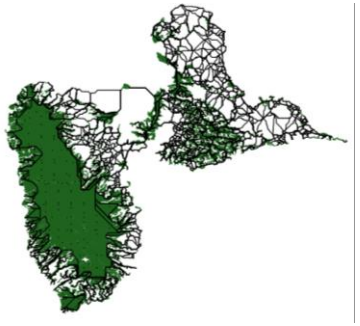
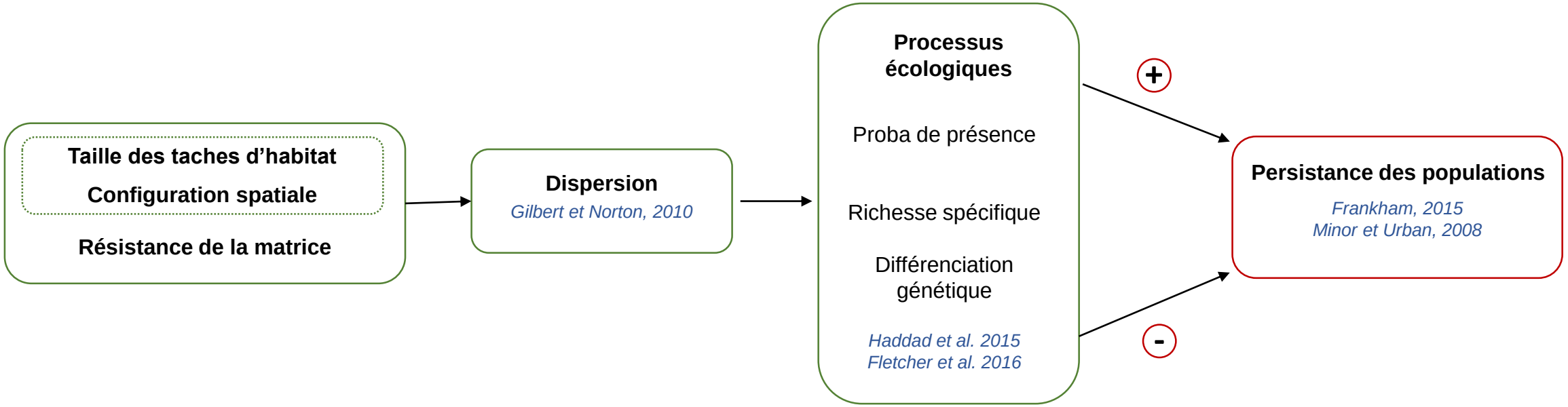
Validation des modèles de connectivité issus des graphes paysagers en utilisant des données génétiques.

A. Daniel & P. Savary, Foltête, J. C., Khimoun, A., Faivre, B., Ollivier, A., Moal, H., Éraud, C., Vuidel, G. & Garnier, S.



Connectivité fonctionnelle des habitats



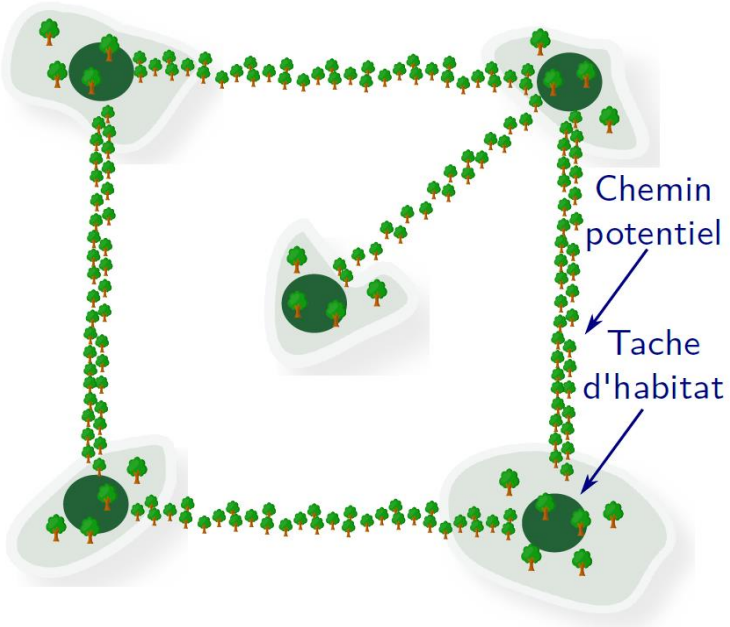
Modéliser la connectivité de l'habitat

- Améliorer la **compréhension des réponses biologiques** à la connectivité
- Soutenir la **prise de décision** dans les **politiques de conservation**

Les graphes paysagers

Définition

Urban et Keitt, 2001



Graphes spatiaux permettant une **représentation exhaustive** du réseau des taches d'habitats

Nœuds : Taches d'habitat

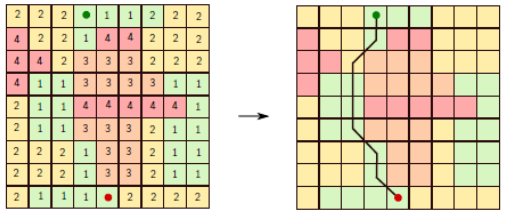
→ Pondérés par une estimation de leur capacité de charge

Liens : Chemins de dispersion potentiels

→ Pondérés par les distances coûts entre les taches d'habitat

Surface de résistance

Associer un coût à chaque occupation du sol



Les graphes paysagers

Intérêts

- Sans nécessité de données de présences ou de déplacement : bon **compromis coût-qualité** *Calabrese et Fagan, 2004*
- Intérêt **opérationnel** *Foltête et al. 2014*
- Nombreuses métriques
  - **Echelle locale :** contribution du nœud
  - **Echelle globale :** connectivité de l'ensemble du réseau
  - Intégrant **plusieurs paramètres de dispersion :** caractéristiques locales et distances écologiques *Balkenhol et al. 2009*

