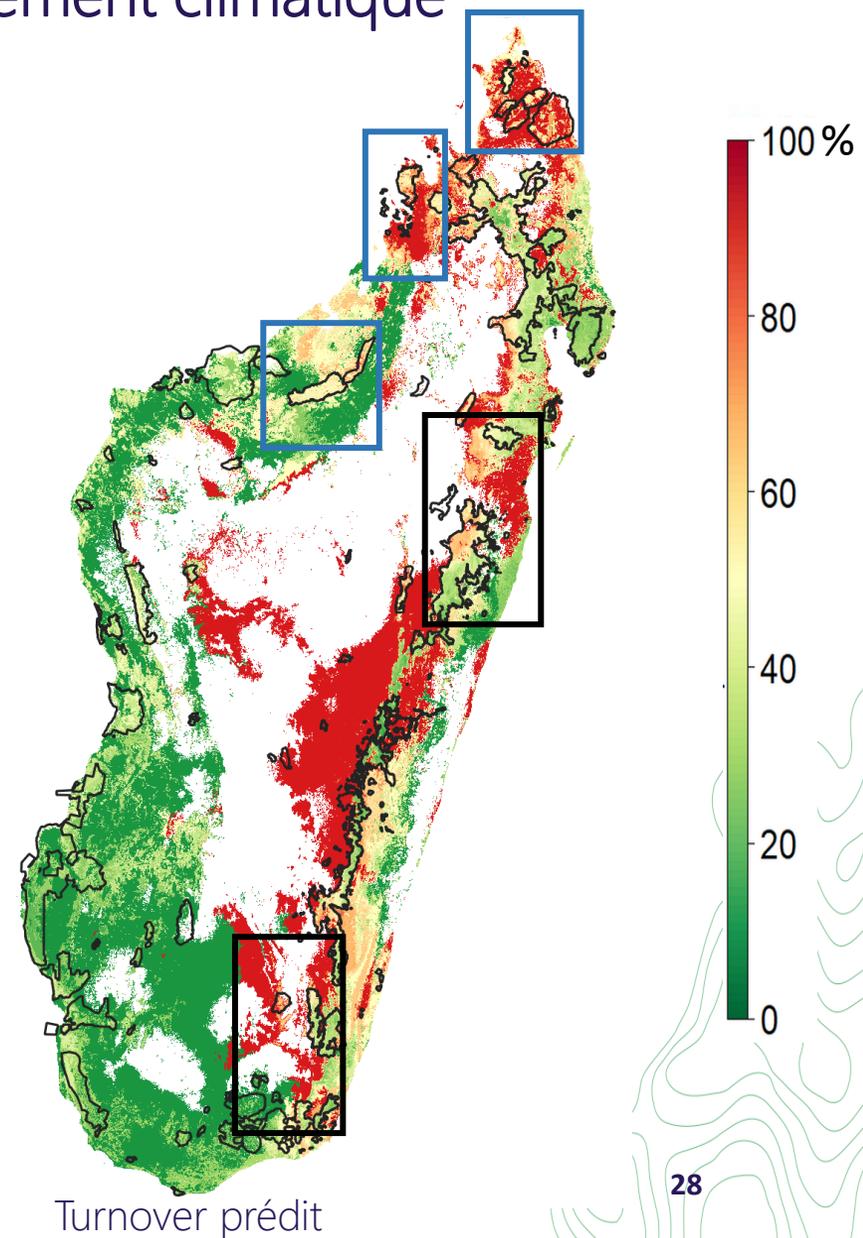
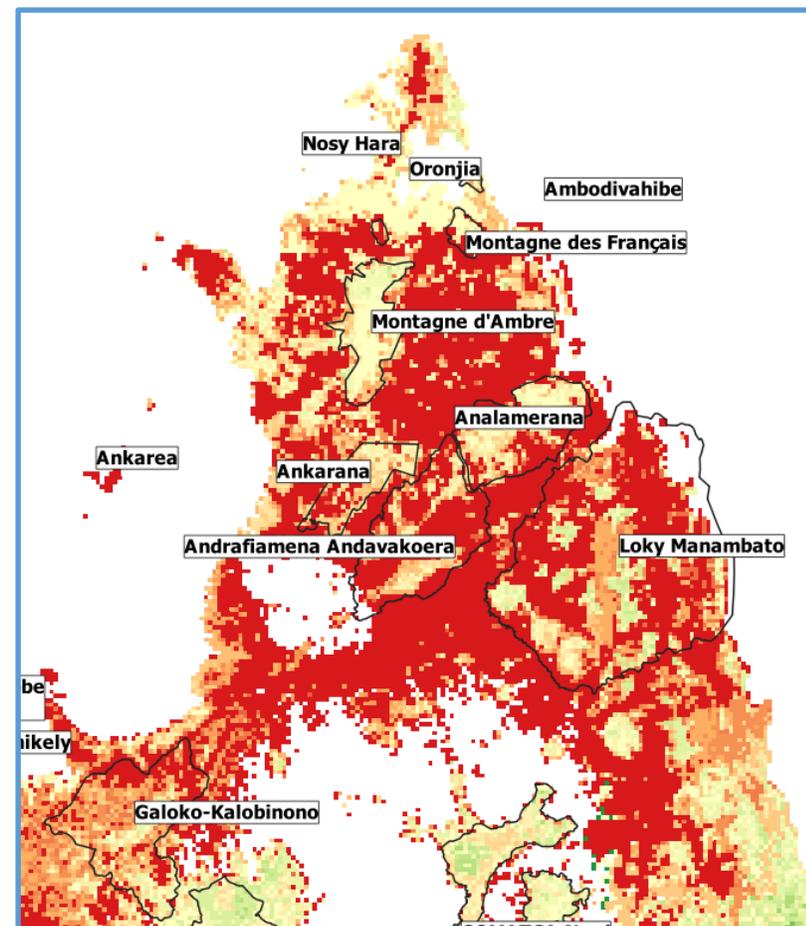


Résultats

3) Analyse visuelle des effets du changement climatique

Certaines zones sont particulièrement impactées:

