



© Pascal Marchand



Journée jeunes chercheurs

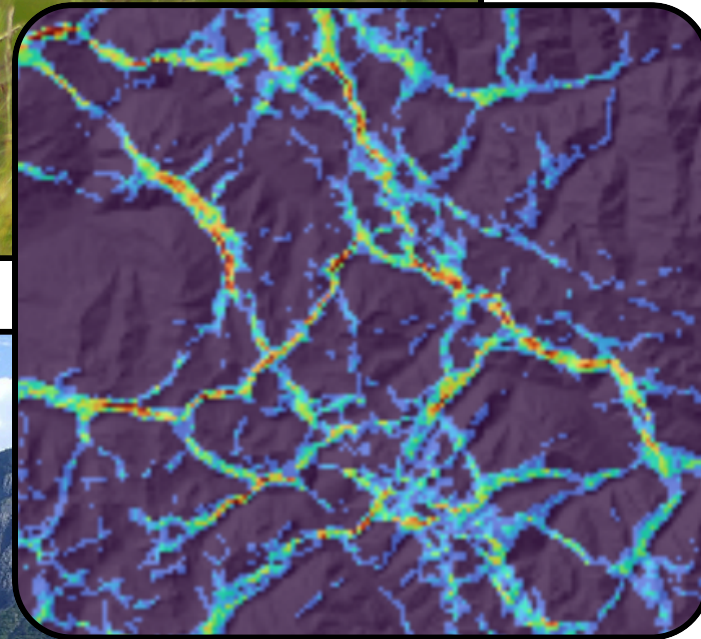
Connecter des habitats favorables : modélisation de la connectivité effective pour la migration du bouquetin des Alpes

Titouan Hommeau

Supervisé par : Pascal Marchand



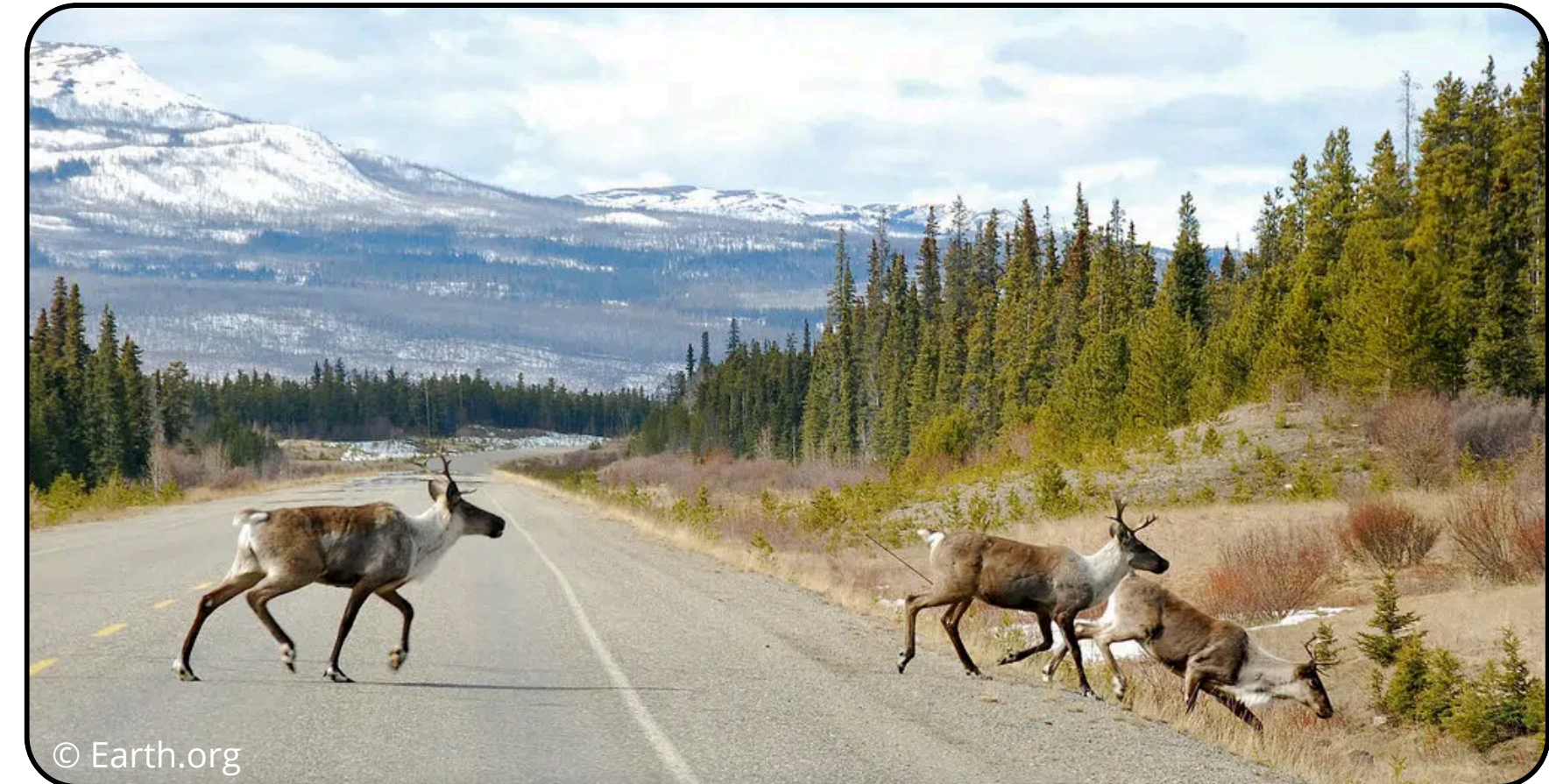
© Florian Pépellin



Université de Rennes

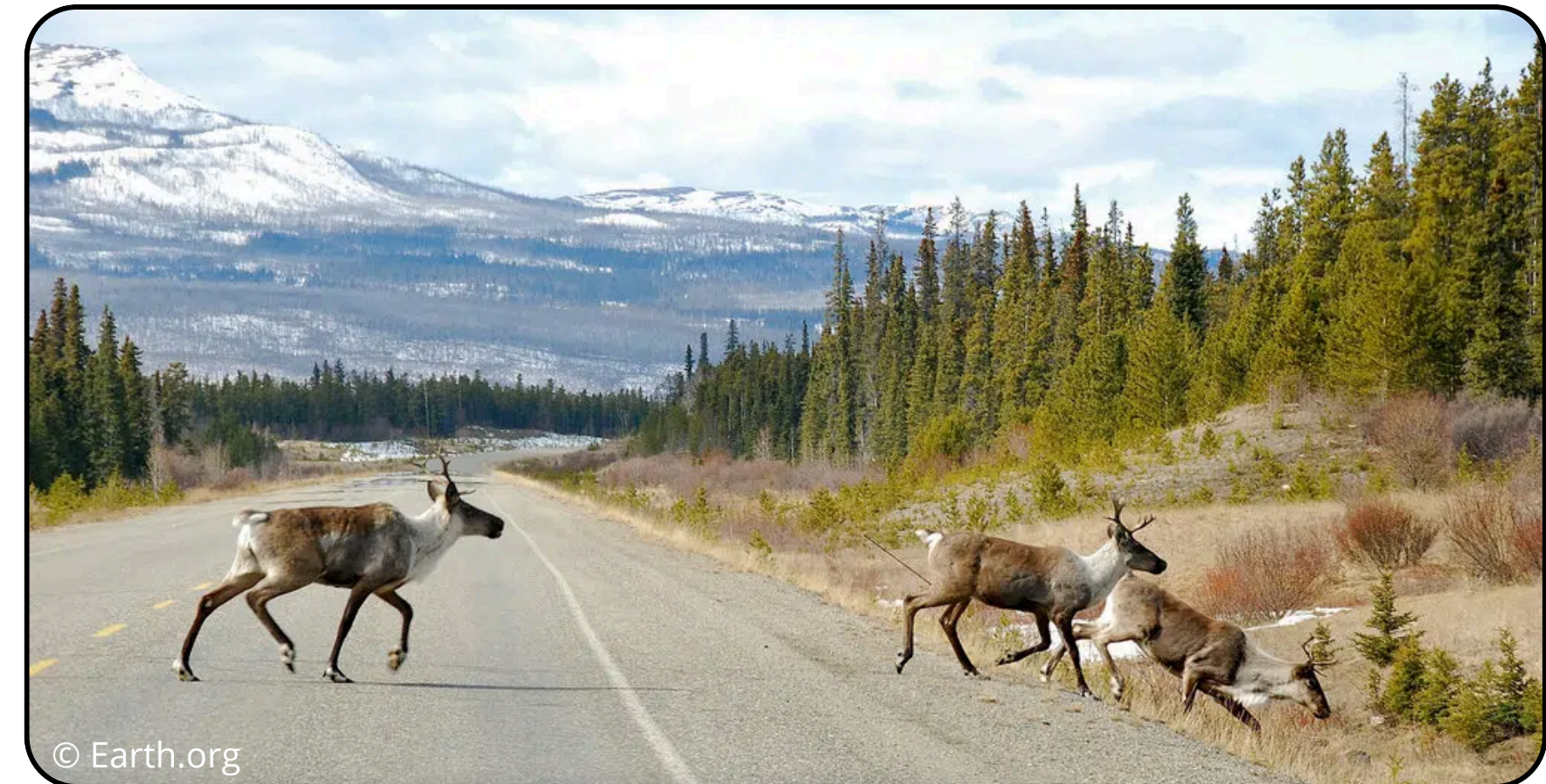


- **Fragmentation de l'habitat** : cause majeure de la crise de la biodiversité
- Réduction globale des **mouvements** chez les animaux terrestres



- **Fragmentation de l'habitat** : cause majeure de la crise de la biodiversité
- Réduction globale des **mouvements** chez les animaux terrestres
- Comment la fragmentation impacte les déplacements des animaux ?