Introduction

Les graphes paysagers

Limites et objectifs

Quelle validité écologique ? *Moilanen, 2011*

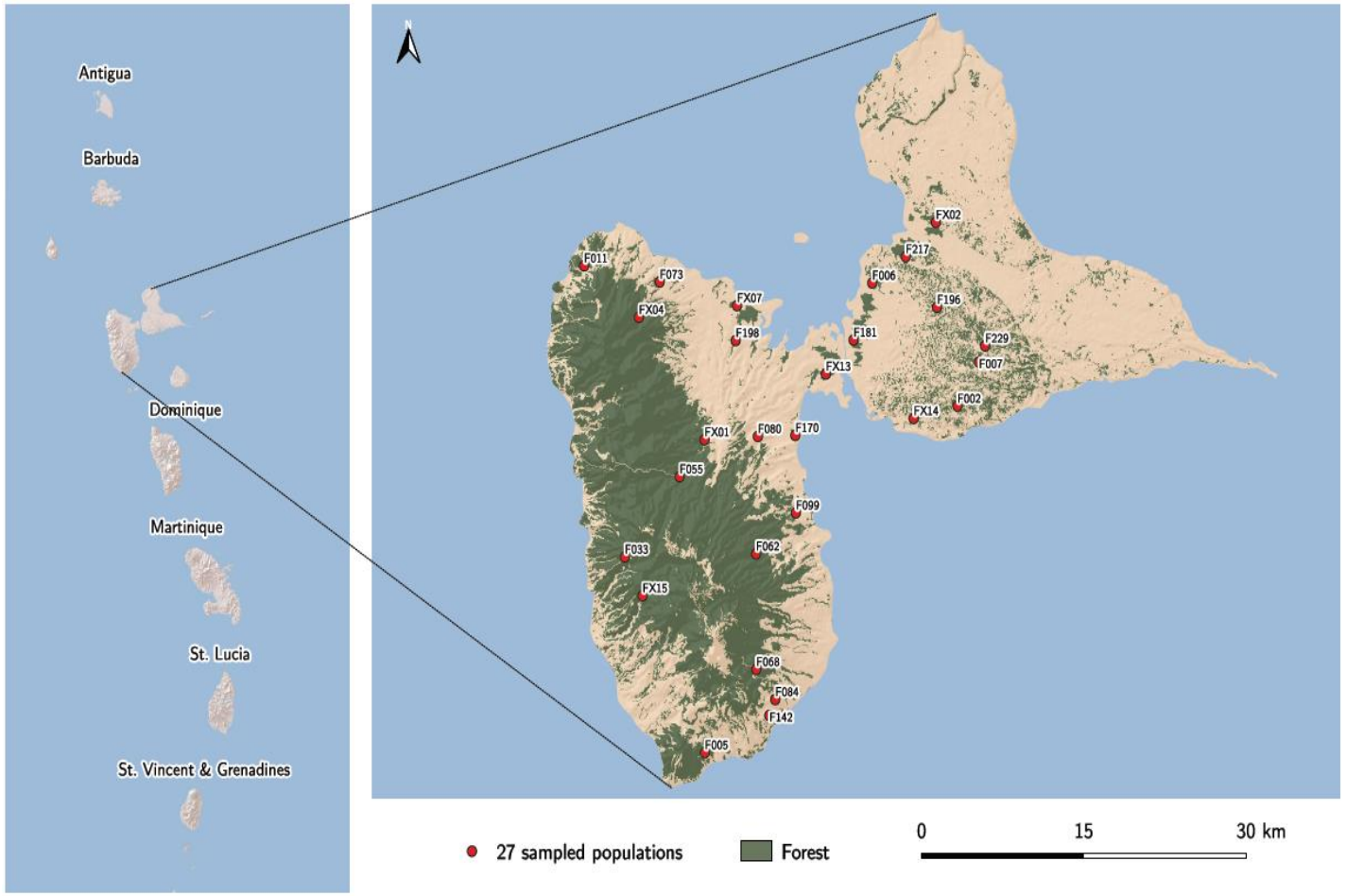
- Choix de construction *(ex: délimitation des nœuds)*
- Multitude de métriques
- Distance-coûts

→ **Objectif** : valider le modèle de connectivité issu des graphes

- Confronter les **métriques de connectivité issues des graphes** avec des données biologiques empiriques
- Utilisation de **données génétiques** :
  - Flux de gènes → liés à la dispersion des individus → reflet de la connectivité *Zeller et al. 2018*

Les graphes paysagers reflètent-ils l'effet de la connectivité sur la diversité et la différenciation génétique?

Zone et modèle d'étude



La Guadeloupe

- Basse-Terre : couvert forestier continu
- Grande-Terre : forte fragmentation

La Paruline caféiette

- Espèce endémique
- Spécialiste de l'habitat forestier
- Structure génétique influencée par la résistance du paysage *Khimoun et al, 2016*

Construction des graphes paysagers

Quels nœuds ?

Quels coûts ?

Données spatiales

Corine Land Cover 2012

BD TOPO IGN

Types de formations végétales
(Conseil Dép. Guadeloupe)

Matériel et Méthode

Construction des graphes paysagers

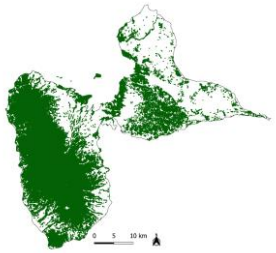
Données spatiales

Corine Land Cover 2012
BD TOPO IGN
Types de formations végétales
(Conseil Dép. Guadeloupe)

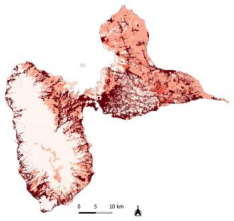
+

Dires d'expert

Quels nœuds ?



Quels coûts ?



Construction des graphes paysagers

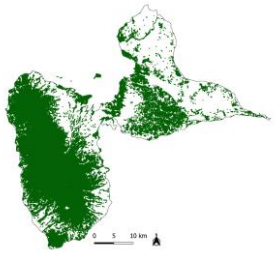
Quels nœuds ?

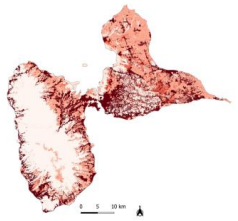
Quels coûts ?