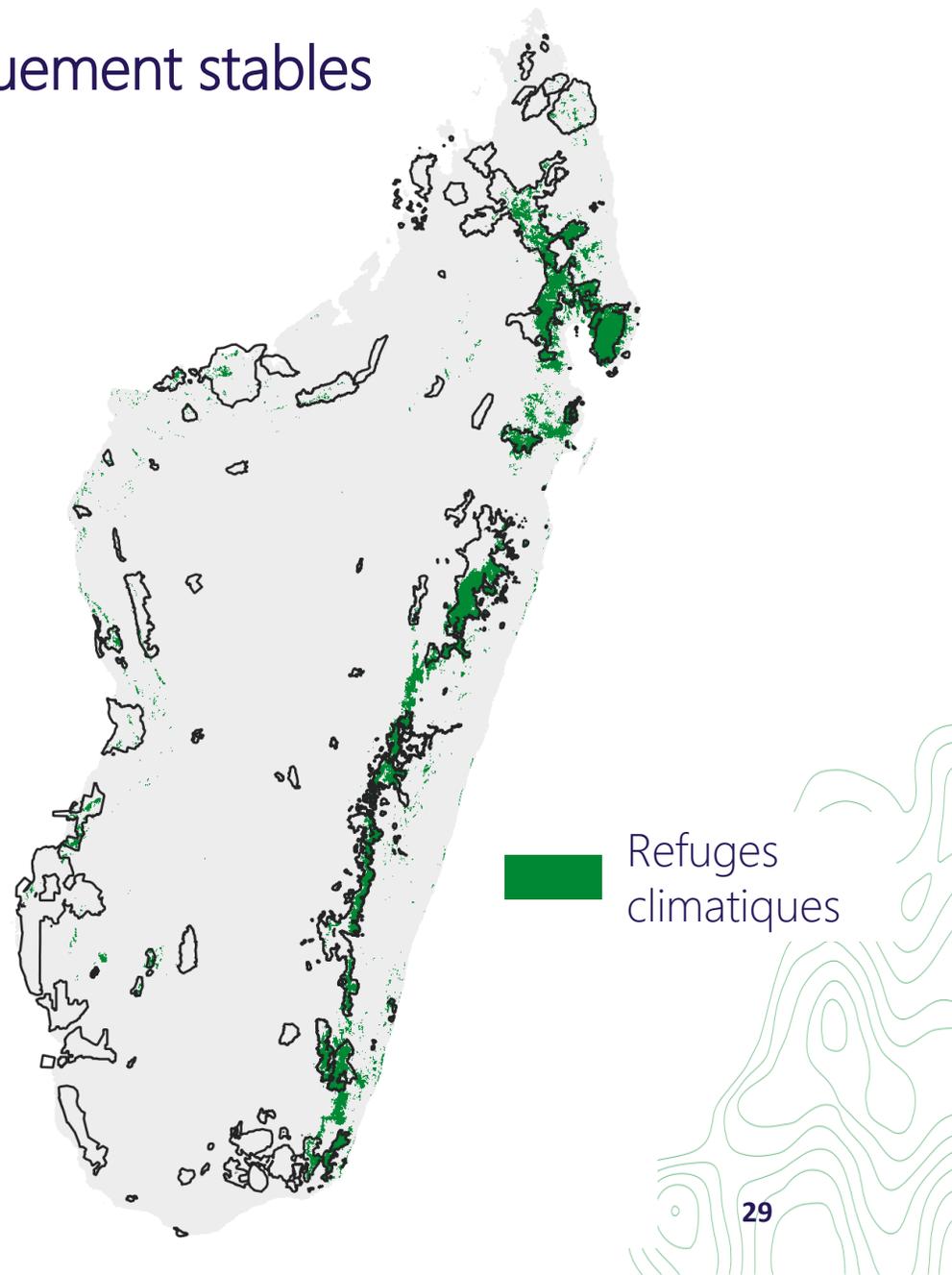
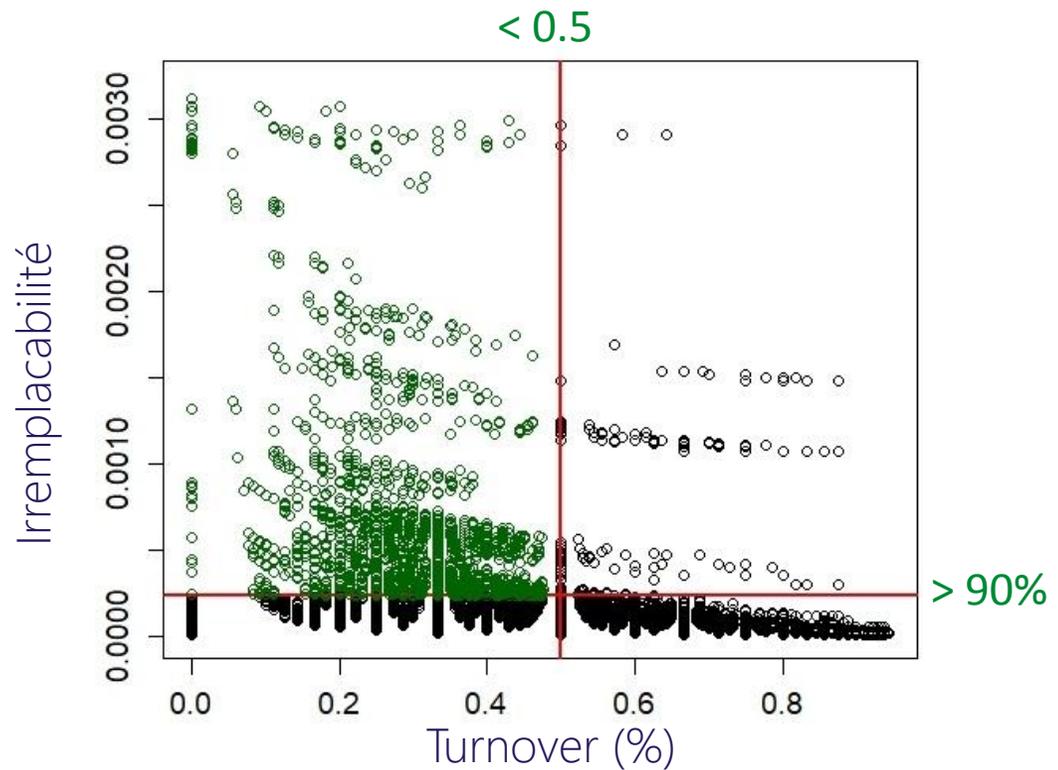
- Le Corridor d'Ankeniheny-Zahamena
- La réserve national de Marotandrano
- La réserve spéciale de Kalambatritra
- Les environs de la montagne d'ambre
- La réserve de Manongarivo
- Le corridor de Bongolava



Résultats

4) Identification des zones climatiquement stables

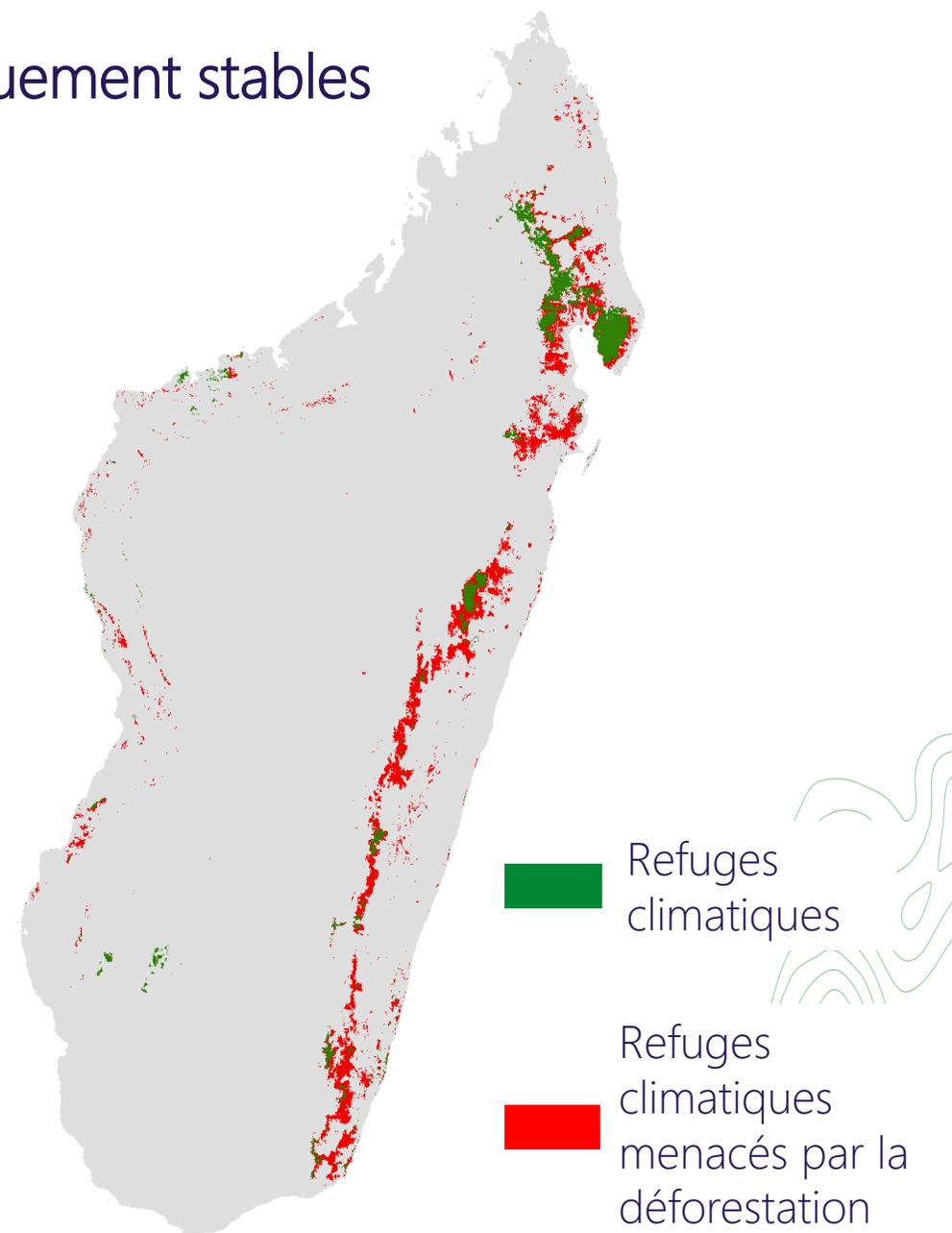
- 45% des zones identifiées sont à l'intérieur d'une zone protégée
- Ici, 50 espèces sont présentes dans le réseau



Résultats

5) Identification des zones climatiquement stables et menacées

Entre 69% et 75,5% des refuges sont menacés par la déforestation



Discussion: Effets directs du changement climatique et de la déforestation sur les lémuriens

95% des lémuriens classés: vulnérable, en danger ou en danger critique

- Ce chiffre est calculé sans prendre en compte le changement climatique

Alors que:

- 59% des espèces menacées par le changement climatique seul
- Le climat à un rôle plus important (presque 3x)