↪ **ETUDE DE LA CONNECTIVITÉ**



CONNECTIVITÉ

- Écologie du paysage et métapopulations

“le degré auquel un paysage facilite ou empêche le mouvement des organismes”

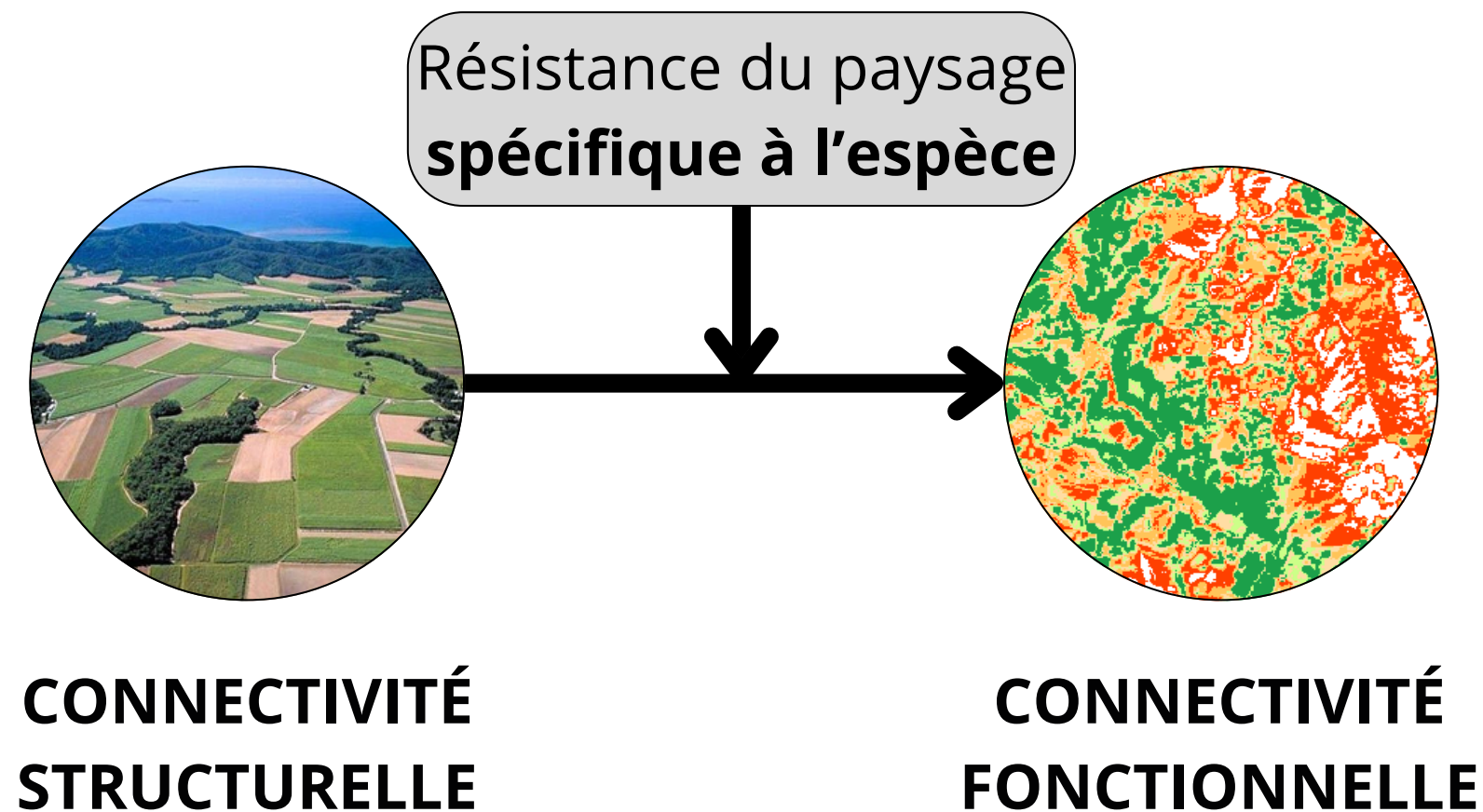


CONNECTIVITÉ STRUCTURELLE

CONNECTIVITÉ

- Écologie du paysage et métapopulations

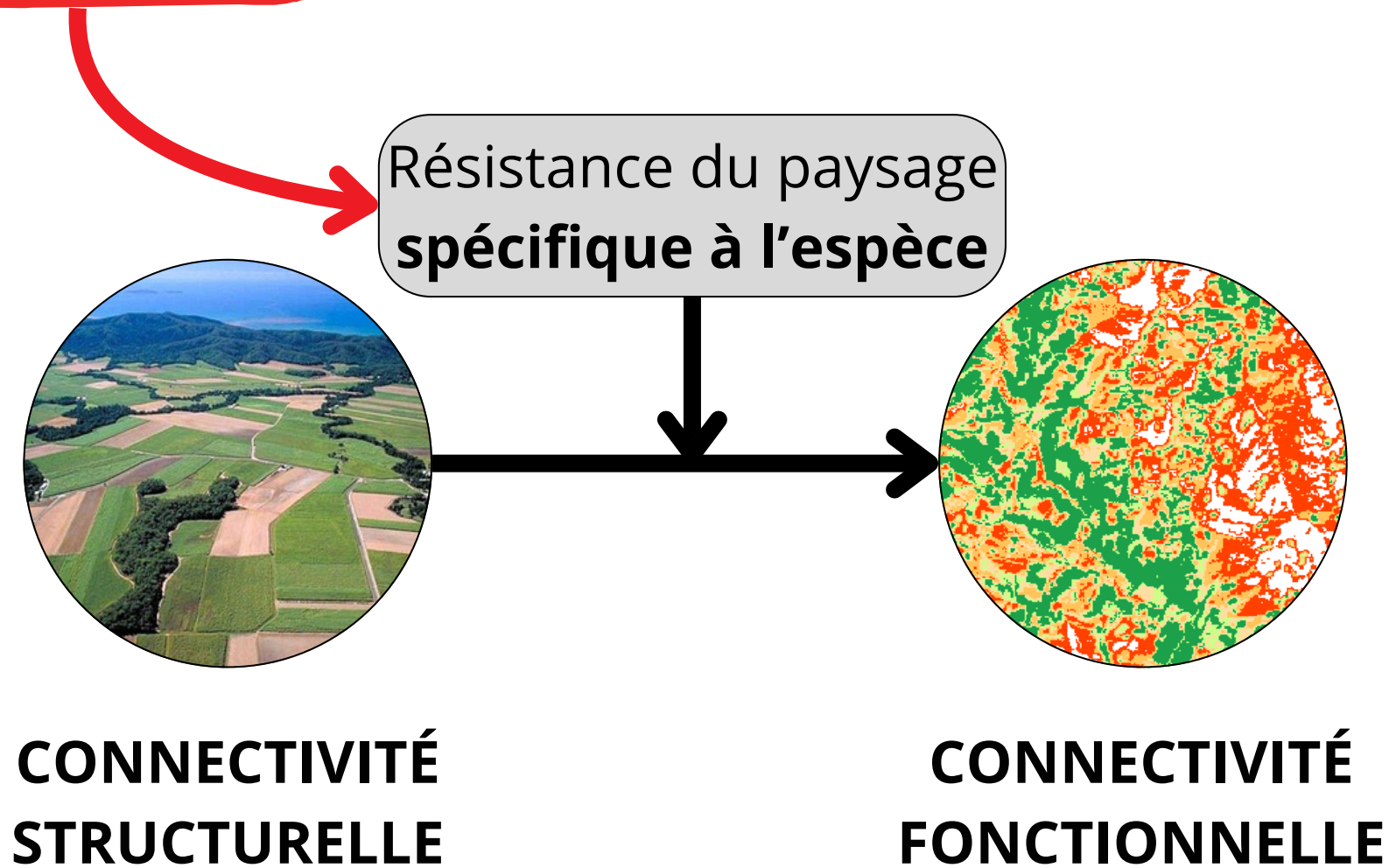
“le degré auquel un paysage facilite ou empêche le mouvement des organismes”



CONNECTIVITÉ

- Écologie du paysage et métapopulations

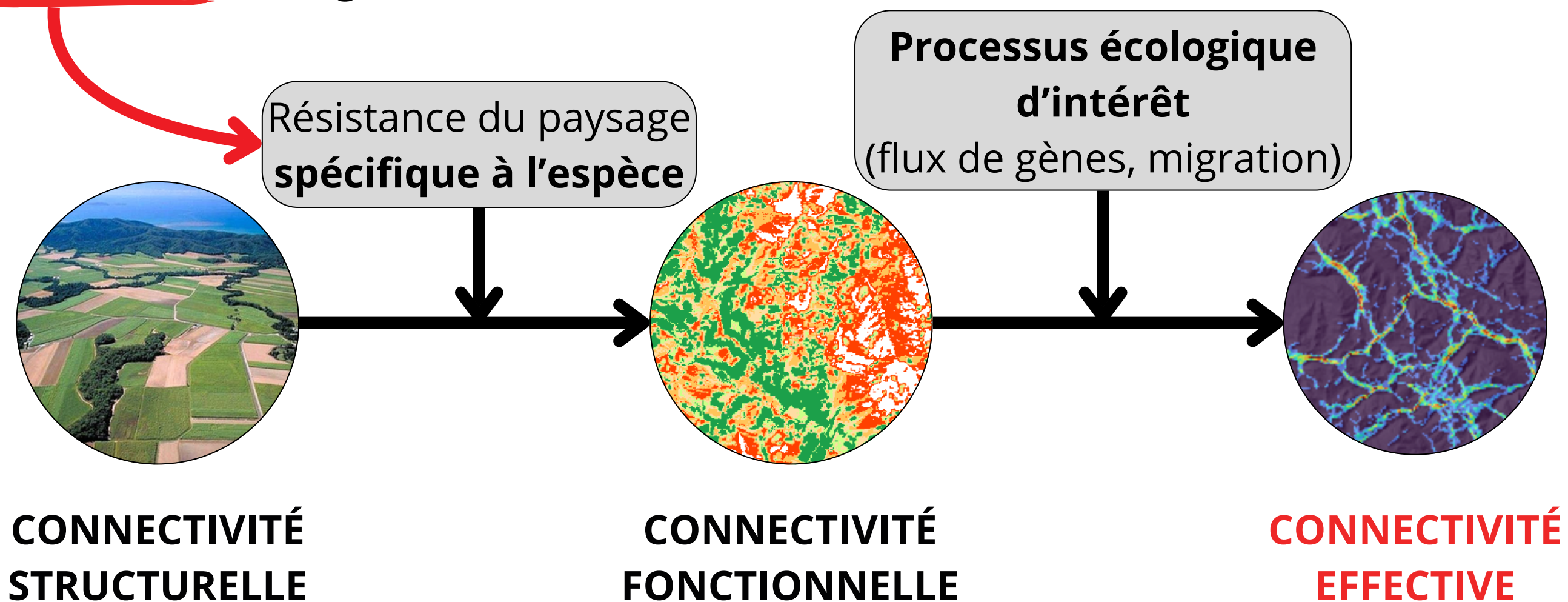
“le degré auquel un paysage facilite ou empêche le mouvement des organismes”



CONNECTIVITÉ

- Écologie du paysage et métapopulations

“le degré auquel un paysage facilite ou empêche le mouvement des organismes”



LA CONNECTIVITÉ EFFECTIVE DANS LES ECOSYSTÈMES ALPINS



LA CONNECTIVITÉ EFFECTIVE DANS LES ECOSYSTÈMES ALPINS

- **Fragmentation** importante
 - Topographie
 - Anthropisation






LA CONNECTIVITÉ EFFECTIVE DANS LES ECOSYSTÈMES ALPINS

- **Fragmentation** importante
 - Topographie
 - Anthropisation
 - Changement climatique



LA CONNECTIVITÉ EFFECTIVE DANS LES ECOSYSTÈMES ALPINS

- **Fragmentation** importante
 - Topographie 
 - Anthropisation 
 - Changement climatique 
- **Variations saisonnières** importantes des conditions climatiques
 - ↳ Importance de la migration entre des habitats favorables



MODÈLE BIOLOGIQUE : LE BOUQUETIN DES ALPES

- **Espèce emblématique** jouant un rôle clé dans les écosystèmes alpins



© Pascal Marchand

MODÈLE BIOLOGIQUE : LE BOUQUETIN DES ALPES

- **Espèce emblématique** jouant un rôle clé dans les écosystèmes alpins
- Importance des **migrations saisonnières**
 - Accéder aux **ressources alimentaires**
 - Echapper aux **conditions climatiques** défavorables (neige)