Données spatiales

Corine Land Cover 2012
BD TOPO IGN
Types de formations végétales
(Conseil Dép. Guadeloupe)

\+ **Dires d'expert** →

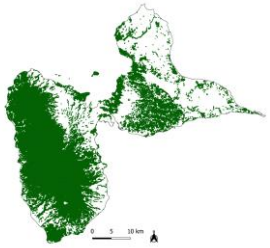


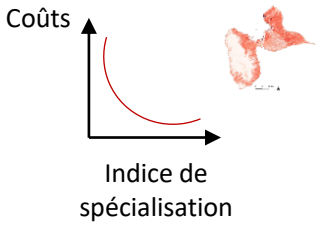


\+ **Données de présence**

991 Indices Ponctuels d'Abondance
(ONCFS, PN)

→ Indice de spécialisation (Jacobs, 1974 ; Khimoun et al. 2016) →





Construction des graphes paysagers

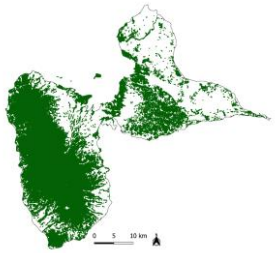
Quels nœuds ?

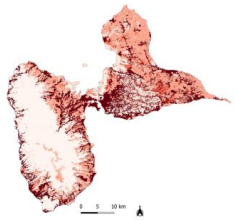
Quels coûts ?

Données spatiales

Corine Land Cover 2012
BD TOPO IGN
Types de formations végétales
(Conseil Dép. Guadeloupe)

\+ **Dires d'expert** →

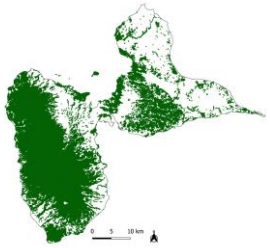


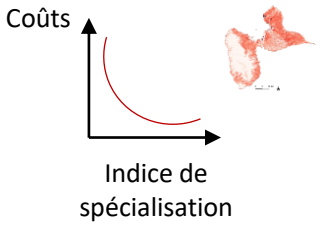


\+ **Données de présence**

991 Indices Ponctuels d'Abondance
(ONCFS, PN)

→ Indice de spécialisation → (Jacobs, 1974 ; Khimoun et al. 2016)

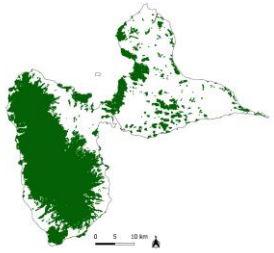


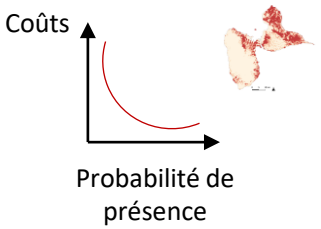


\+ **Données météo**

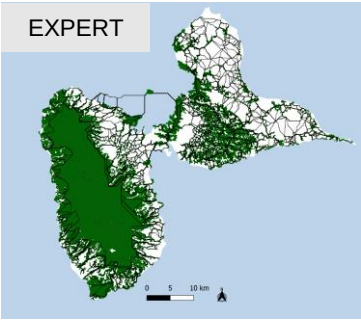
Météo-France

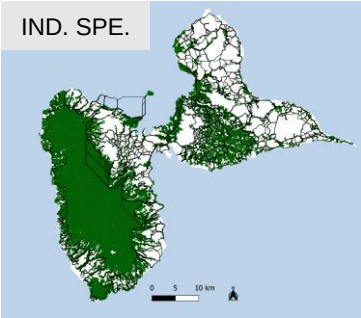
→ SDM →

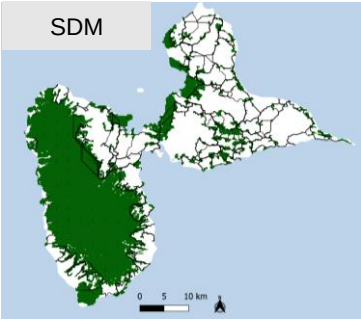




Métriques de connectivité issues des graphes







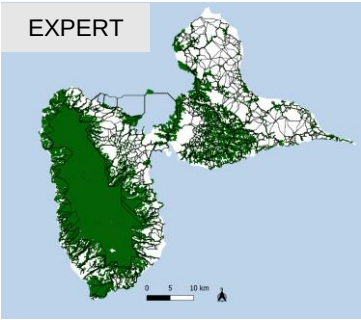
Niveau des nœuds

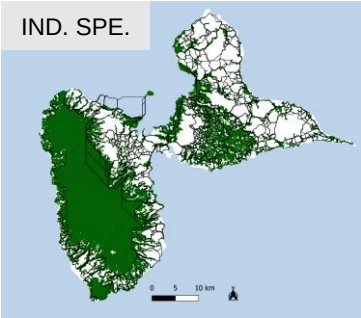
Patch	C
1	8
2	5

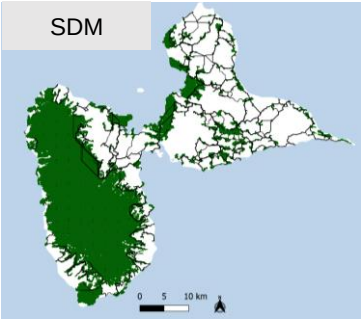
Niveau des liens du graphe

	Patch 1	Patch 2
Patch 1		
Patch 2		

Métriques de connectivité issues des graphes

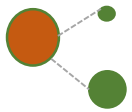




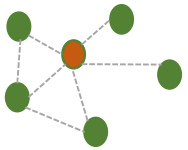


Niveau des nœuds

Patch	C
1	8
2	5

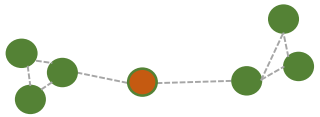


Capacité



Flux

$$F_i = \sum_{j=1 j \neq i}^{n} a_j^{\beta} e^{-\alpha d_{ij}}$$

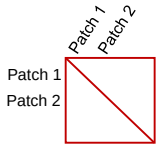


Betweeness Centrality

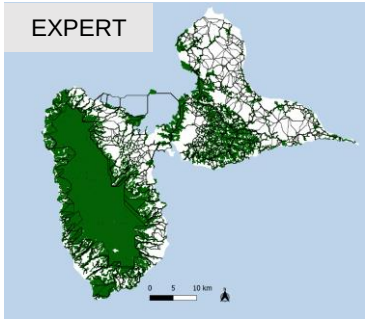
$$BC_i = \sum_j \sum_k \alpha_j^{\beta} \alpha_k^{\beta} e^{-\alpha d_{jk}}$$