→ Résultats conservateurs



Discussion: Désentrelacer climat et déforestation

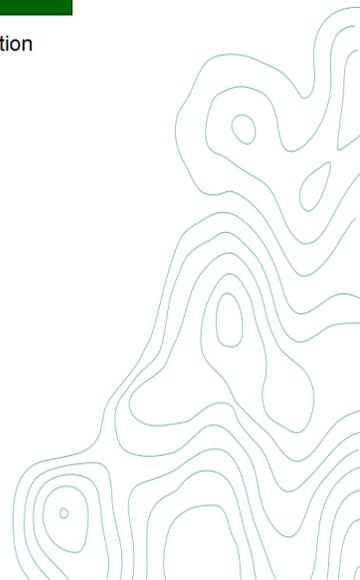
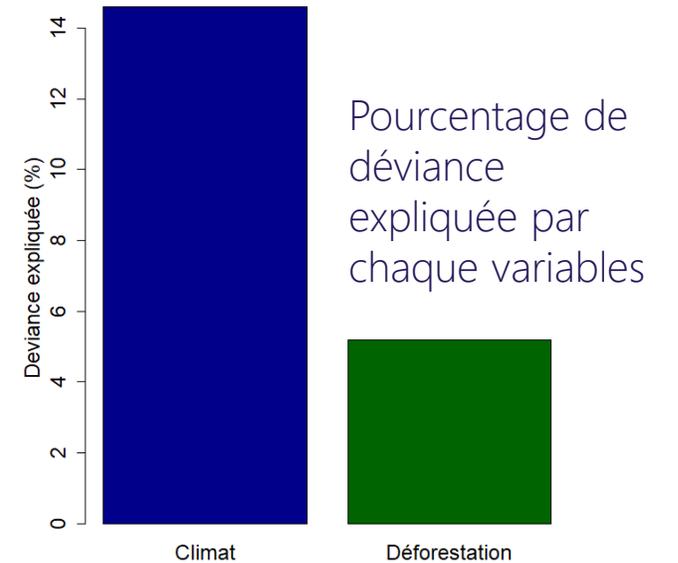
Rôle 3x plus important du changement climatique

- Corrobore avec les résultats de Feeley *et al.* (2012)

Plusieurs **raisons** viennent expliquer cette différence:

- Résilience des lémuriens
- Réponse des espèces à petite aire de distribution (Murray *et al.* 2011)

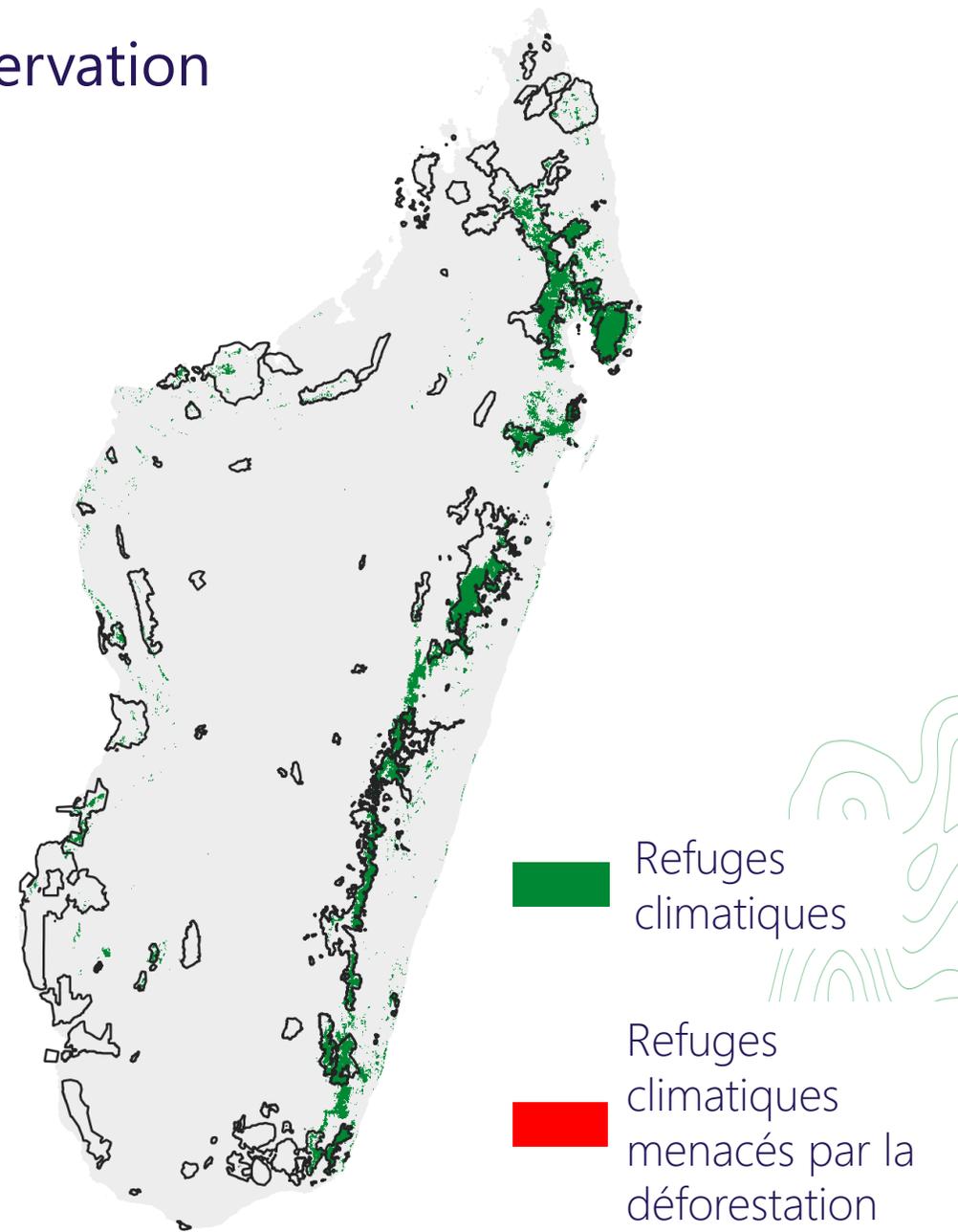
→ Nécessité pour les lémuriens de tolérer/s'adapter aux changements climatiques



Discussion: Implications en terme de conservation

Zones refuges principalement à l'est

- Coïncide avec de nombreuses réserves
- Fortes discontinuités

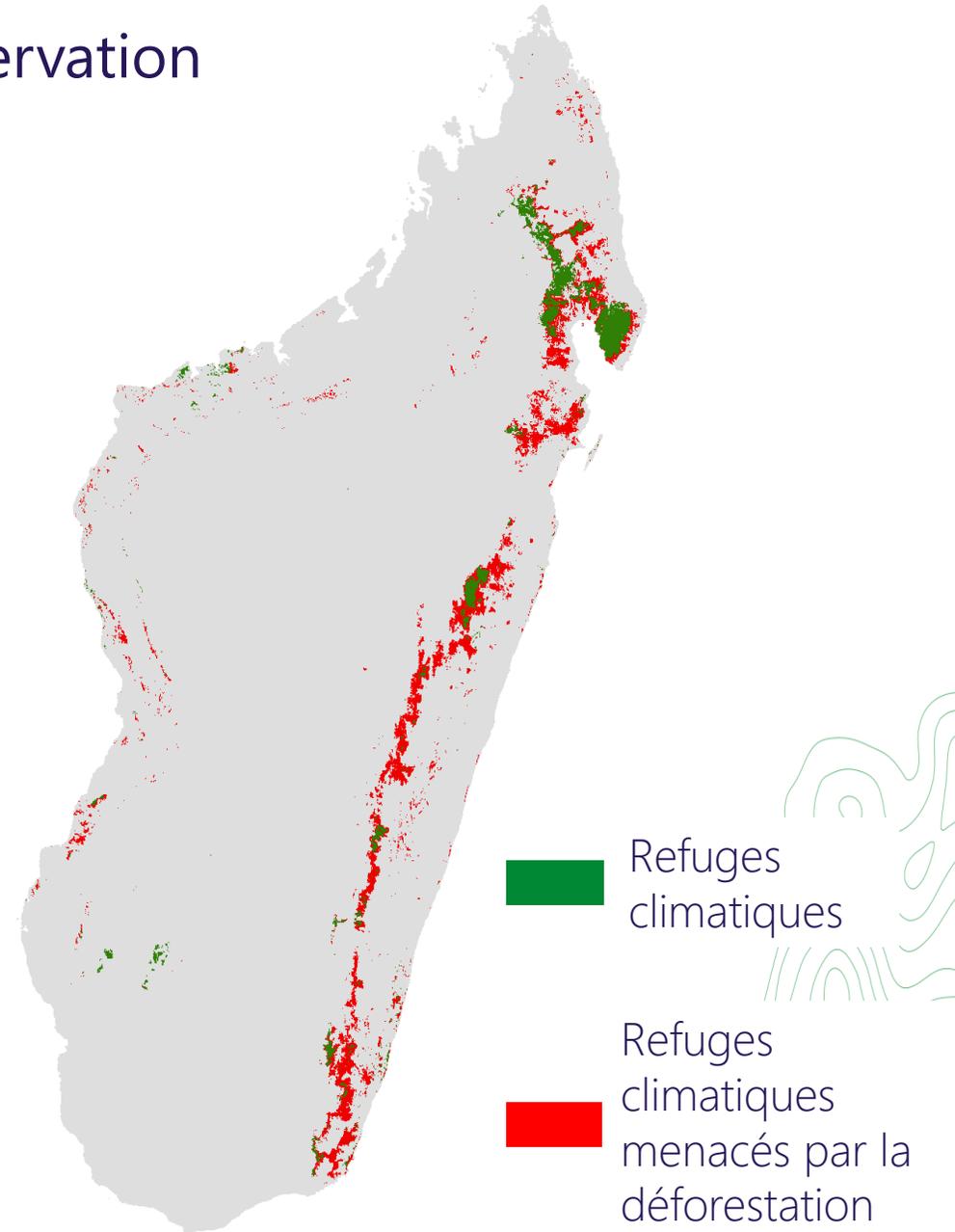


Discussion: Implications en terme de conservation

Zones refuges principalement à l'est

- Coïncide avec de nombreuses réserves
- Fortes discontinuités
- Effet dévastateur de la déforestation

Résultats conservateurs



Conclusion:

- Résultats renforcées par l'usage de modèles d'ensembles
→ Mais un seul scénario de déforestation
- Nécessité de la réduction des émissions de CO₂
- Besoins d'étendre ce travail à plus d'espèces



A large, leafy tree stands in the center of a landscape. The background features rolling hills and mountains under a bright sky. The foreground is filled with dense, tall grasses. The overall scene is a natural, outdoor setting.

