
Modélisation qualitative et réseaux bayésiens de la dynamique des récifs d'hermelles

Sous la supervision de:

Dr. Martin P. Marzloff

Dr. Aurélien Boyé

Dr. Stanislas Dubois

Changements d'états écologique et espèces ingénieuses

- Espèces ingénieurs = Biodiversité
- Bioconstructions
- Perturbations
- Etats alternatifs
- Boucles de rétroaction (Dakos *et al.*, 2019)

Etat dominé kelps



Etat dominé oursins



From Marzloff *et al.* 2011

Sabellaria alveolata (Linnaeus, 1767)

- Annélide polychète tubicole
- Zone intertidale
- Très dynamique
- Bioconstructions augmentent localement la richesse spécifique (Lecornu *et al.*, 2016)
- Protection contre l'érosion côtière

→ Implication dans les changements d'états ?

→ Quels paramètres à prendre en compte dans la dynamique ?

Janvier 2019



Février 2020



→ Paramètres environnementaux (niche de Grinnell, 1917)

- Vent 
- Courant 
- Type de substrat
- Matière Inorganique Particulaire en Suspension (SPIM) 
- Températures 

→ Paramètres biotiques (niche d'Elton, 1927)

- *Mytilus edulis*
- *Crassostrea gigas*
- *Ulva* sp.
- Algues brunes



Quels sont les influences relatives des paramètres biotiques et abiotiques dans la dynamique des récifs d'hermelles ?

- Caractérisation des états alternatifs
- Identification des processus biotiques et abiotiques sous-jacents
- Réponses des modèles à différents scénarios

Quels sont les influences relatives des paramètres biotiques et abiotiques dans la dynamique des récifs d'hermelles ?

- Caractérisation des états alternatifs
- Identification des processus biotiques et abiotiques sous-jacents
- Réponses des modèles à différents scénarios

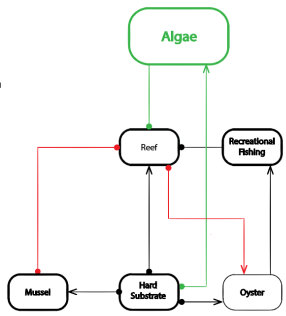
Approches complémentaires

→ Modélisation qualitative

- Dires d'experts
- Compétition inter-spécifique

→ Réseaux Bayésiens

- Basé sur des données
- Filtres environnementaux



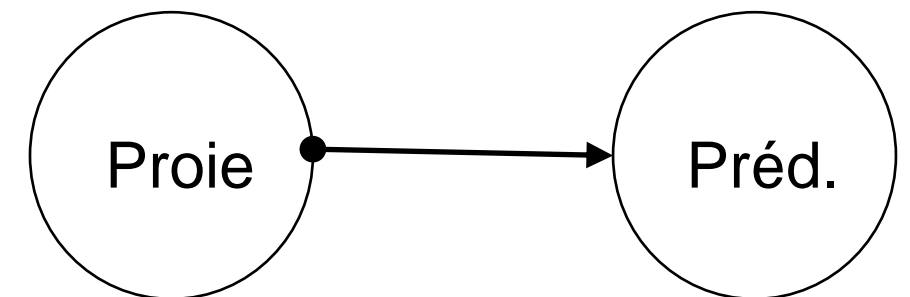
→ Approche qualitative = généraliste et réaliste

→ Synthèse des connaissances = dires d'experts + littérature

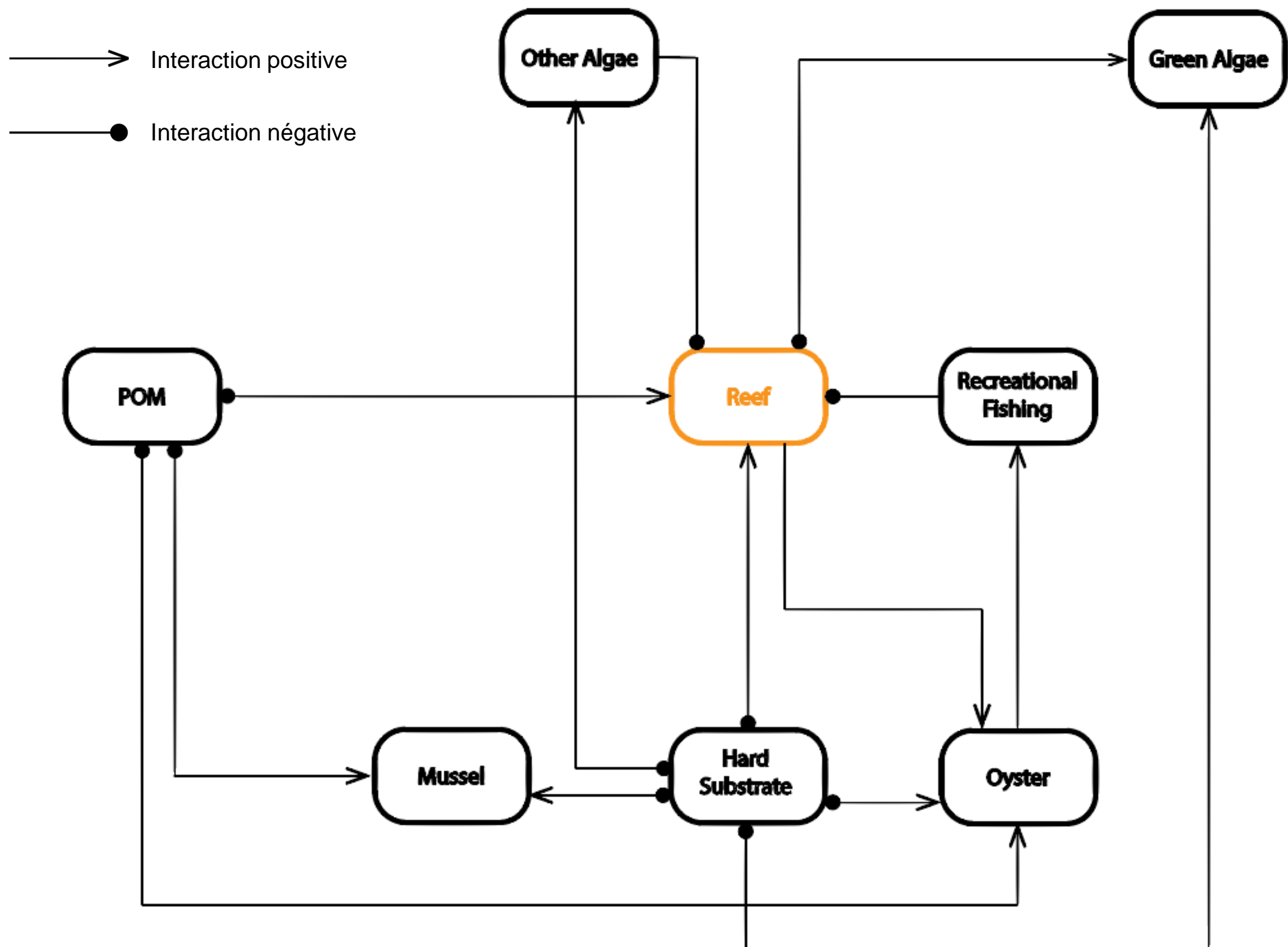
→ Signe des interactions (pas de leur magnitude)