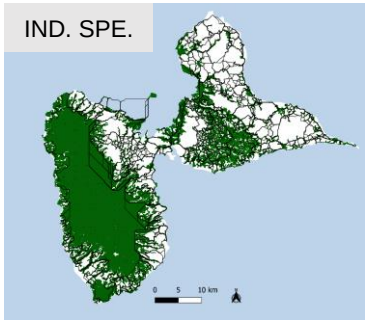
$$j, k \in \{1, \ldots, n\}, k < j, i \in P_{jk}$$

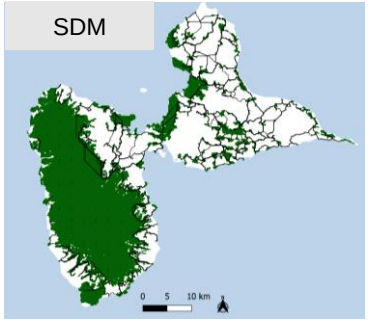
Niveau des liens du graphe



Métriques de connectivité issues des graphes

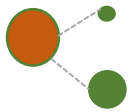




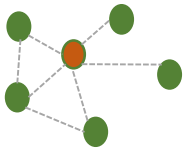


Niveau des nœuds

Patch	C
1	8
2	5

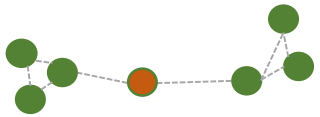


Capacité



Flux

$$F_i = \sum_{j=1 j \neq i}^{n} a_j^{\beta} e^{-\alpha d_{ij}}$$

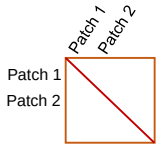


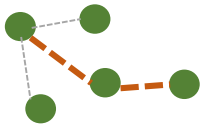
Betweeness Centrality

$$BC_i = \sum_j \sum_k \alpha_j^{\beta} \alpha_k^{\beta} e^{-\alpha d_{jk}}$$

$$j,k \in \{1,\ldots,n\}, k < j, i \in P_{jk}$$

Niveau des liens du graphe

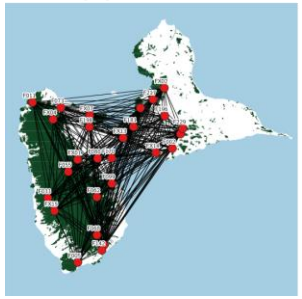




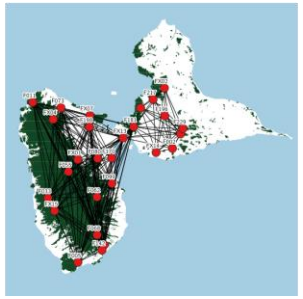
Distances-coût sur le graphe

Trois types d'élagages :

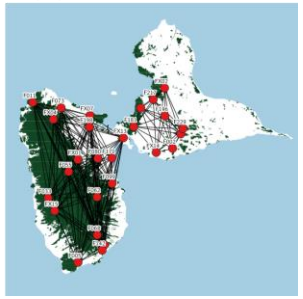
Sans élagage



Elagage avec seuil



Elagage BT-GT



Données génétiques

Paruline caféiette > 27 populations > 712 individus > 12 microsatellites

Métriques au niveau des populations

Pop	Ar	MIW
1	2	8
2	3	5

Métriques inter populations

	Pop 1	Pop 2
Pop 1		
Pop 2		

Données génétiques

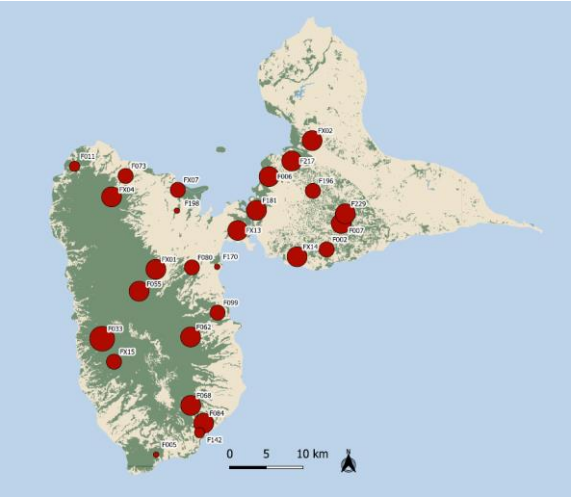
Paruline caféiette > 27 populations > 712 individus > 12 microsatellites

Métriques au niveau des populations

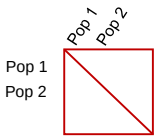
Pop	Ar	MIW
1	2	8
2	3	5

- **Diversité génétique** : Richesse allélique
- **Différenciation génétique :** Mean of Inverse Weigth *(Koen et al. 2016)*

$$MIW_i = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{1}{FST_{ij}}$$



Métriques inter populations



Données génétiques

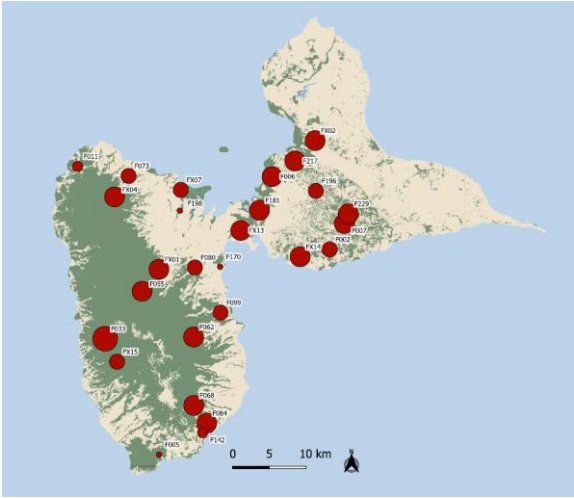
Paruline caféiette > 27 populations > 712 individus > 12 microsatellites