Merci de votre attention

Allnutt, T.F., Ferrier, S., Manion, G., Powell, G.V.N., Ricketts, T.H., Fisher, B.L., Harper, G.J., Irwin, M.E., Kremen, C., Labat, J.-N., Lees, D.C., Pearce, T.A., Rakotondrainibe, F., 2008. A method for quantifying biodiversity loss and its application to a 50-year record of deforestation across Madagascar: Extinction estimates in Madagascar from deforestation. *Conservation Letters* 1, 173–181. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2008.00027.x>

Araujo, M., New, M., 2007. Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology & Evolution* 22, 42–47. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.09.010>

Brown, J.L., Yoder, A.D., 2015. Shifting ranges and conservation challenges for lemurs in the face of climate change. *Ecol Evol* 5, 1131–1142. <https://doi.org/10.1002/ece3.1418>

Dunham, A.E., Erhart, E.M., Wright, P.C., 2011. Global climate cycles and cyclones: consequences for rainfall patterns and lemur reproduction in southeastern Madagascar: CLIMATE EFFECTS ON LEMUR DEMOGRAPHY. *Global Change Biology* 17, 219–227. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02205.x>

Hansen, M.C., Potapov, P.V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S.A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S.V., Goetz, S.J., Loveland, T.R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C.O., Townshend, J.R.G., 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science* 342, 850–853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>

Harper, G.J., Steininger, M.K., Tucker, C.J., Juhn, D., Hawkins, F., 2007. Fifty years of deforestation and forest fragmentation in Madagascar. *Envir. Conserv.* 34. <https://doi.org/10.1017/S0376892907004262>

IUCN, 2019. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-2. <http://www.iucnredlist.org>. Last accessed on 20 August 2019.

Vieilledent, G., Grinand, C., Rakotomalala, F.A., Ranaivosoa, R., Rakotoarijaona, J.-R., Allnutt, T.F., Achard, F., 2018. Combining global tree cover loss data with historical national forest cover maps to look at six decades of deforestation and forest fragmentation in Madagascar. *Biological Conservation* 222, 189–197. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.04.008>

Outils: package R « speciesatlas »

Eulemur albifrons

Animalia, Lemuridae, EN



Eulemur albifrons is a medium-sized lemur with a head-body length of 39–42 cm, a tail length of 50–54 cm, an overall length of 89–96 cm, and a body weight

Eulemur flavifrons

(Gray, 1867), Animalia, Lemuridae, CR



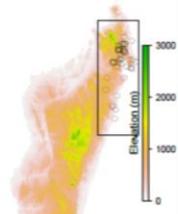
Lemur catta

Animalia, Lemuridae, EN



Lemur catta is a relatively large, diurnal lemur, easily recognized by its black-and-white ringed tail. It is by far the most terrestrial of the lemurs. It has a head-body length of 39–46 cm, a tail length of 56–63 cm, a total length of 95–110 cm, and a mean weight of 2.2 kg (Susman, 1991). The dorsal coat is gray to rosy-brown along the back, gray along the flanks, limbs and haunches, and darker gray on the crown and neck. The ventral coat is white to cream. The throat, cheeks, ears, and forehead are white. The muzzle is grayish and the nose is black. The eyes are circled by black, triangular rings. The tail is ringed with black-and-white transverse bands along its entire length, the tip being black. [...] <https://lemursofmadagascar.com>

Current distribution



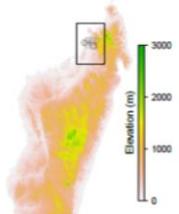
Climatic and altitudinal range

	temp	prec	tseas
Mean	217	2085	2219
2.5%	174	1311	1847
97.5%	244	3100	2538

Variable importance

	GLM	GAM	RF	M
temp	0.20	0.13	0.14	
prec	0.25	0.18	0.19	
tseas	0.38	0.32	0.40	
pseas	0.24	0.24	0.20	
cwd	1.00	1.00	0.33	
foret	0.12	0.11	0.50	

Current distribution



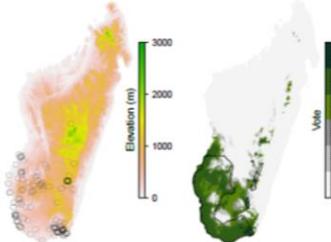
Climatic and altitudinal range

	temp	prec	tseas	pseas
Mean	262	1769	1186	110
2.5%	251	1617	946	107
97.5%	268	1885	1421	113

Variable importance

	GAM	RF	MaxE	ANN
temp	0.77	0.17	0.00	0.48
prec	0.87	0.42	0.41	0.89
tseas	0.96	0.43	0.89	0.77
pseas	0.84	0.19	0.52	0.77
cwd	0.87	0.26	0.33	0.76
foret	0.05	0.15	0.12	0.24

Current distribution



Climatic and altitudinal range

	temp	prec	tseas	pseas	cwd	foret	alt
Mean	231	739	2761	102	603	29	458
2.5%	158	423	2406	59	64	0	10
97.5%	258	1402	3190	135	901	100	1655

Variable importance

	GLM	GAM	RF	MaxE	ANN	mrank	rank
temp	0.05	0.35	0.26	0.17	0.26	4.20	5
prec	0.92	0.88	0.76	0.98	0.53	1.20	1
tseas	0.19	0.38	0.44	0.17	0.24	3.00	2
pseas	0.09	0.08	0.38	0.23	0.41	3.20	3
cwd	0.07	0.18	0.37	0.15	0.68	3.60	4
foret	0.05	0.07	0.28	0.12	0.13	5.80	6