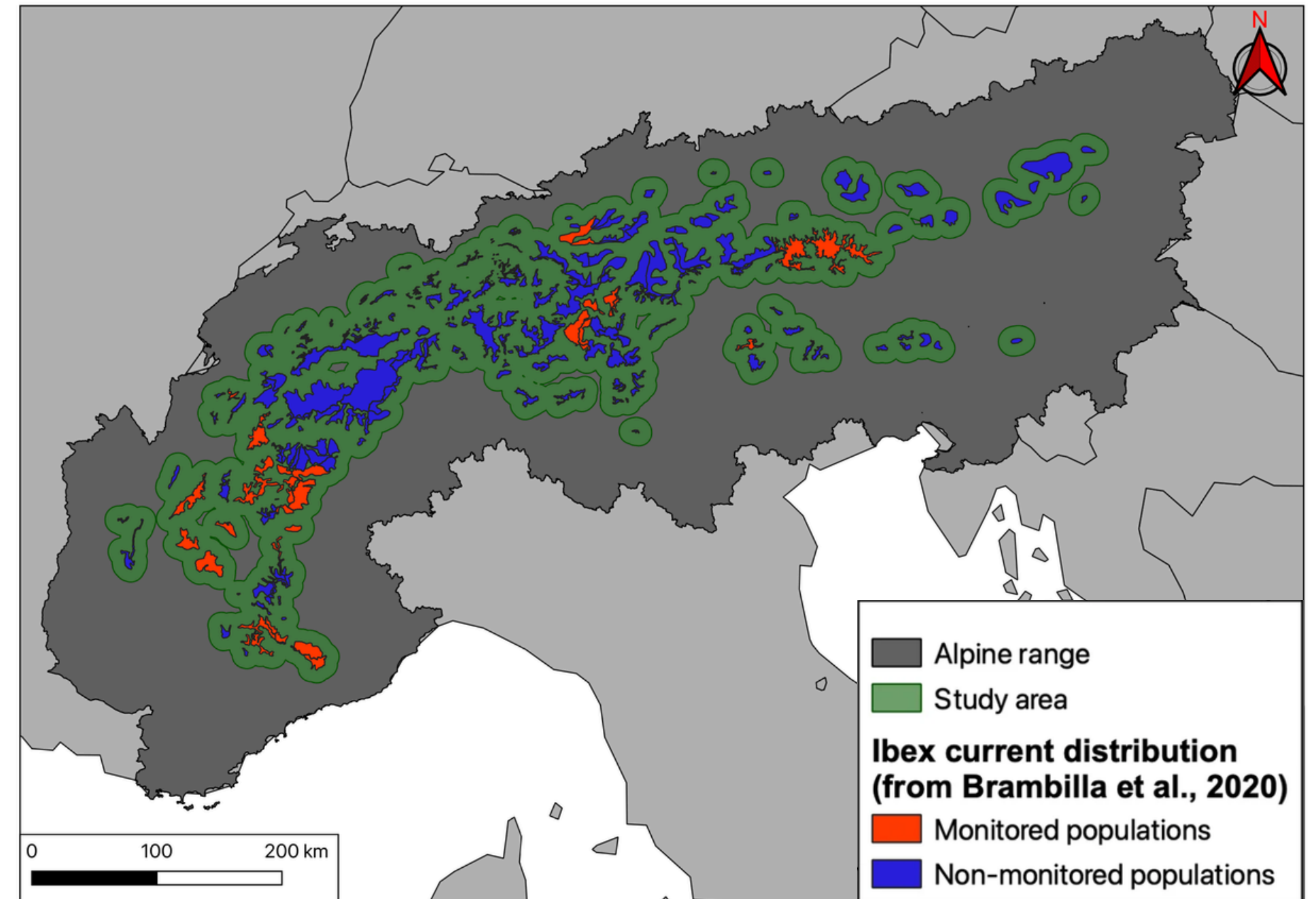
Quels facteurs environnementaux influencent la connectivité migratoire ?



© Pascal Marchand

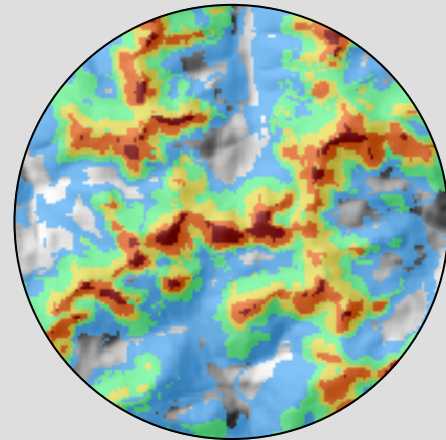


- **17 populations** suivies
- 535 individus (~65%
migrateurs)
- > 3 500 000 localisations
GPS



ETAPE 1 : Habitats favorables

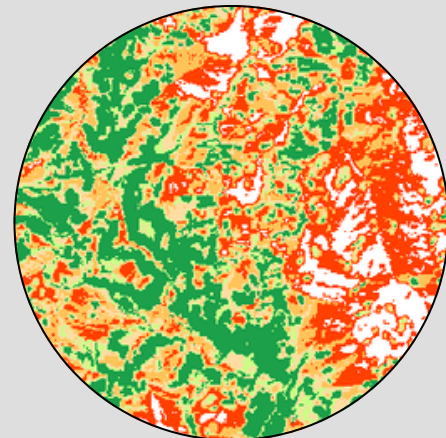
RSF



**Qualités des
sources et cibles**

**ETAPE 2 : Permeabilité au
mouvement**

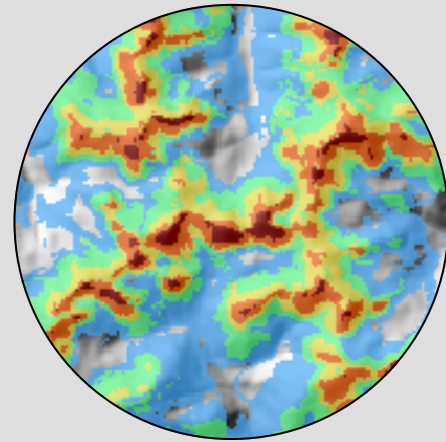
iSSA



Résistance du paysage
(Chauveau *et al.*, 2024)

ETAPE 1 : Habitats favorables

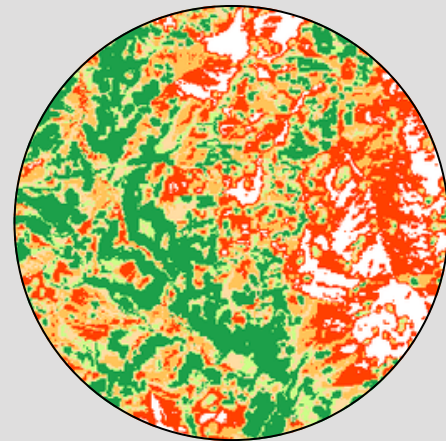
RSF



Qualités des sources et cibles

ETAPE 2 : Permeabilité au mouvement

iSSA



Résistance du paysage
(Chauveau *et al.*, 2024)

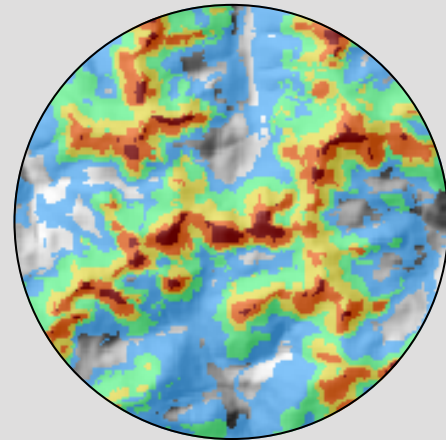
ETAPE 3 : Routes migratoires potentielles

RSP

Connectivité

ETAPE 1 : Habitats favorables

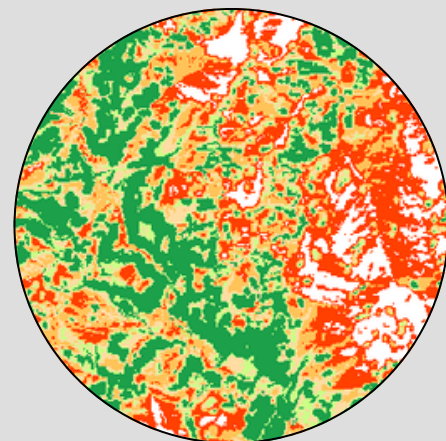
RSF



Qualités des sources et cibles

ETAPE 2 : Permeabilité au mouvement

iSSA



Résistance du paysage

(Chauveau *et al.*, 2024)

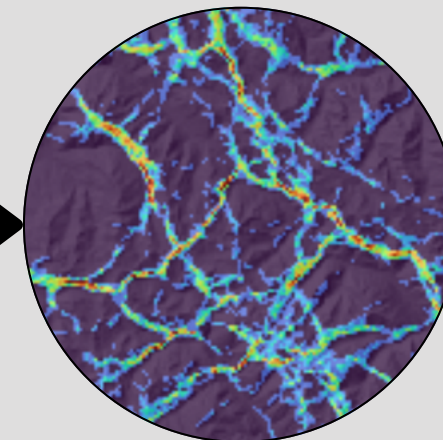
ETAPE 3 : Routes migratoires potentielles

Capacités intrinsèques de déplacement

Pondération

RSP

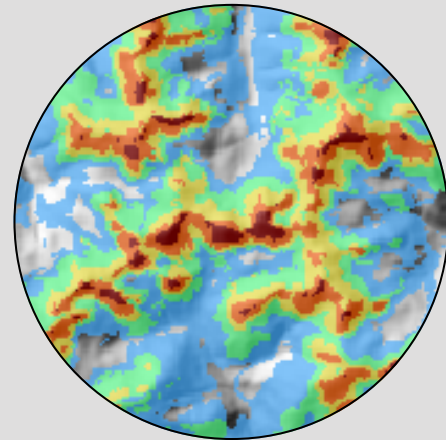
Connectivité



Connectivité effective

ETAPE 1 : Habitats favorables

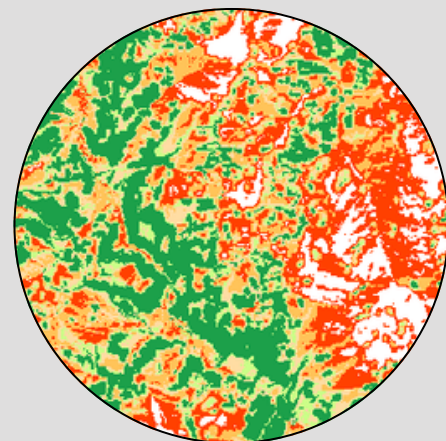
RSF



Qualités des sources et cibles

ETAPE 2 : Permeabilité au mouvement

iSSA



Résistance du paysage

(Chauveau *et al.*, 2024)

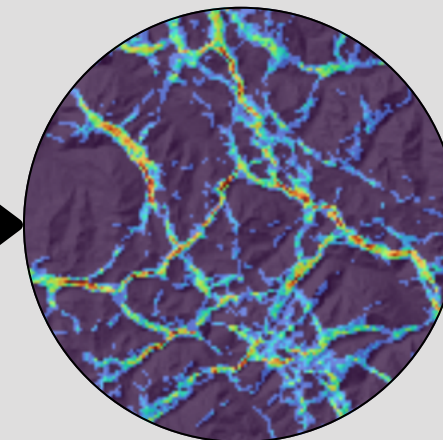
ETAPE 3 : Routes migratoires potentielles