Métriques au niveau des populations

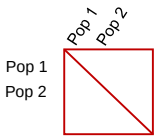
Pop	Ar	MIW
1	2	8
2	3	5

- **Diversité génétique** : Richesse allélique
- **Différenciation génétique :** Mean of Inverse Weigth *(Koen et al. 2016)*

$$MIW_i = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{1}{FST_{ij}}$$

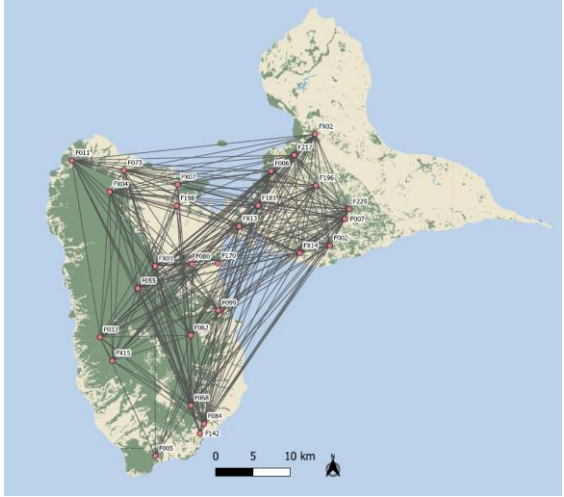


Métriques inter populations



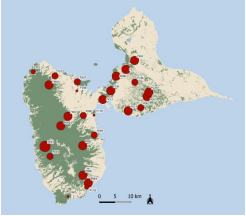
- **Différenciation génétique** : F_{ST}

  matrice de distances génétiques

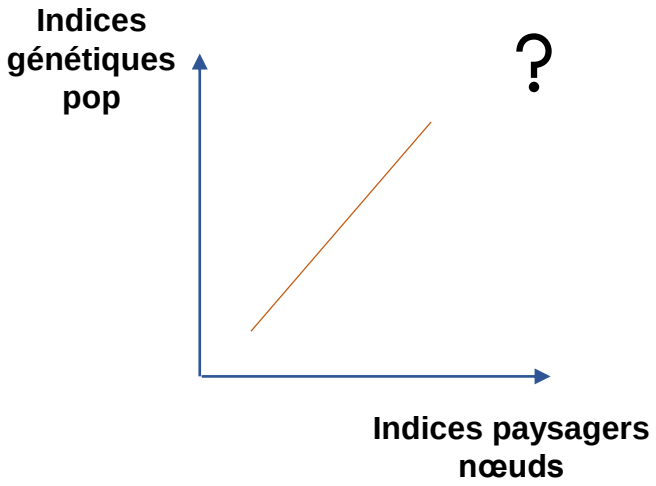


Mise en relation des métriques de connectivités paysagères et des indices génétique

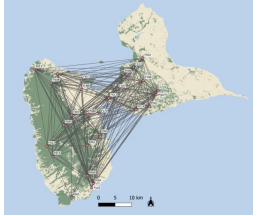
Les métriques issues des graphes ont-elles un sens biologique ?



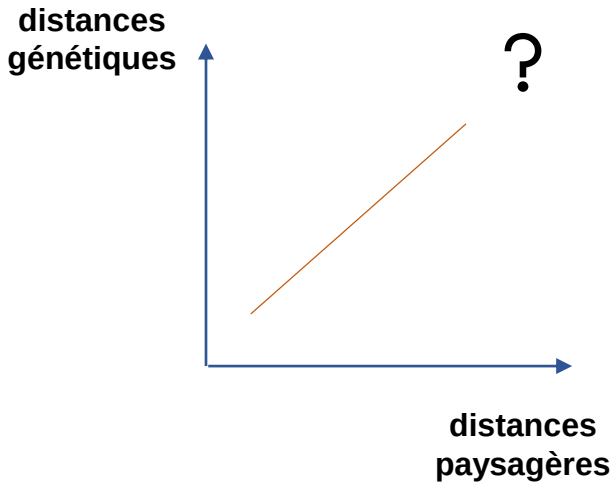
→ **Corrélations de Spearman**



Les distances-coûts sur le graphes peuvent-elles prédire les distances génétiques?