N. of observation used in the models

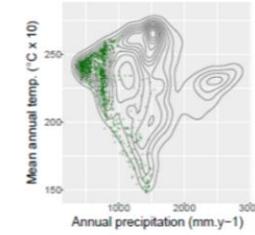
N = 132

Species distribution area

SDA = 119 458 km²

Model performance

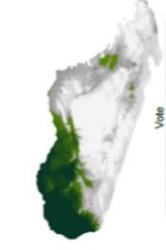
	ROC	OA	TSS
Value	0.99	0.80	0.76



Vulnerability to climate change

Full dispersal

Zero dispersal

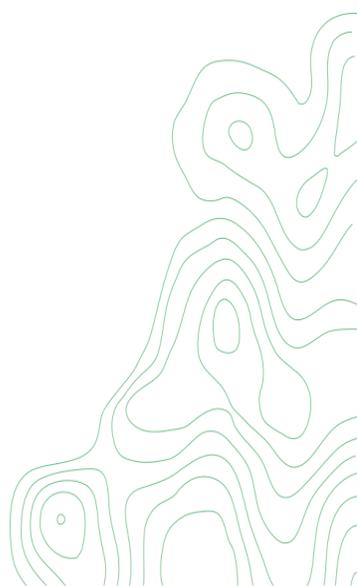


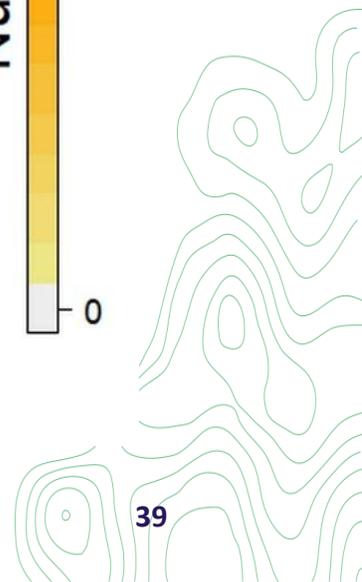
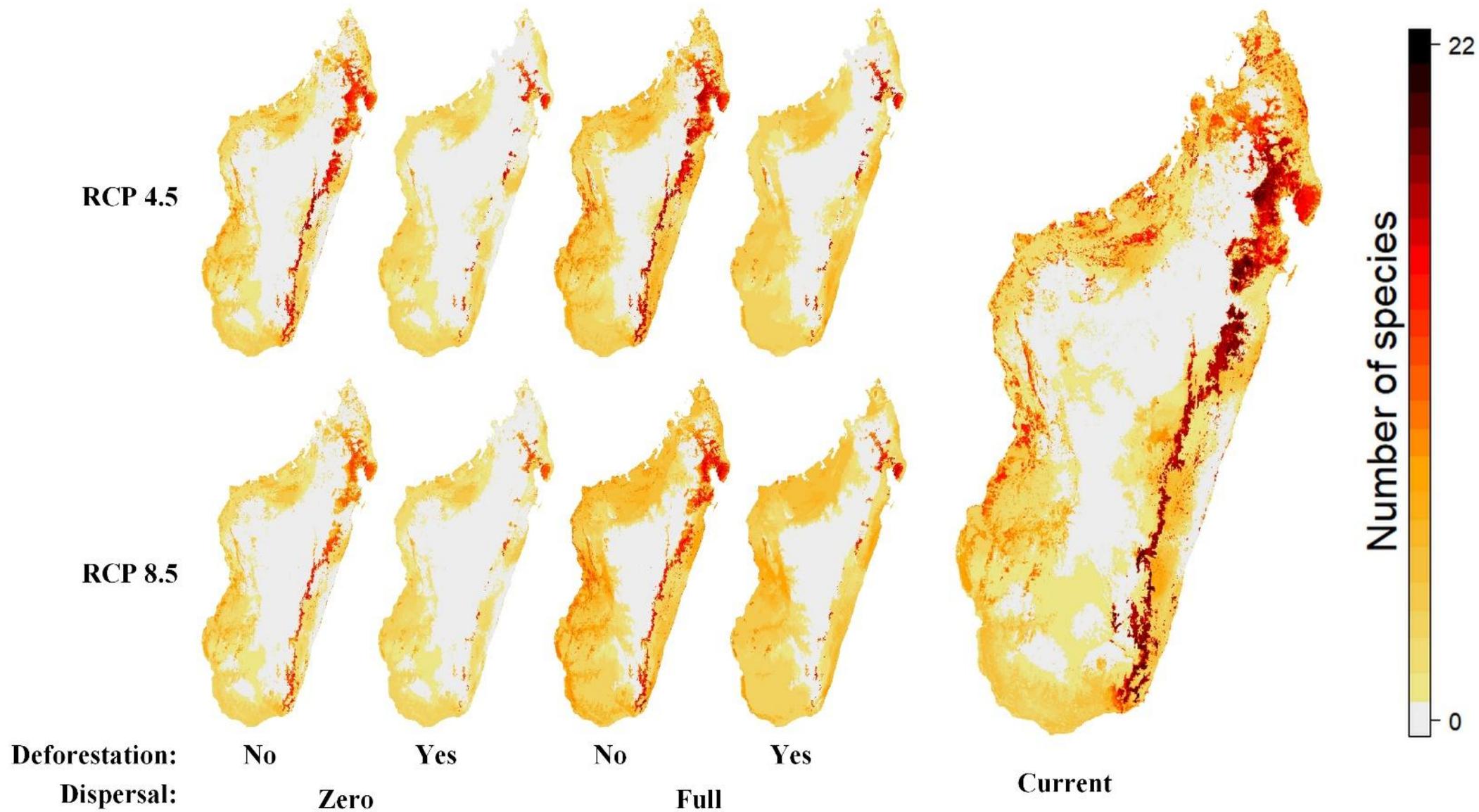


Scenarios

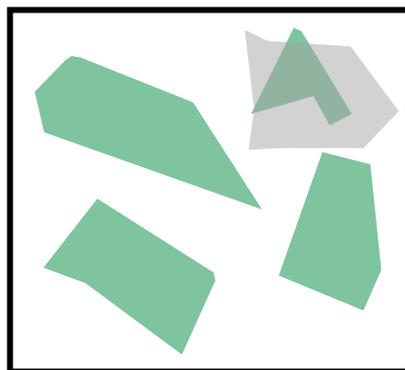
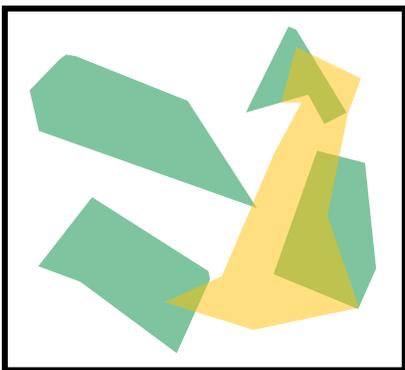
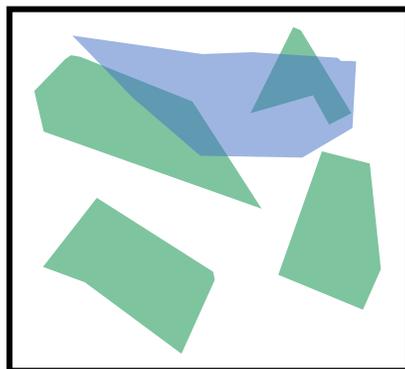
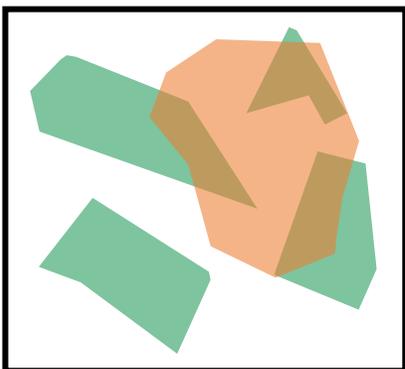
	RCP	Year	Disp	Area	Change
1	85	2080	full	156 402	31
2	85	2080	zero	100 757	-16

39





- Irremplacabilité : importance relative d'une zone à la conservation d'une espèce

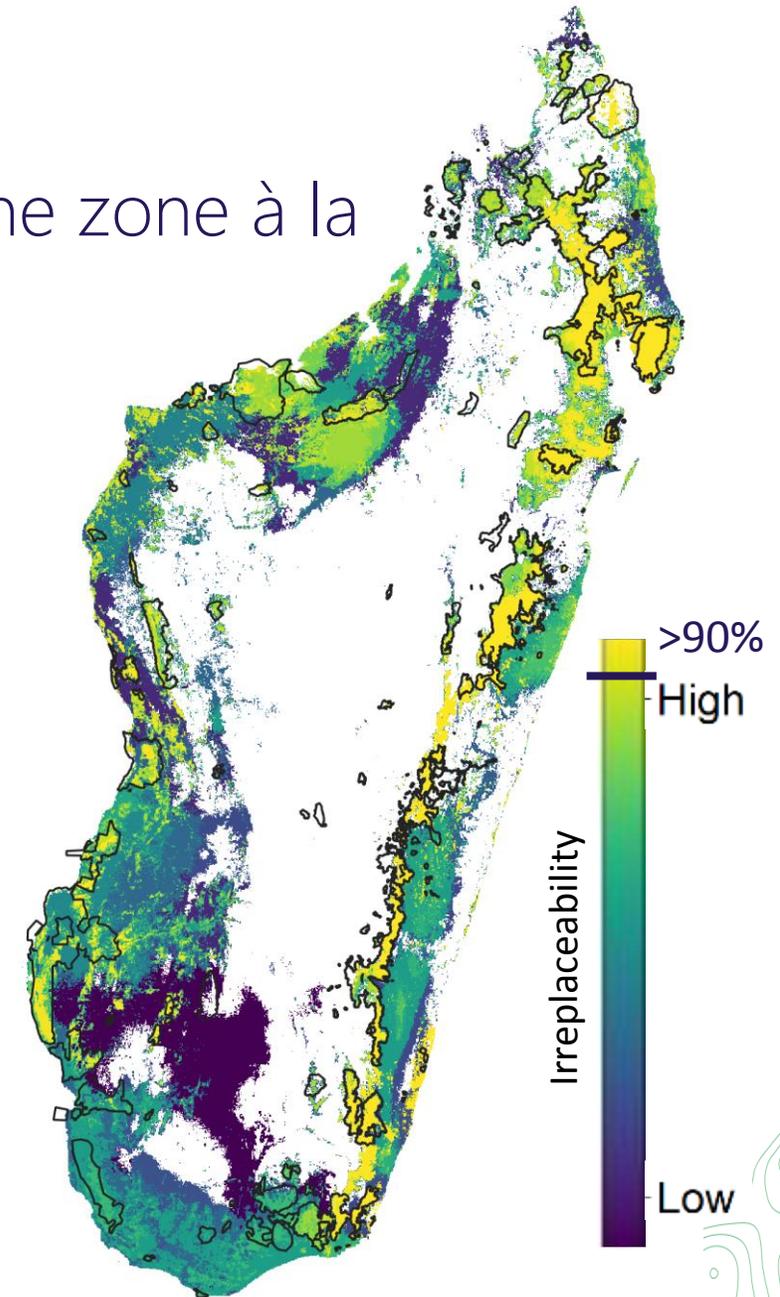
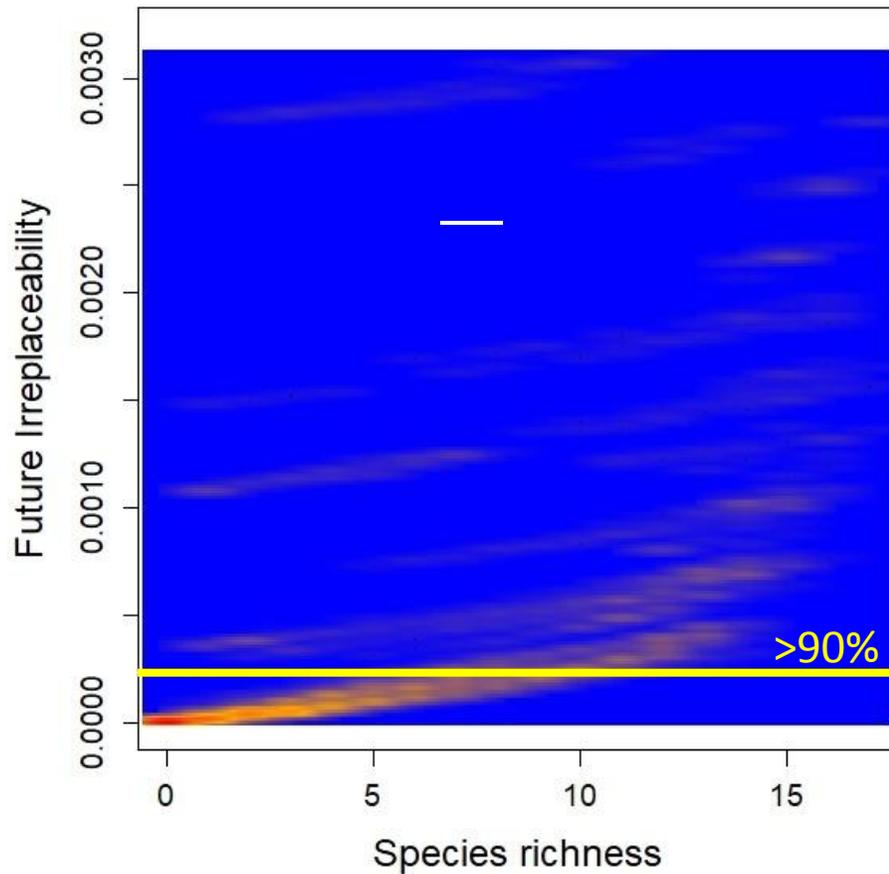