Capacités intrinsèques de déplacement

Pondération

RSP

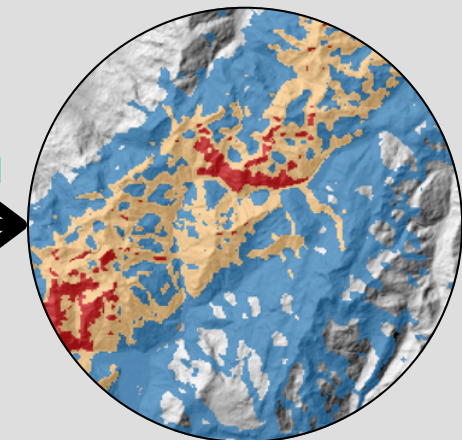
Connectivité



Connectivité effective

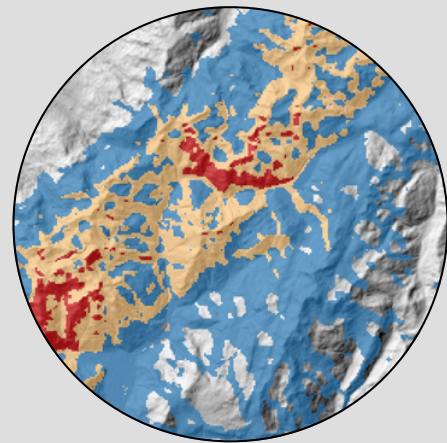
Binarisation

3 seuils



Routes migratoires potentielles

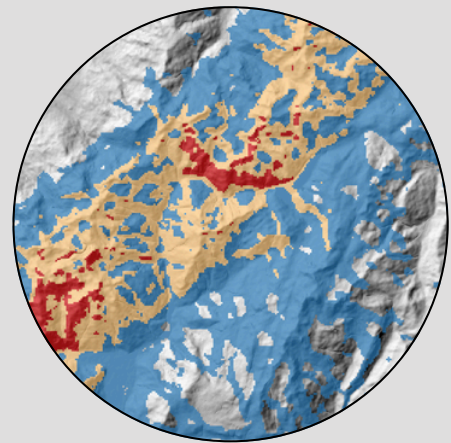
ETAPE 3



**Routes migratoires
potentielles**

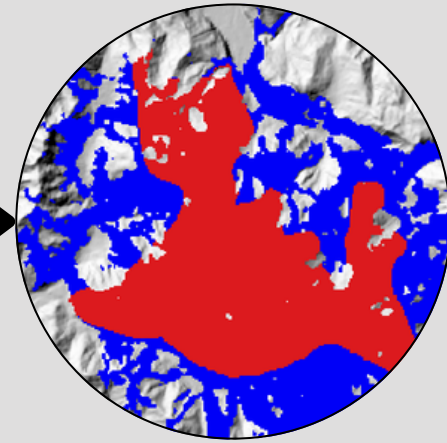
ETAPE 4 : Comparaison des routes migratoires potentielles à l'intérieur et à la périphérie de l'aire de distribution de l'espèce (10km)

ETAPE 3

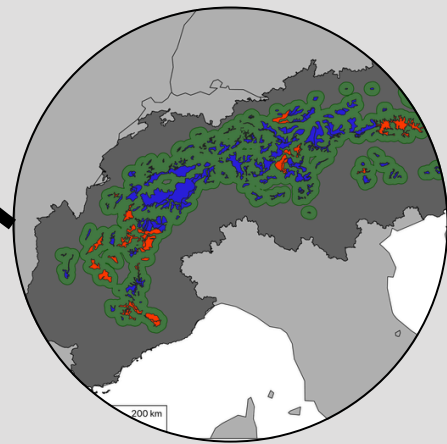


Routes migratoires potentielles

ETAPE 4 : Comparaison des routes migratoires potentielles à l'intérieur et à la périphérie de l'aire de distribution de l'espèce (10km)

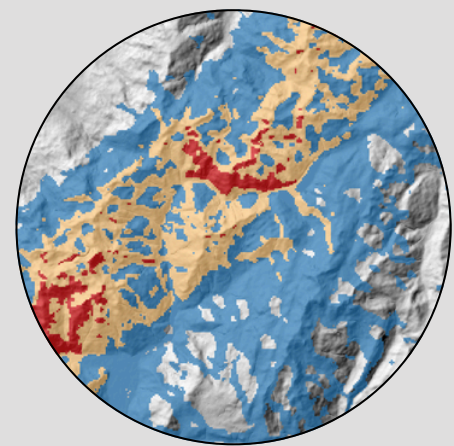


Utilisé / Non utilisé



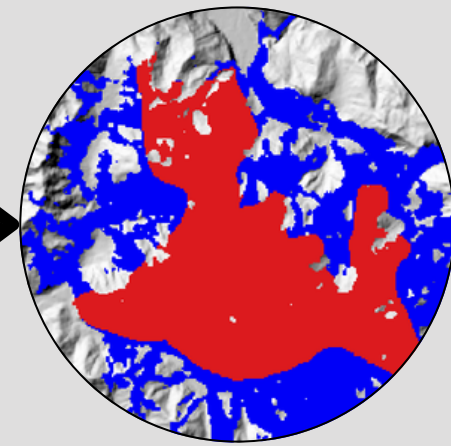
Aire de distribution

ETAPE 3

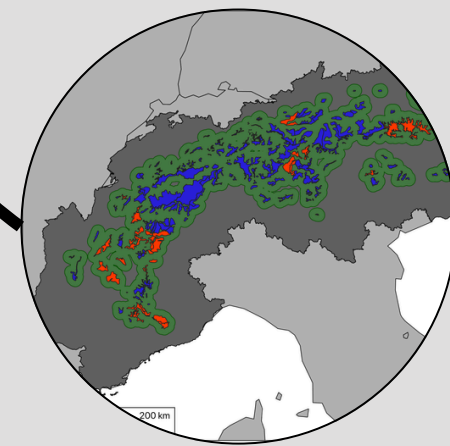


Routes migratoires potentielles

ETAPE 4 : Comparaison des routes migratoires potentielles à l'intérieur et à la périphérie de l'aire de distribution de l'espèce (10km)



Utilisé / Non utilisé



Aire de distribution

USAGE (0/1) ~

GLM binomial

- Empreinte humaine
- + Proximité aux stations de ski
- + Proximité aux vallées
- + Présence de glaciers



ETAPE 4

Prédicteur environnemental

Critère de binarisation

> 1er percentile | > 25e percentile | > 75e percentile




Empreinte humaine (HFP) 

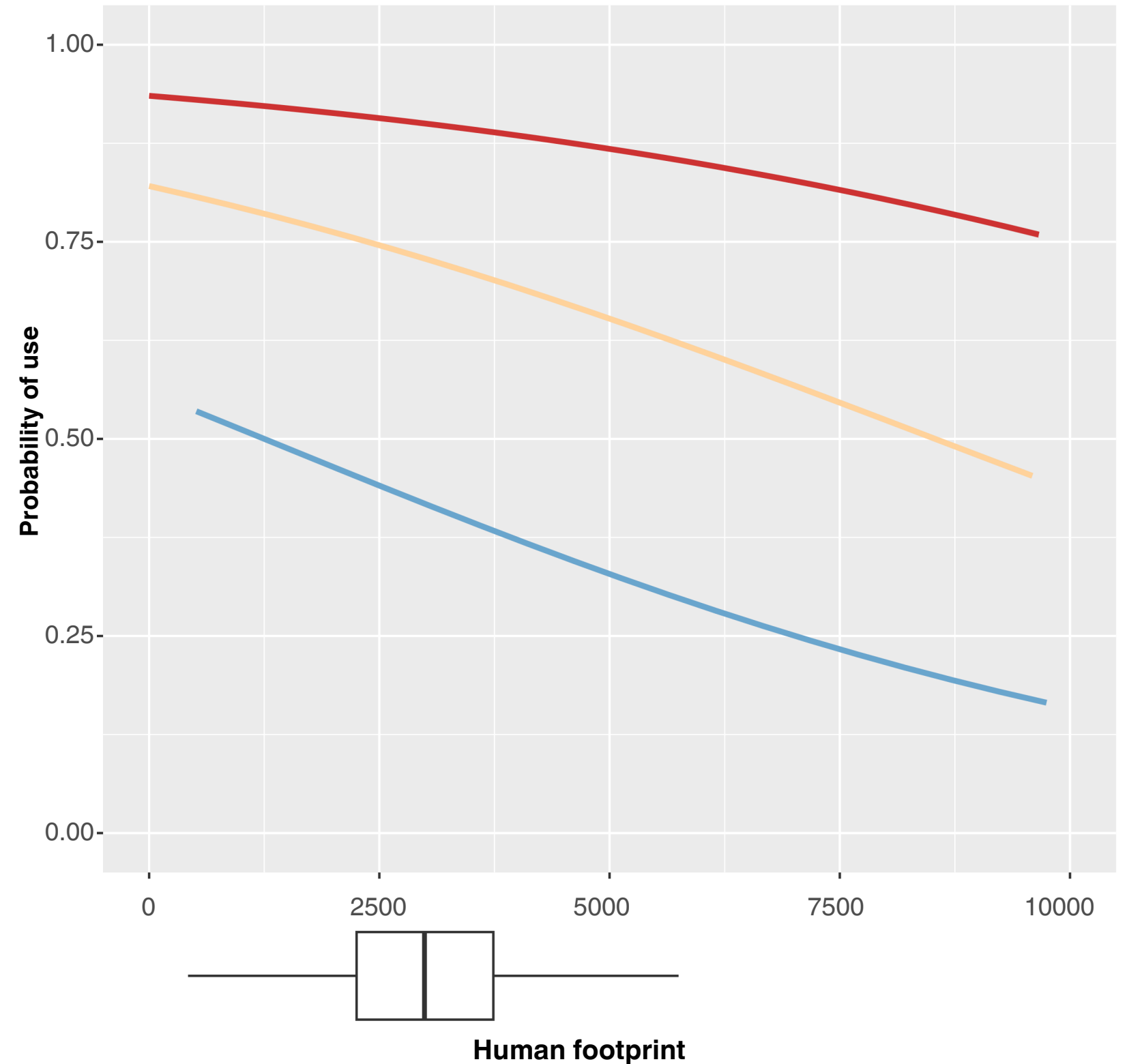
-0.90

-0.58

-0.44

Model

-  > 1st percentile
-  > 25th percentile
-  > 75th percentile




ETAPE 4

Prédicteur environnemental

Critère de binarisation

> 1er percentile | > 25e percentile | > 75e percentile

Empreinte humaine (HFP) 

Présence de glacier (0/1) 