→ **Modèles MLPE**



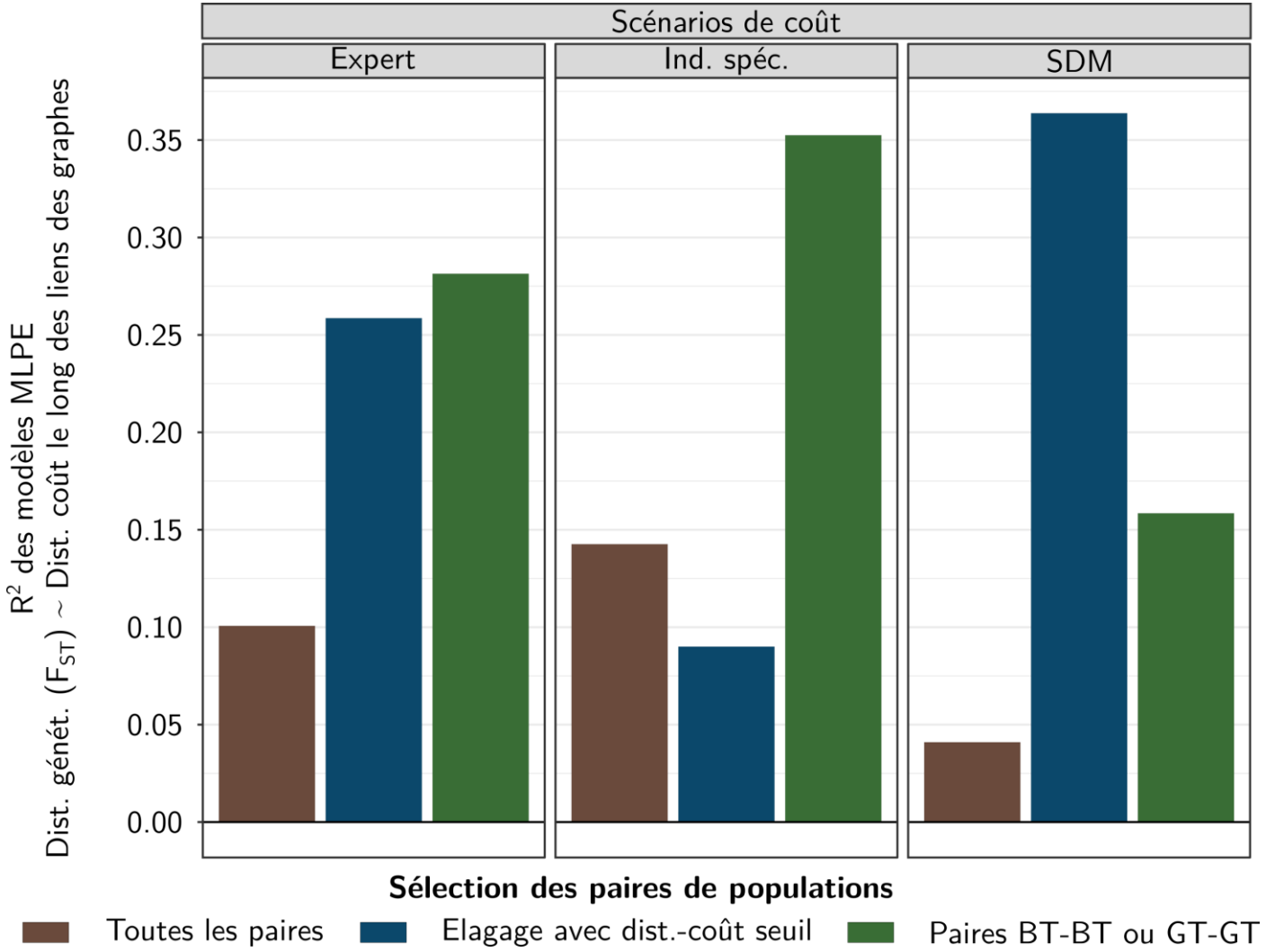
Approche nœuds : Corrélations métriques de diversité génétique et de connectivité

Corr(Indice génétique, Indice de connectivité)

Ind.génét.	Mét.connect.	Type de graphe	$r_{Sp.}$	
MIW	Capacité	Expert / Ind.spéc.	0.50	*
MIW	Capacité	SDM	**0.57**	**
Rich.all.	Capacité	Expert / Ind.spéc.	**0.55**	*
Rich.all.	Capacité	SDM	0.45	
MIW	F	Expert	0.68	***
MIW	F	Ind.spéc.	0.71	***
MIW	F	SDM	0.58	**
Rich.all.	F	Expert	0.42	*
Rich.all.	F	Ind.spéc.	0.48	*
Rich.all.	F	SDM	0.37	
MIW	BC	Expert	0.63	***
MIW	BC	Ind.spéc.	**0.68**	***
MIW	BC	SDM	0.63	***
Rich.all.	BC	Expert	**0.51**	**
Rich.all.	BC	Ind.spéc.	0.50	**
Rich.all.	BC	SDM	0.42	*

Approche liens : R^2 de calibration

Distance génétique$_{ij}$ ~ Distance-coût$_{ij}$



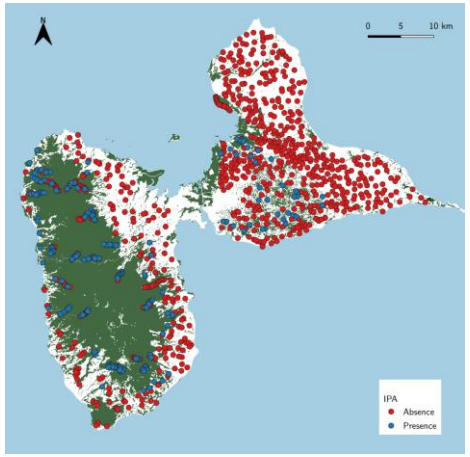
Discussion - Conclusions

- Validation empirique des graphes paysagers par des données génétiques
- Les méthodes de construction les plus complexes n’apportent pas toujours les meilleurs résultats
- Le choix des méthodes de construction importe autant que le choix des données
- Prise en compte de l’échelle spatiale de la connectivité grâce à l’élagage

Merci pour votre attention

Indice de spécialisation

Jacobs, 1974



$$I_{Jacobs_{ik}} = \frac{r_{ik} - p_i}{r_{ik} + p_i - 2r_{ik}p_i}$$

i : type d'OS
n : nombre de points de présence
m : points d'échantillonnage

$r_i = n_i / n_k$
$p_i = m_i / m$

Nœuds : OS avec l'indice maximal

$$Cost_i = e^{\frac{-\ln(Cost_{max}) \times (Jacobs_i + 1)}{Jacobs_{habitat} + 1}} \times Cost_{max}$$

(Bourdouxhe et al. 2020)

Cost max = 1000 *(Gurrutxaga et al. 2010)*

Jacobs habitat : valeur maximale de l'indice (habitat)

$Jacobs_i$: indice de spécialisation de l'O.S. i

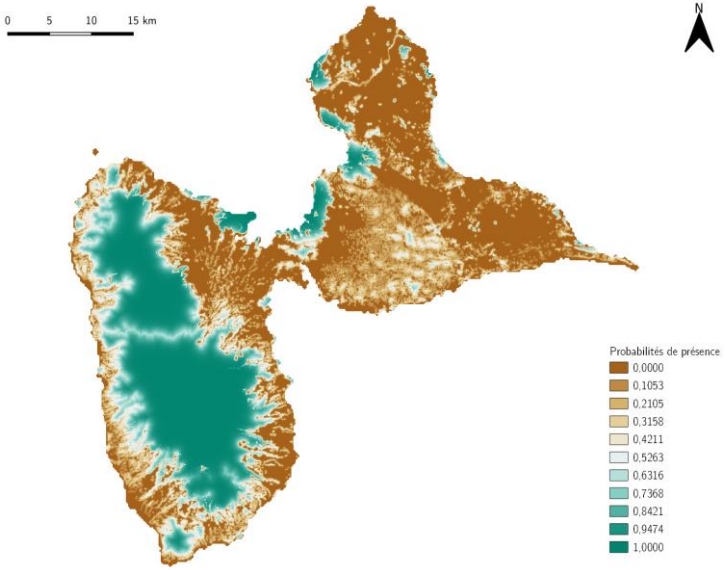
SDM

Présence / Absence ~ % agri + % bâti + dist. route + dist. Forêt + précipitations moyennes