Aires protégées

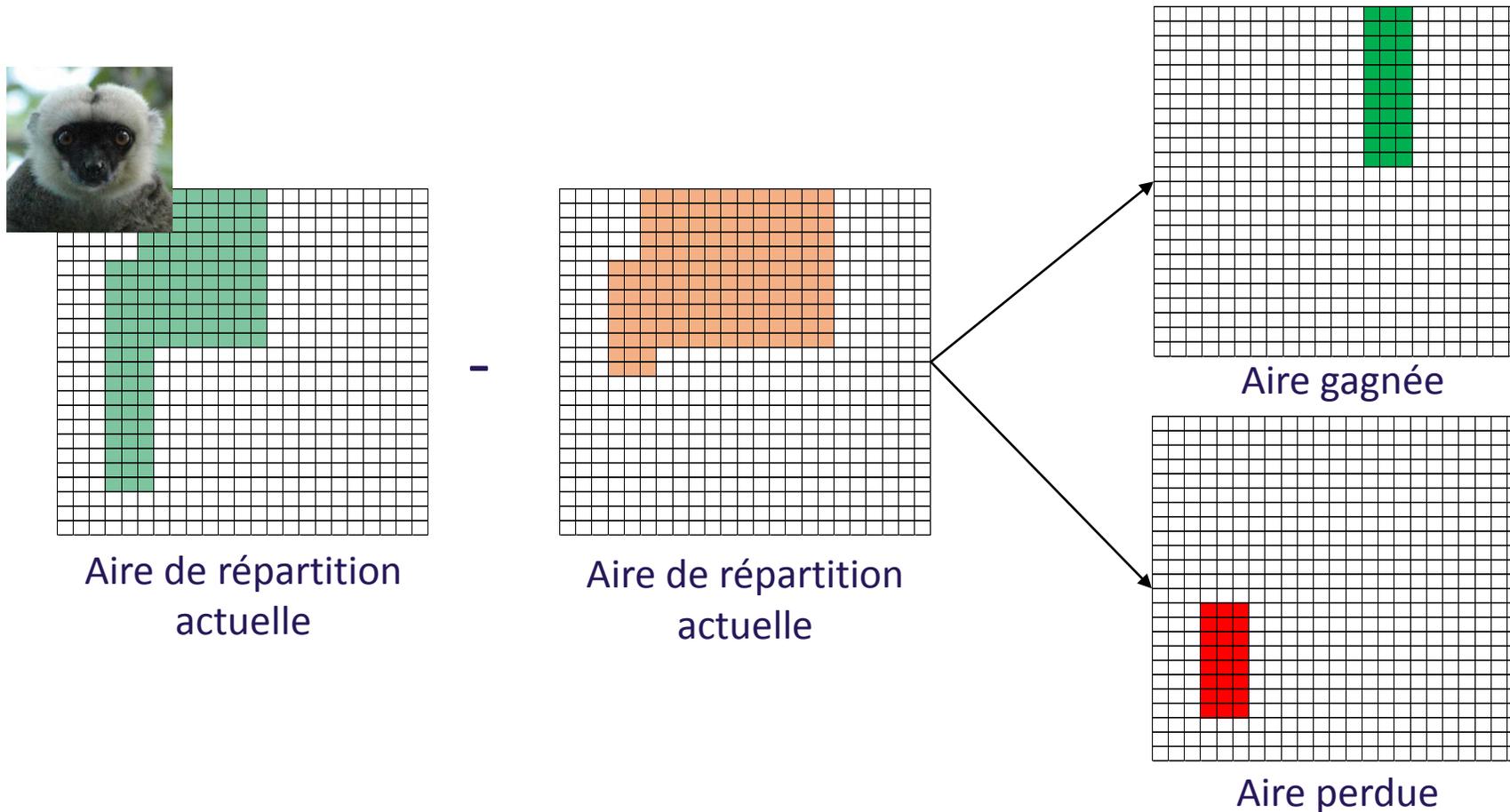


Aires de répartition
de 4 espèces

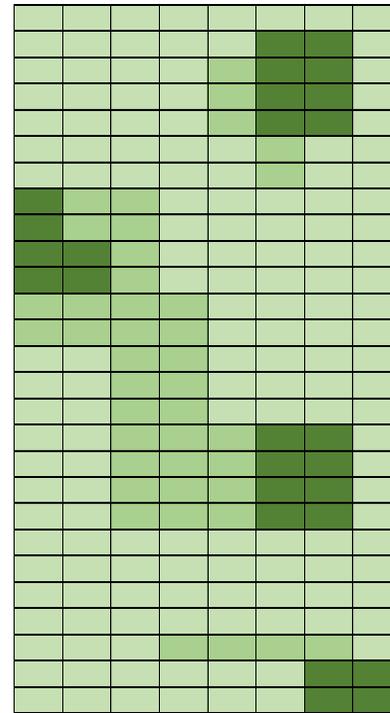
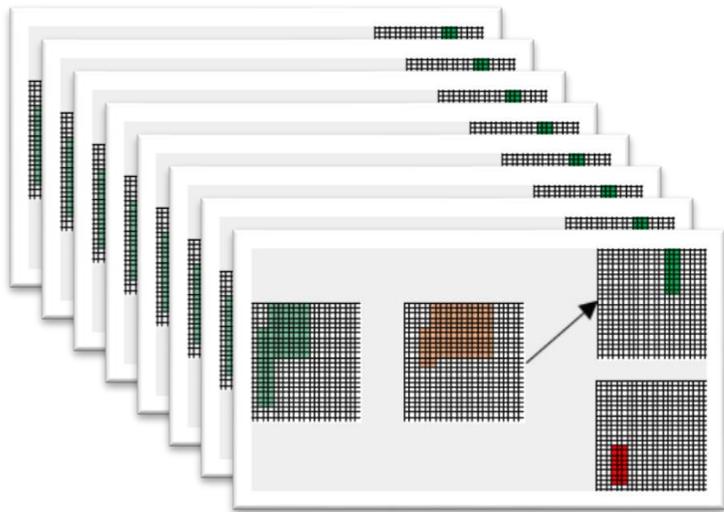
- Irremplacabilité : importance relative d'une zone à la conservation d'une espèce



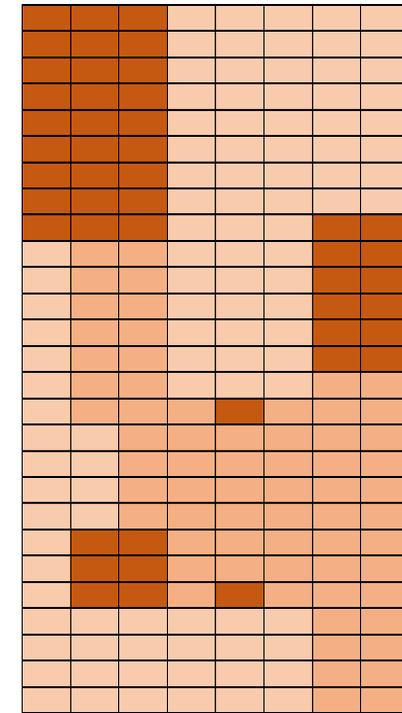
- Calcul de gain et de perte:
Combien de d'espèces ont été gagnées/perdus par cellules ?