-0.90

+0.12


-0.58

-0.38

-0.44

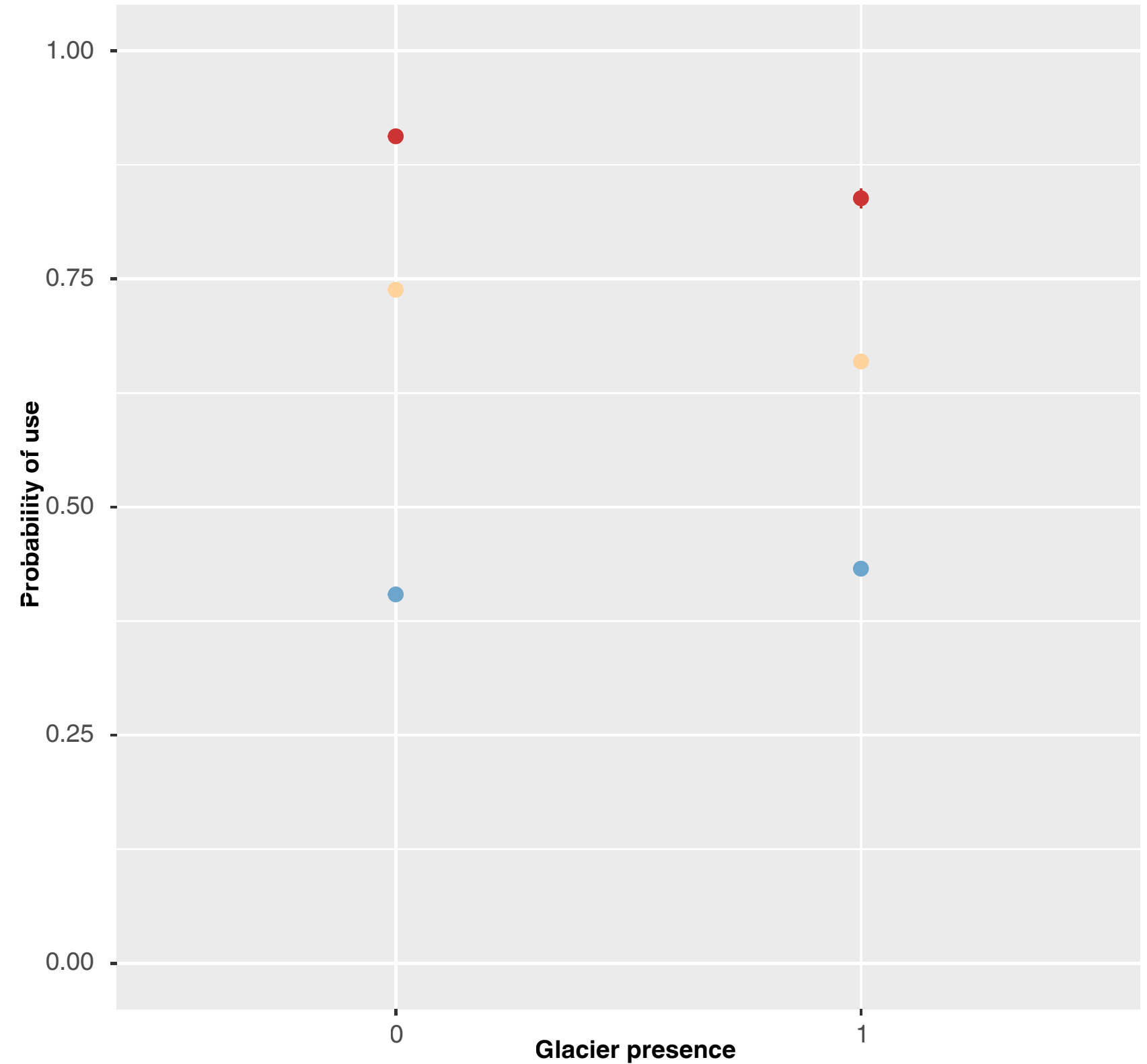
-0.62

Model

 > 1st percentile

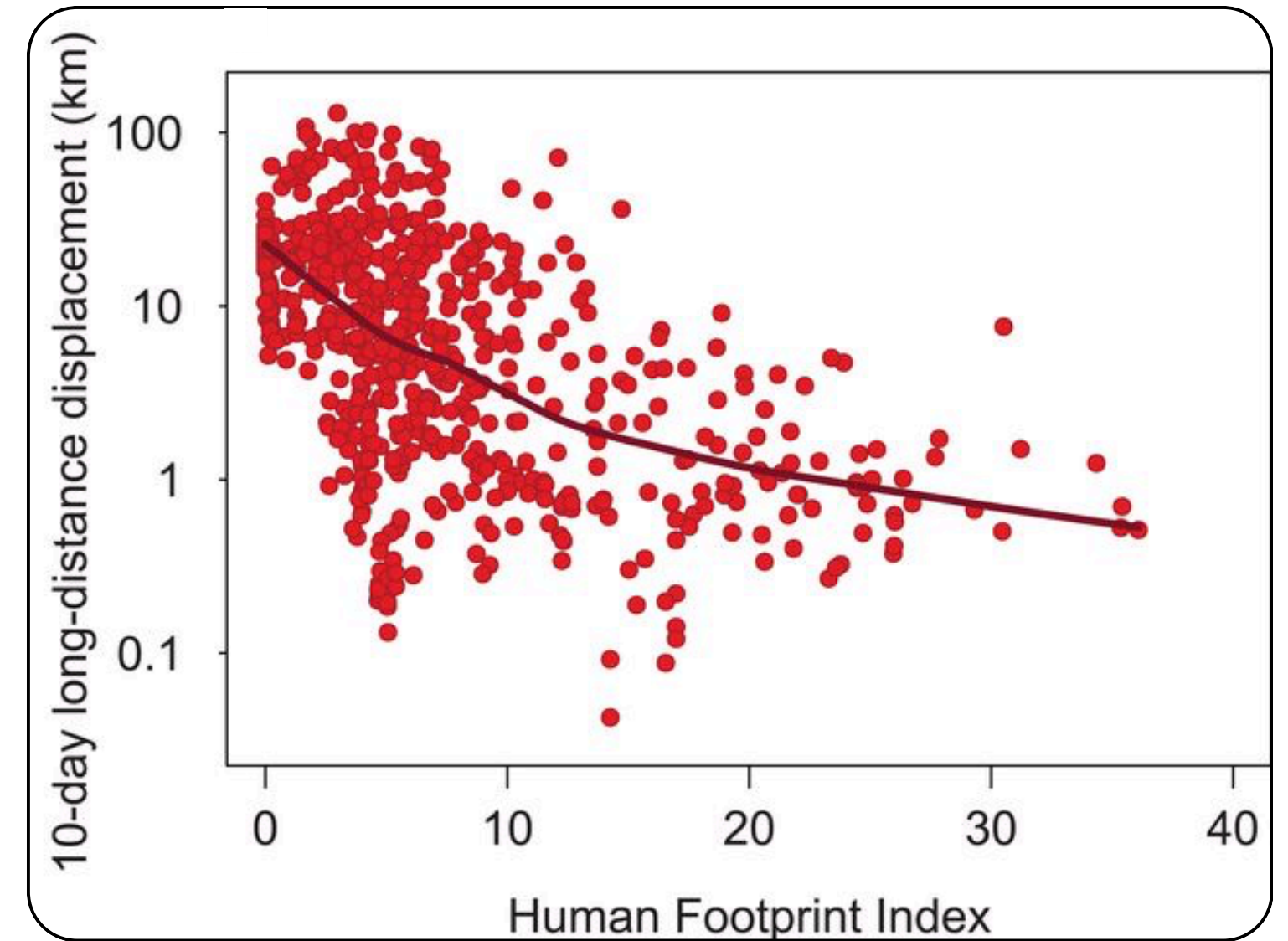
 > 25th percentile

 > 75th percentile



Impact anthropique

- Corrobore les études existantes
- Comment limiter cet impact ?
↳ Besoin d'une compréhension plus fine



Tucker *et al.*, 2018

Impact anthropique

- Corrobore les études existantes
- Comment limiter cet impact ?
↪ Besoin d'une compréhension plus fine

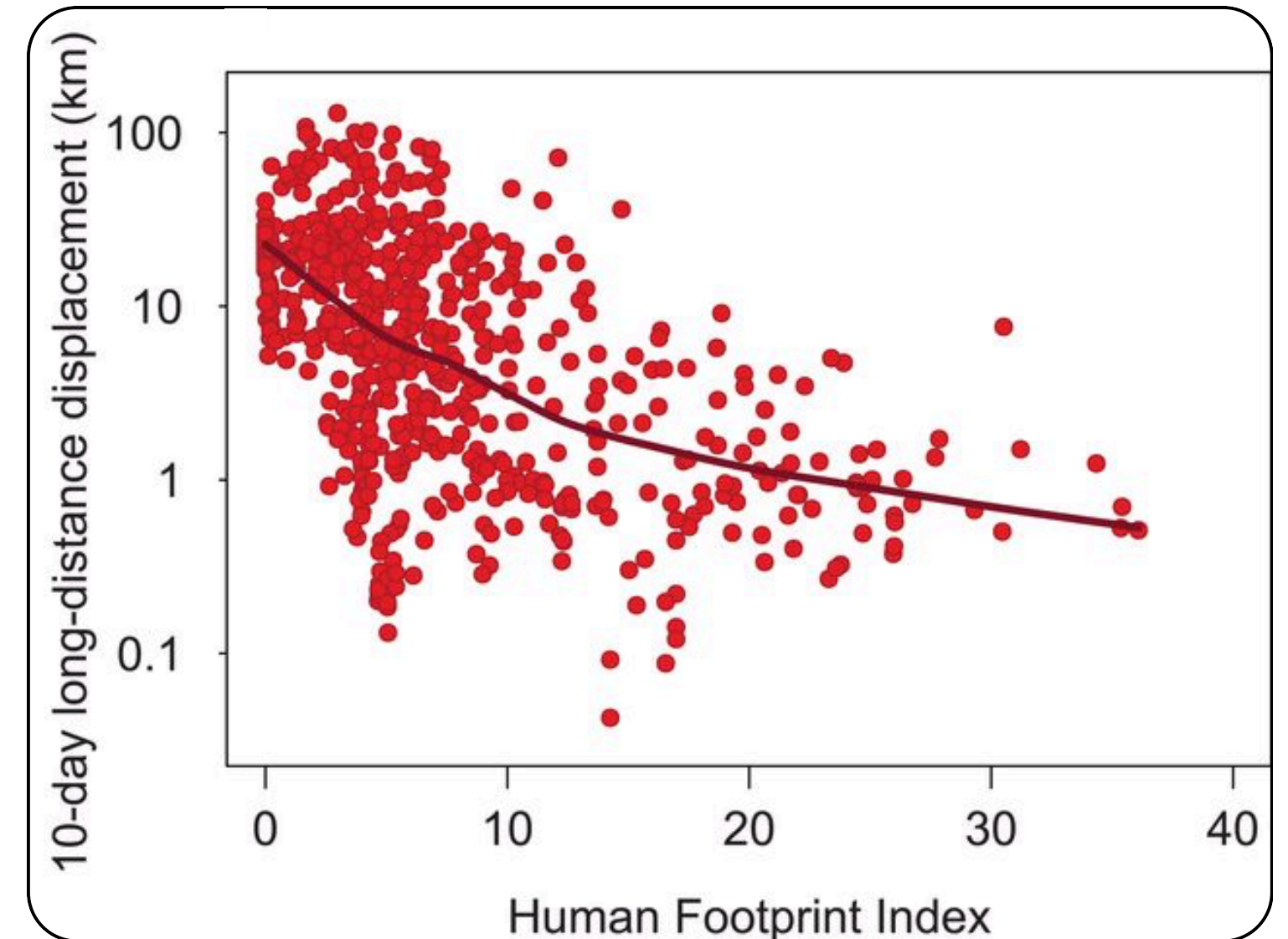
Empreinte humaine

Routes ?