AUC = 0,918

Seuil de présence : 0,328 (optimisation du coefficient de corrélation de Matthews)

Nœuds : pixels avec proba de présence > 0,328

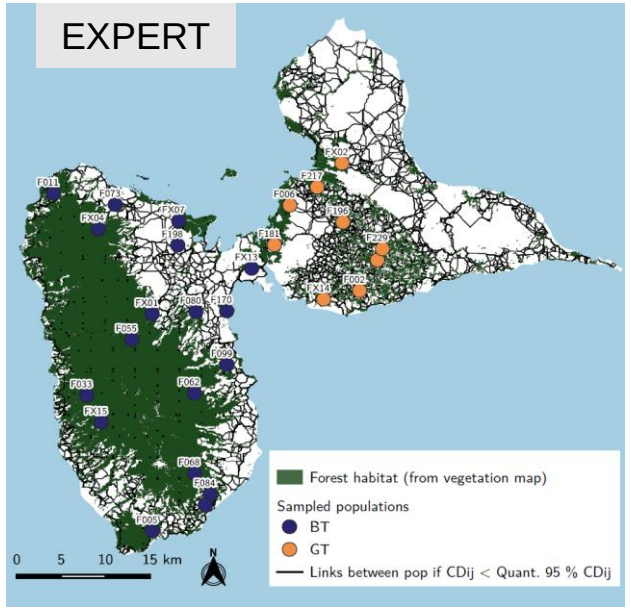


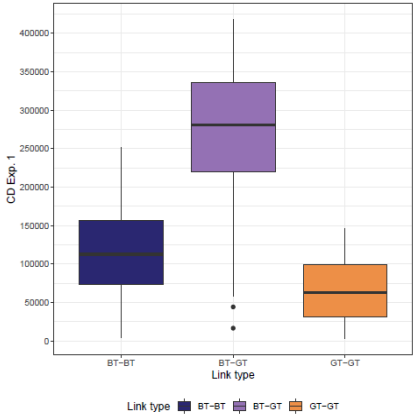
$$Cost_i = e^{\frac{-\ln(Cost_{max}) \times S_i}{S_{thr.}}} \times Cost_{max}$$

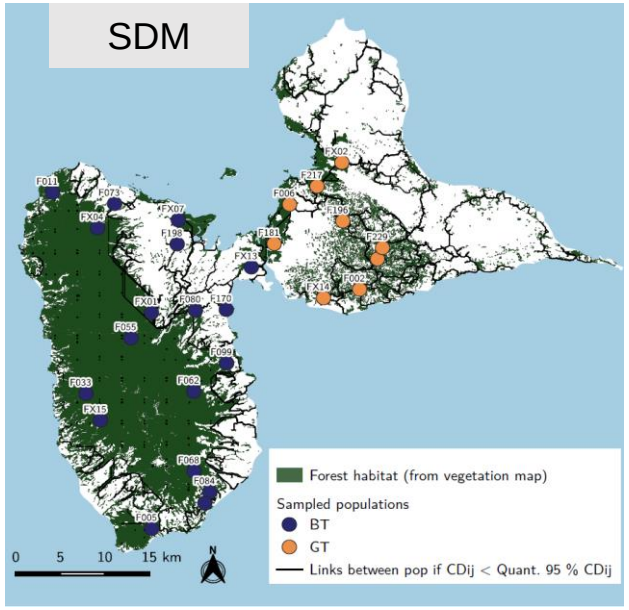
(Bourdouxhe et al. 2020)

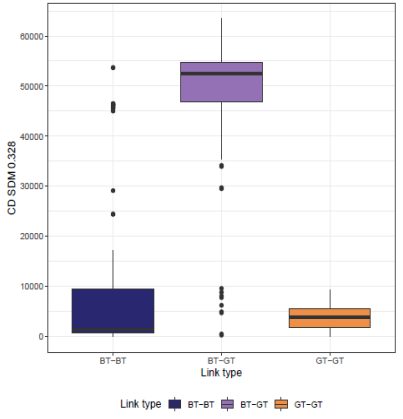
Scénarios de coûts

Occupation du sol	Valeurs de coûts		
	Expert	Indice de spécialisation	SDM
Habitat	1	1	9 ± 84
Forêt	112	3	127 ± 308
Zones semi-naturelles	334	52	314 ± 367
Zones semi-ouvertes	223	6	577 ± 450
Zones ouvertes	334	509	544 ± 428
Zones agricoles	223	241	598 ± 420
Zones humides	223	1000	109 ± 264
Cours et plans d'eau	334	1000	459 ± 441
Océan	1000	1000	993 ± 76
Zone artificialisées	1000	52	510 ± 405