- Calcul de gain et de perte:
Combien de d'espèces ont été gagnées/perdues par cellules ?



Nombre d'espèces
ayant **étendues** leur
aire de distribution



Nombre d'espèces
ayant **réduit** leur aire
de distribution

- Turnover = Taux de renouvellement d'un assemblage

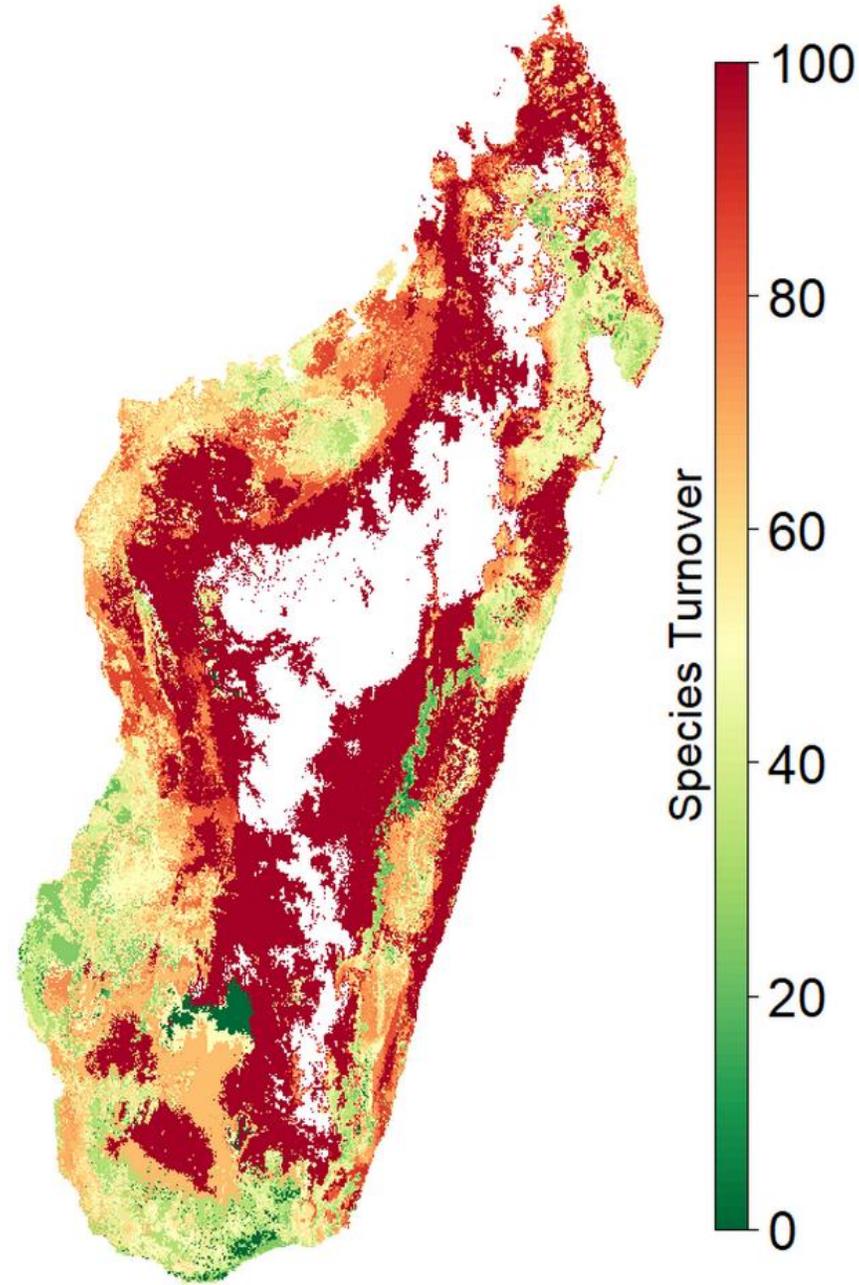
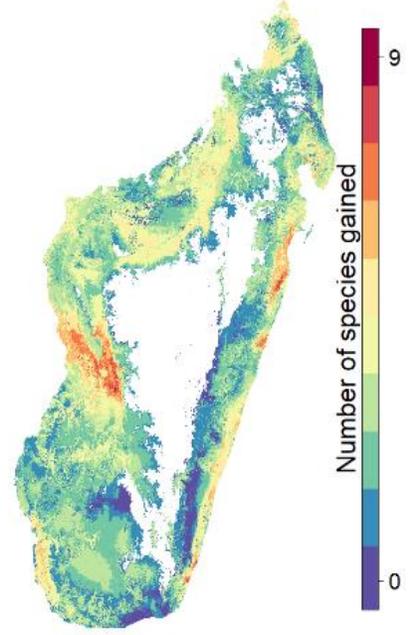
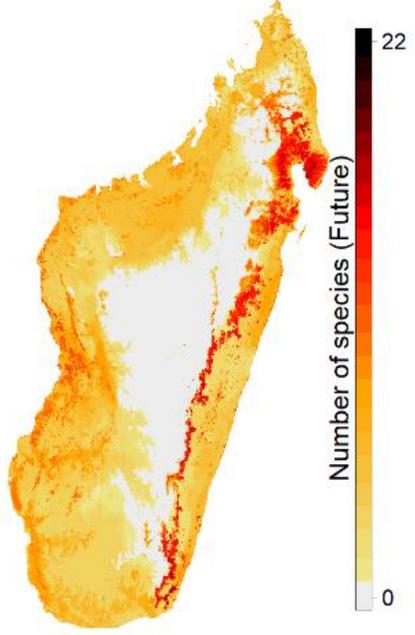
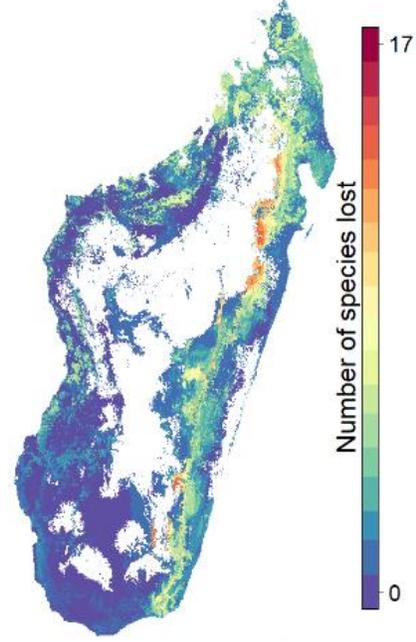
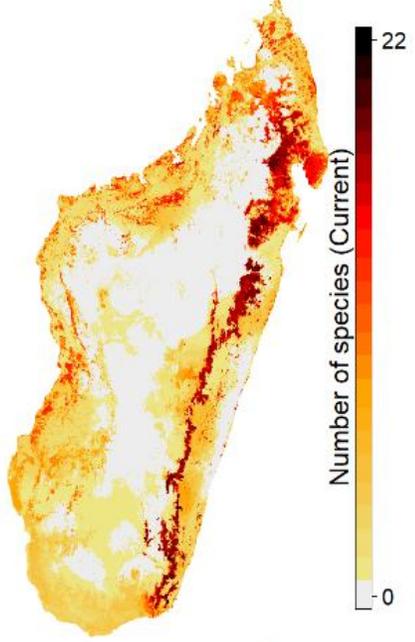
Avec G = nombre d'espèce **gagnées**
dans le futur
P = nombre d'espèces **perdus**
dans le futur
R = Richesse dans le présent