Habitations ?

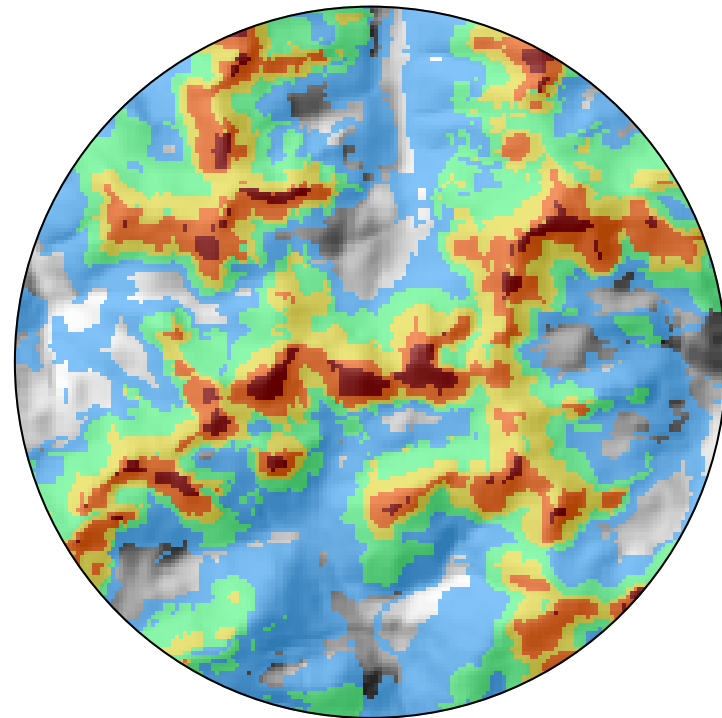
Activités récréatives ?

Agriculture ?

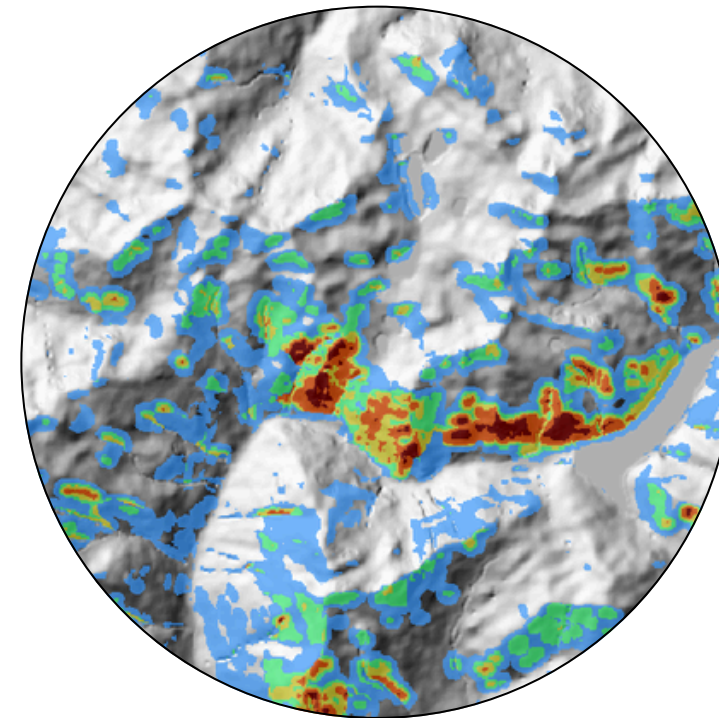


from Tucker et al., 2018

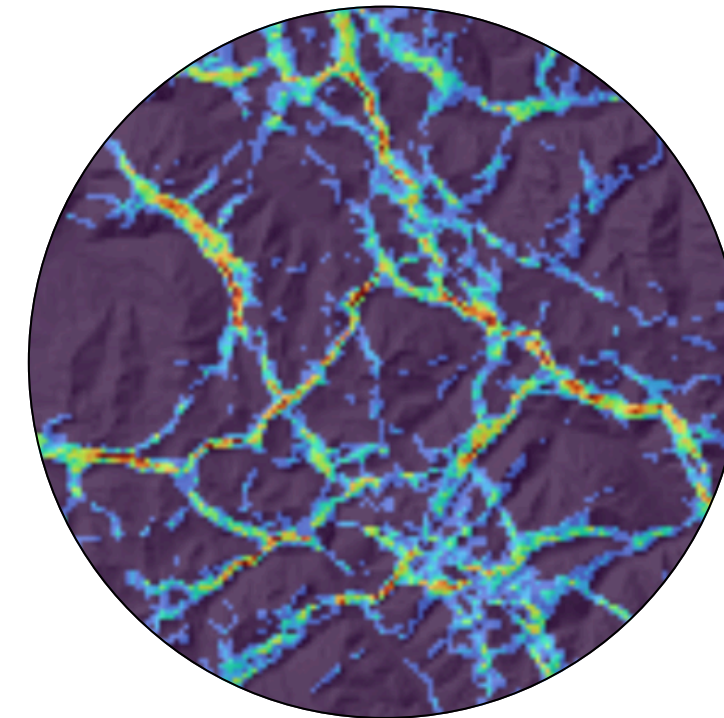
Des outils pour la gestion et la conservation de l'espèce :



**CARTE D'HABITAT
FAVORABLE ÉTÉ**



**CARTE D'HABITAT
FAVORABLE HIVER**



**CARTE DE CONNECTIVITÉ
EFFECTIVE**

Vers des modèles multi-espèces ?

- Meilleure compréhension de la connectivité

 **Intégrer la connectivité effective?**

- Evaluation de l'efficacité des **aires protégées**

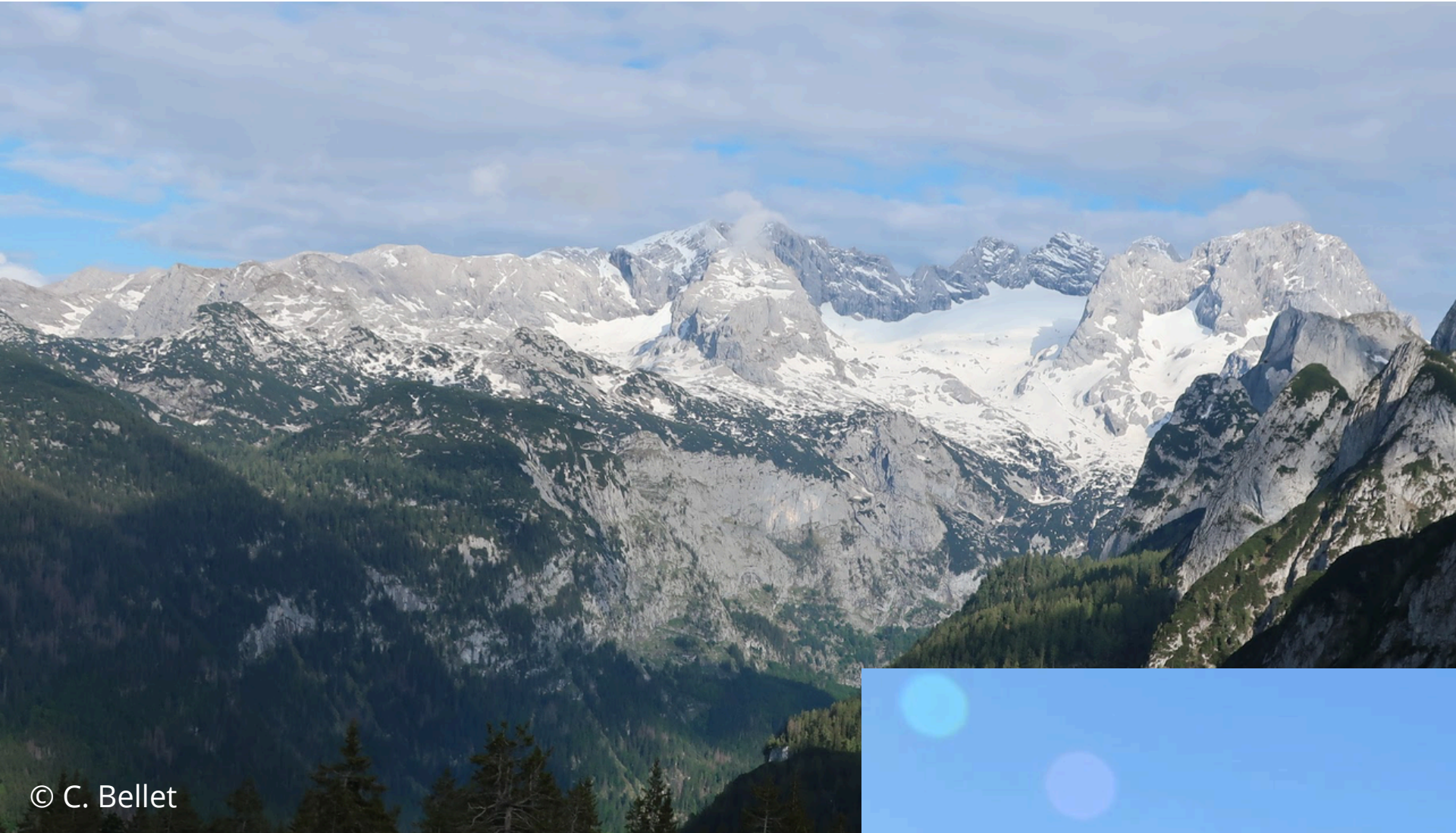
RESEARCH ARTICLE |  Open Access | 

A comprehensive framework to assess multi-species landscape connectivity

Marie-Caroline Prima , Julien Renaud, Isabelle Witté, Léa Suarez, Paul Rouveyrol, Martina Fernando, Andrea Sacchi, Francesca Cosentino, Luca Santini, Luigi Maiorano, Francisco Moreira ... [See all authors](#) 

First published: 31 October 2024 | <https://doi.org/10.1111/2041-210X.14444> | Citations: 2

MERCI POUR VOTRE ATTENTION !