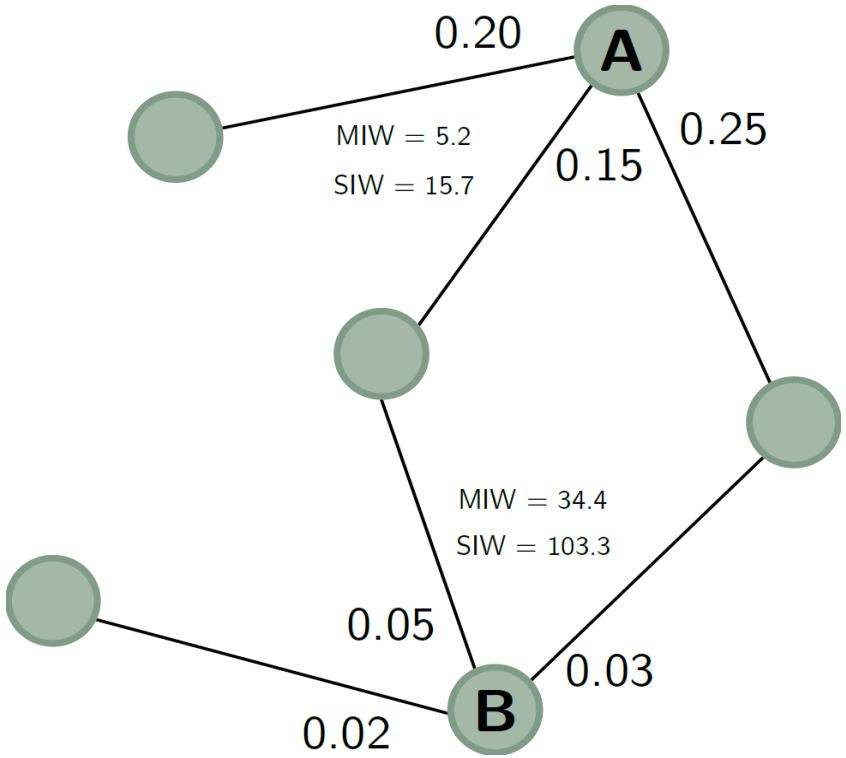




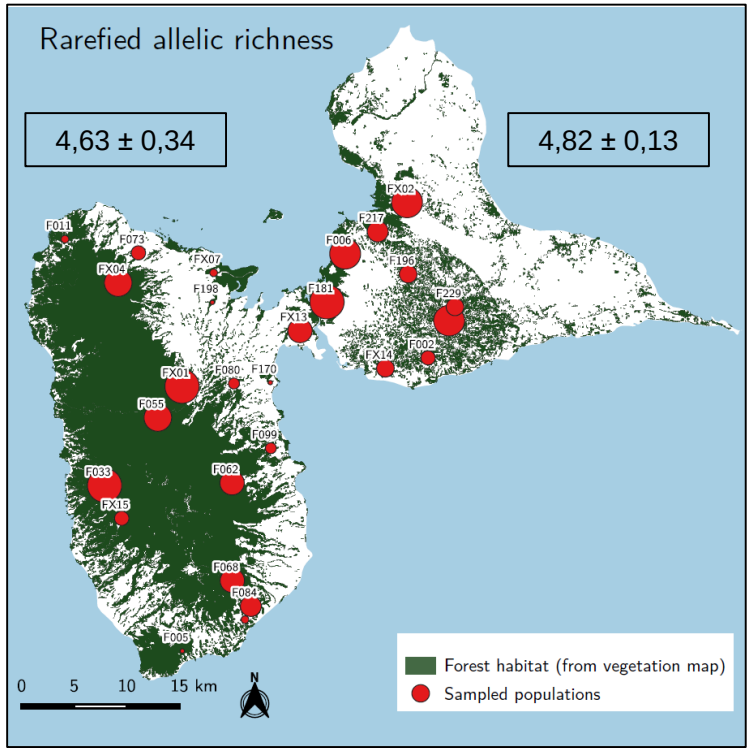


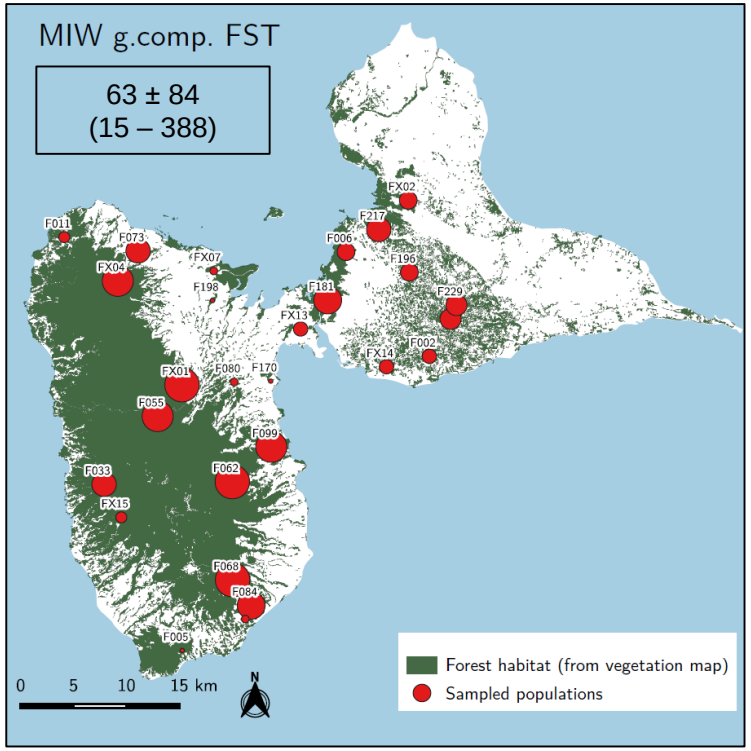
Mean of Inverse Weight (MIW)

$$MIW_i = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{1}{FST_{ij}}$$

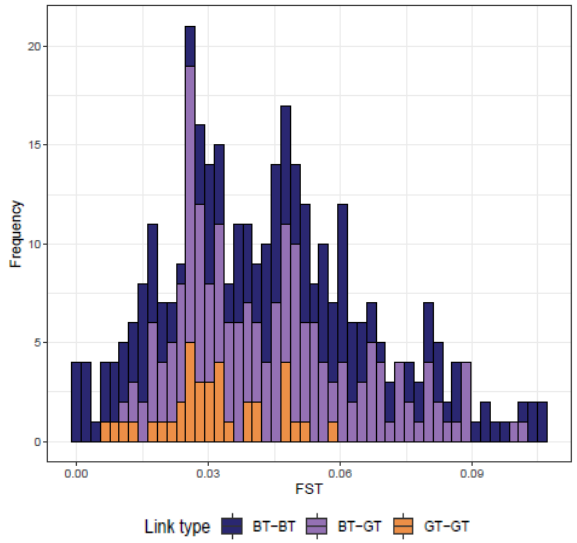


Structure génétique





Différenciation génétique F_{ST}



F_{ST} : 0,044 (0 – 0,16)

90% des paires de populations significativement différenciées