Tr est compris entre **0 et 1**

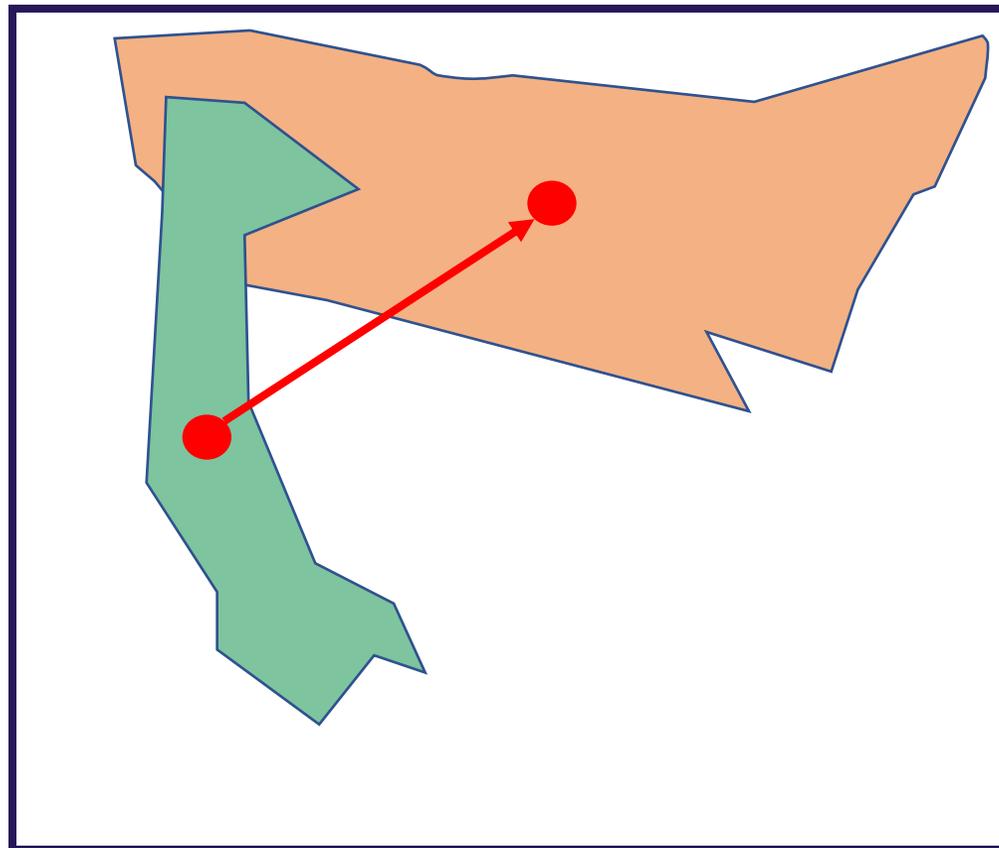
0 = **Pas de changement** de l'assemblage

1 = **Remplacement complet** de l'assemblage





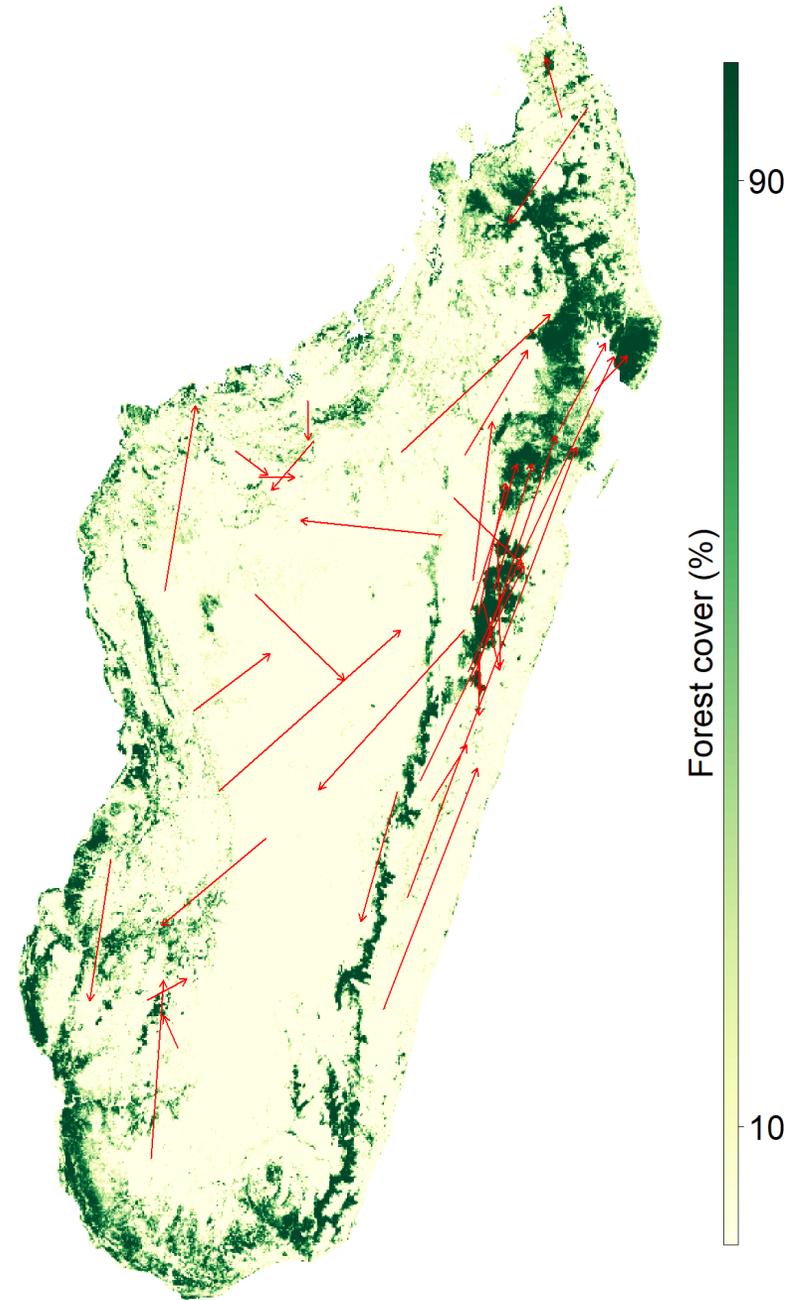
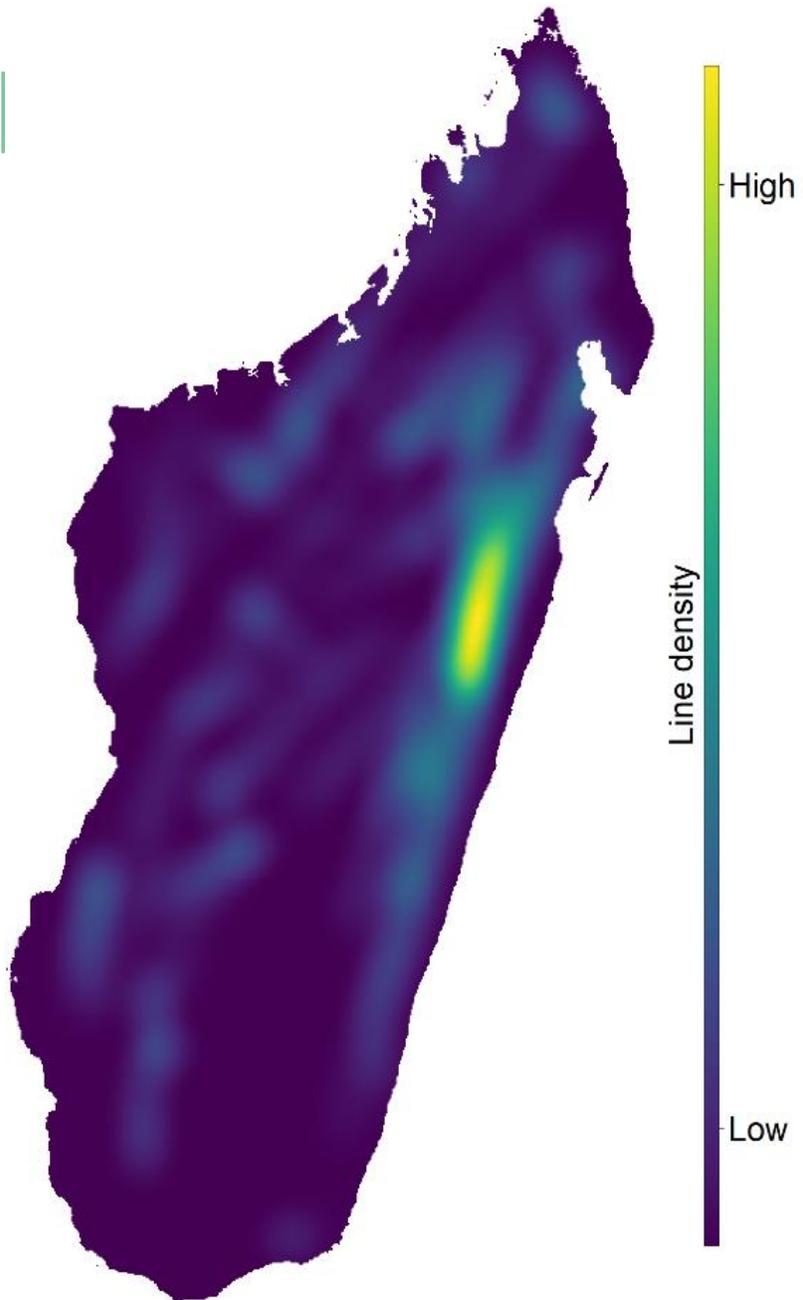
- Calcul du vecteur de dispersion entre aire de distribution actuelle et futur



 Aire actuelle

 Aire futur





Méthode

Modélisation de l'aire de distribution futur:

- Méthode d'« Ensemble forecasting »: projection des modèles issues des 5 algorithmes sur 3 GCMs et agrégations des résultats