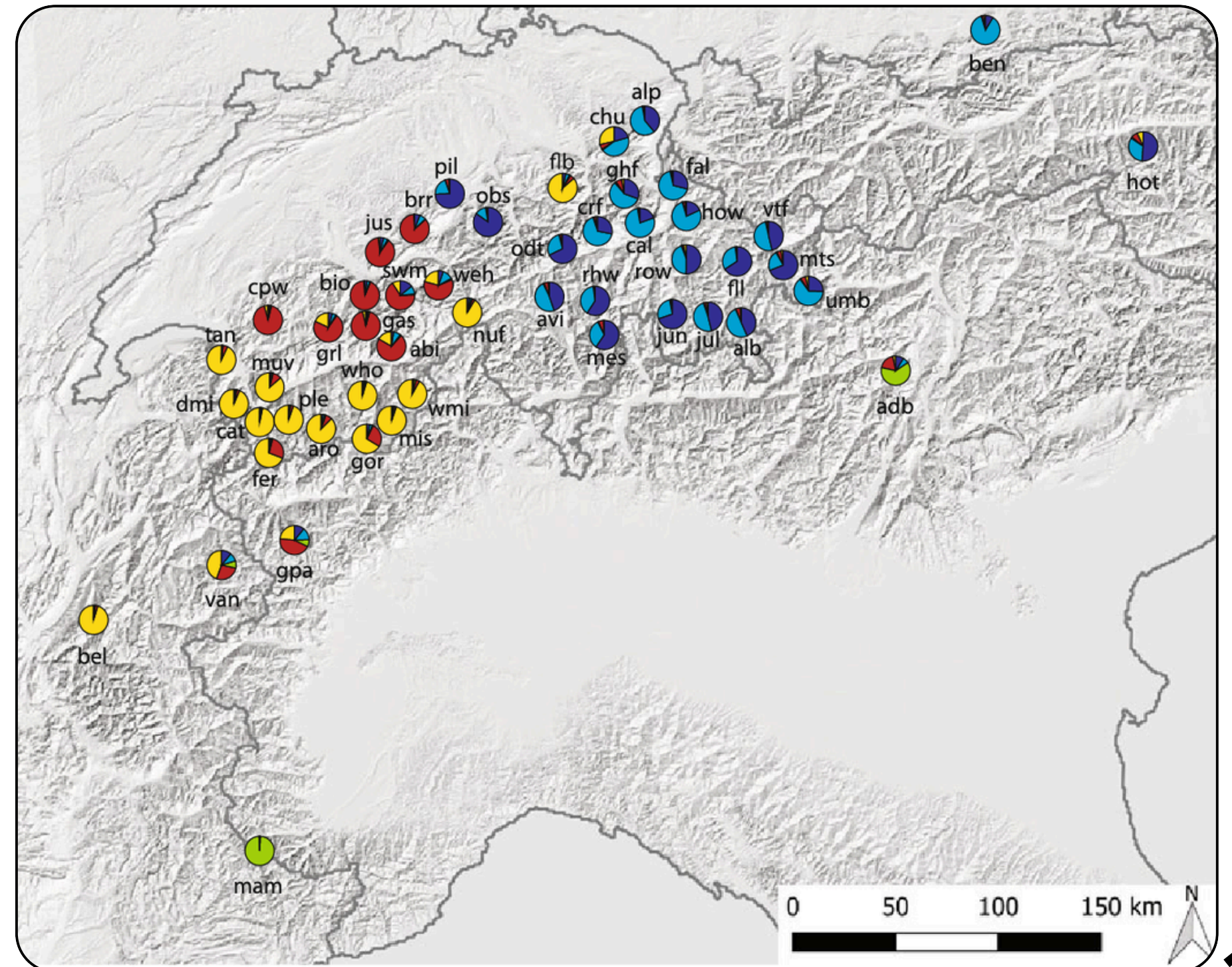


Références

- Biebach, I., & Keller, L. F. (2010). Inbreeding in reintroduced populations: the effects of early reintroduction history and contemporary processes. *Conservation Genetics*, 11, 527-538.
- Bogliani, G., Viterbi, R., & Nicolino, M. (2011). Habitat use by a reintroduced population of Bearded Vultures (*Gypaetus barbatus*) in the Italian Alps. *Journal of Raptor Research*, 45(1), 56-62.
- Bozzuto, C., Biebach, I., Muff, S., Ives, A. R., & Keller, L. F. (2019). Inbreeding reduces long-term growth of Alpine ibex populations. *Nature ecology & evolution*, 3(9), 1359-1364.
- Brambilla, A., Von Hardenberg, A., Nelli, L., & Bassano, B. (2020). Distribution, status, and recent population dynamics of Alpine ibex *Capra ibex* in Europe. *Mammal Review*, 50(3), 267-277.
- Brambilla, A., Bassano, B., Biebach, I., Bollmann, K., Keller, L., Toigo, C., & von Hardenberg, A. (2022). Alpine Ibex *Capra ibex* Linnaeus, 1758. In *Handbook of the mammals of Europe* (pp. 1-27). Cham: Springer International Publishing.
- Brondízio, E. S., Settele, J., Diaz, S., & Ngo, H. T. (2019). Global assessment report of the intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services. IPBES.
- Chauveau, V., Garel, M., Toigo, C., Anderwald, P., Beurier, M., Bouche, M., ... & Marchand, P. (2024). Identifying the environmental drivers of corridors and predicting connectivity between seasonal ranges in multiple populations of Alpine ibex (*Capra ibex*) as tools for conserving migration. *Diversity and Distributions*, 30(8), e13894.
- Chauveau, V. (2025). Facteurs environnementaux et individuels de la migration saisonnière chez le bouquetin des Alpes *Capra ibex*. PhD thesis, University of Savoie Mont Blanc.
- Chester, C. C., Hilty, J. A., & Hamilton, L. S. (2013). Mountain gloom and mountain glory revisited: A survey of conservation, connectivity, and climate change in mountain regions. *Journal of Mountain Ecology*, 9, 1-34.
- Crooks, K. R., & Sanjayan, M. (Eds.). (2006). Connectivity conservation (Vol. 14). *Cambridge University Press*.
- Job, H., Meyer, C., Coronado, O., Koblar, S., Laner, P., Omizzolo, A., ... & Schindelegger, A. (2022). Open spaces in the European alps—GIS-based analysis and implications for spatial planning from a transnational perspective. *Land*, 11(9), 1605.
- Kauffman, M. J., Cagnacci, F., Chamaillé-Jammes, S., Hebblewhite, M., Hopcraft, J. G. C., Merkle, J. A., ... & Zuther, S. (2021a). Mapping out a future for ungulate migrations. *Science*, 372(6542), 566-569.
- Prima, M. C., Renaud, J., Witté, I., Suarez, L., Rouveyrol, P., Fernando, M., ... & Thuiller, W. (2024). A comprehensive framework to assess multi-species landscape connectivity. *Methods in Ecology and Evolution*, 15(12), 2385-2399.
- Taylor, P. D., Fahrig, L., Henein, K., & Merriam, G. (1993). Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 571-573.
- Tucker, M. A., Böhning-Gaese, K., Fagan, W. F., Fryxell, J. M., Van Moorter, B., Alberts, S. C., ... & Mueller, T. (2018). Moving in the Anthropocene: Global reductions in terrestrial mammalian movements. *Science*, 359(6374), 466-469.
- Van Moorter, B., Kivimäki, I., Panzacchi, M., & Saerens, M. (2021). Defining and quantifying effective connectivity of landscapes for species' movements. *Ecography*, 44(6), 870-884.
- Van Moorter, B., Kivimäki, I., Noack, A., Devooght, R., Panzacchi, M., Hall, K. R., ... & Saerens, M. (2023a). Accelerating advances in landscape connectivity modelling with the ConScape library. *Methods in Ecology and Evolution*, 14(1), 133-145.
- Wilcove, D. S., & Wikelski, M. (2008). Going, going, gone: is animal migration disappearing. *PLoS biology*, 6(7), e188.

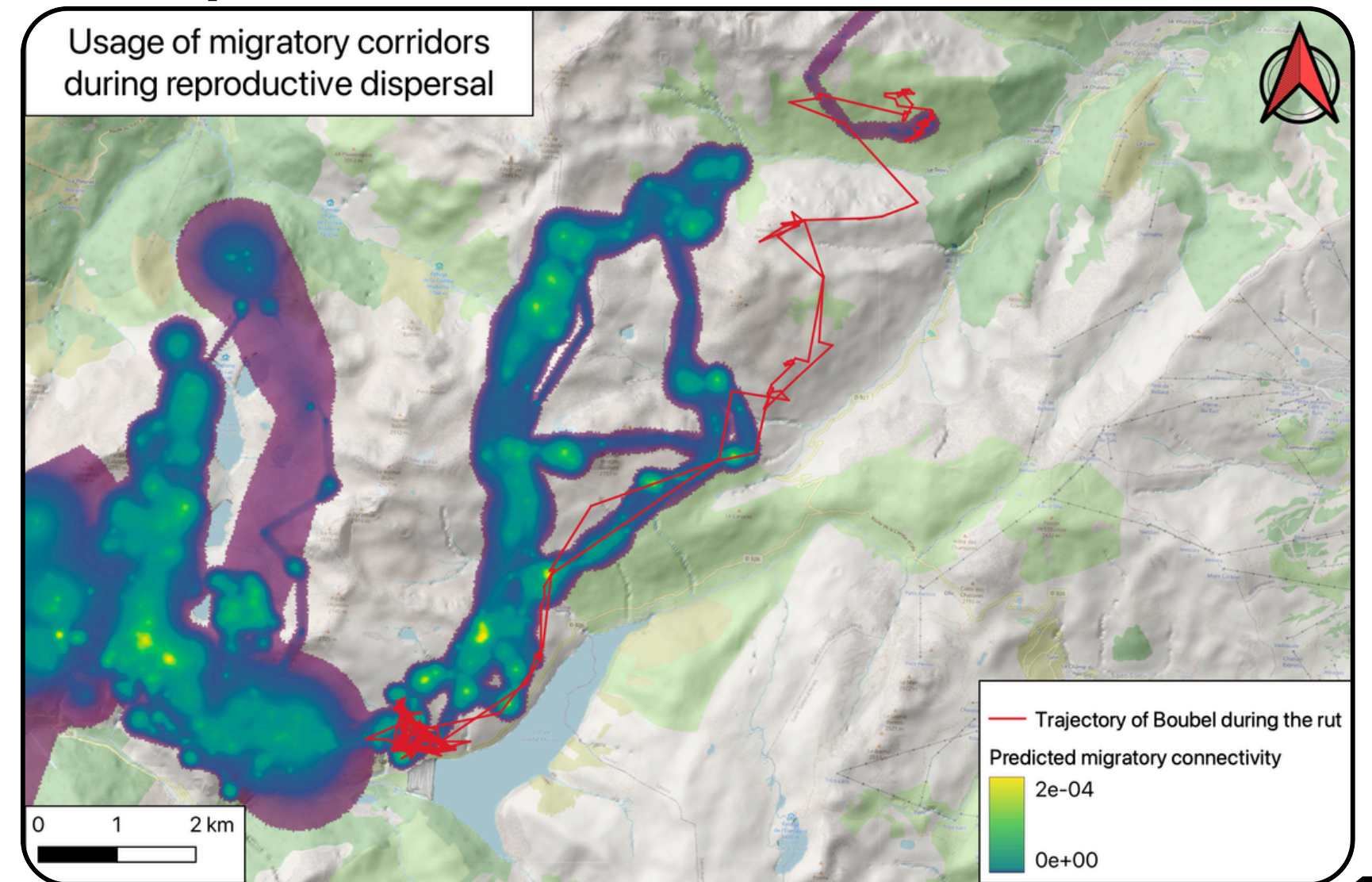
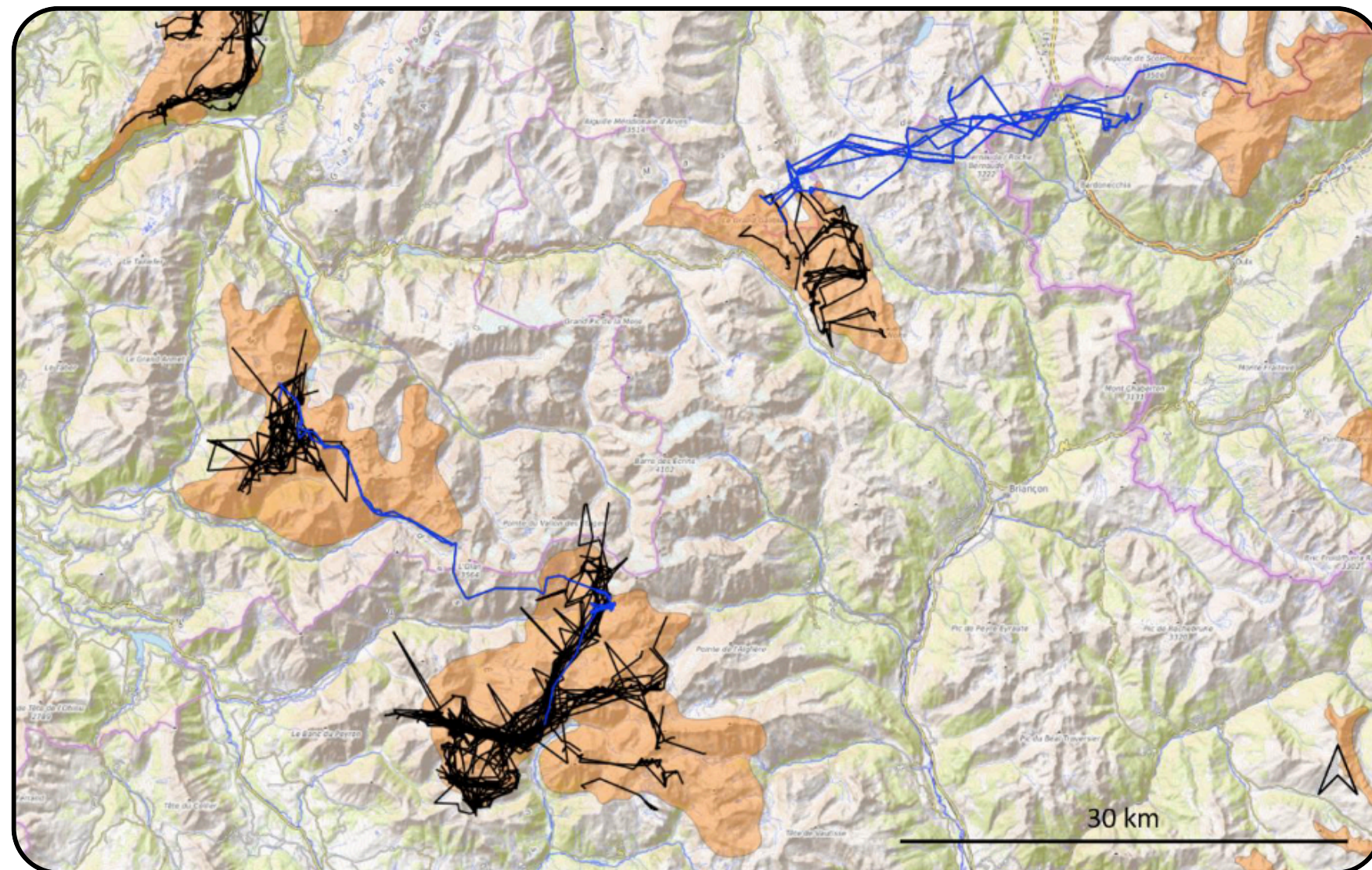
Enjeux génétiques chez le bouquetin des Alpes

- Niveau de **consanguinité** critique
- Conséquences négatives sur la **fitness** et la **dynamique de population**
- Réduction du **potentiel adaptatif** face aux changements globaux



Lien migration saisonnière et enjeux génétiques

- la **migration saisonnière** peut connecter différentes populations
- les couloirs de migration peuvent être utilisés pendant la **dispersion de reproduction**

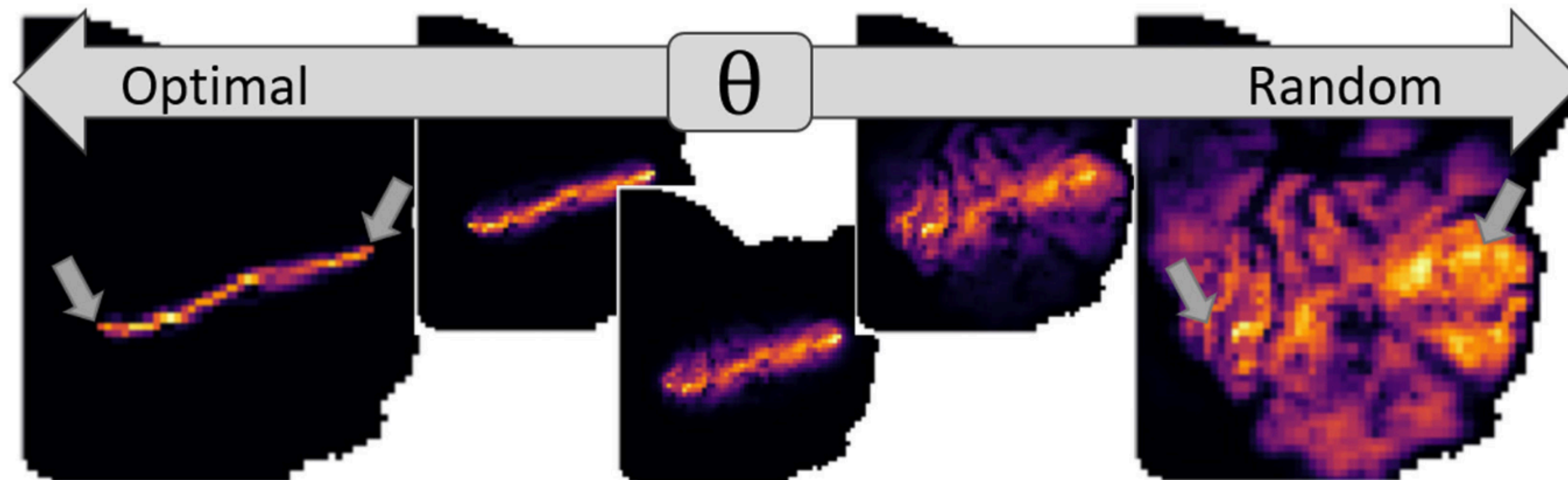


L'algorithme RSP (Randomized Shortest Paths)

RSP → exploitation VS exploration trade-off

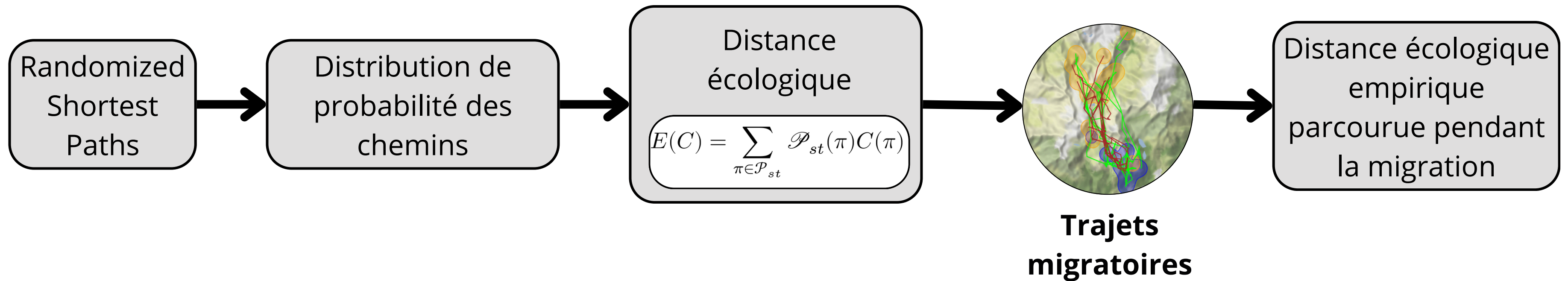
Chemins de moindre coût

Théorie des circuits

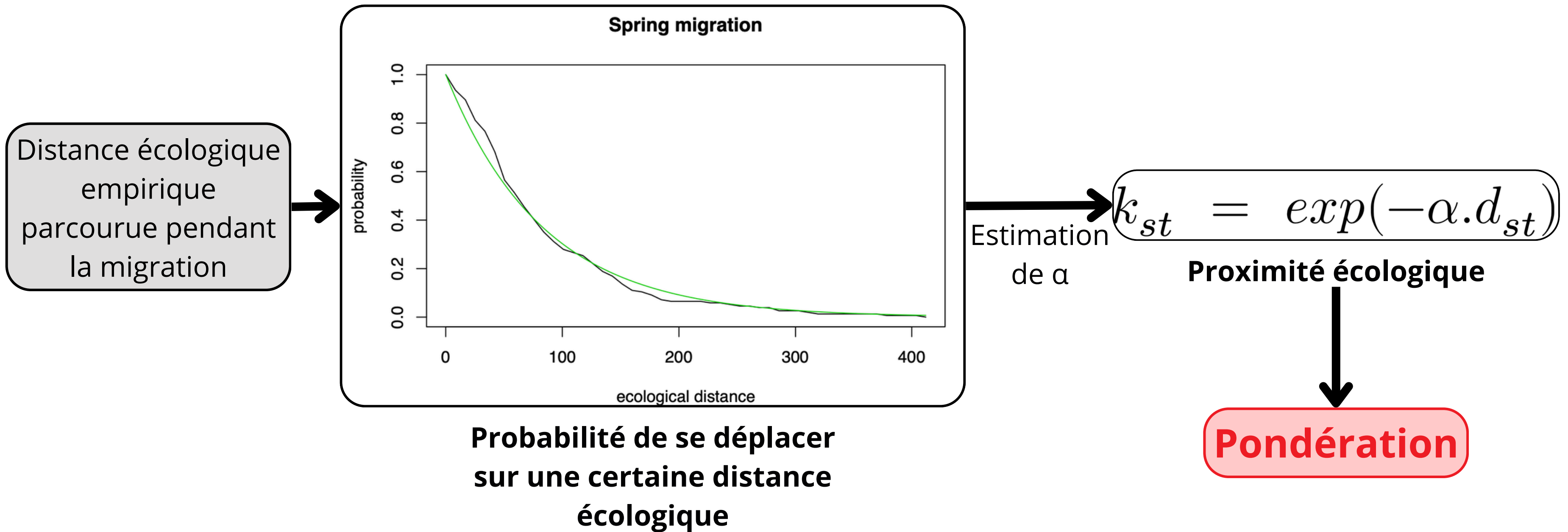


from Van Moorter *et al.*, 2023

Pondération avec les capacités intrinsèques de déplacement de l'espèce



Weighting with the movement abilities of the species



Analyses de sélection de l'habitat

Environmental covariates	Expected coefficient	
	Winter	Summer
- northness	-	+
- land cover : pastures	+	+
- proximity to land cover : rocks	+	+
- proximity to steep slopes	+	+
-proximity to trails	0	-
-proximity to winter sport tracks	-	0
- TPI	+	+
- land cover : forest	-	-