→ Construction de modèles alternatifs

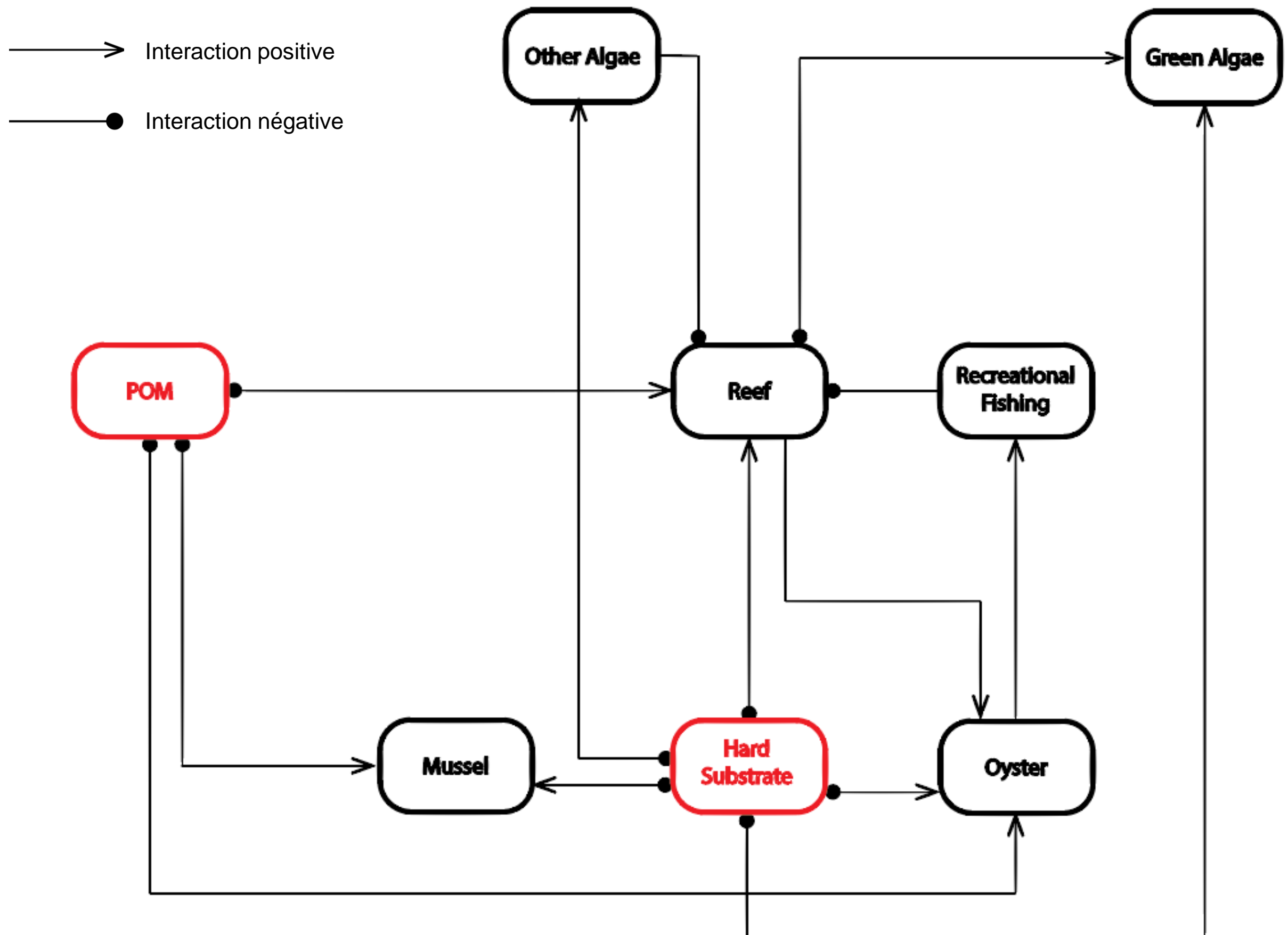
→ Effets de scénarios long-termes



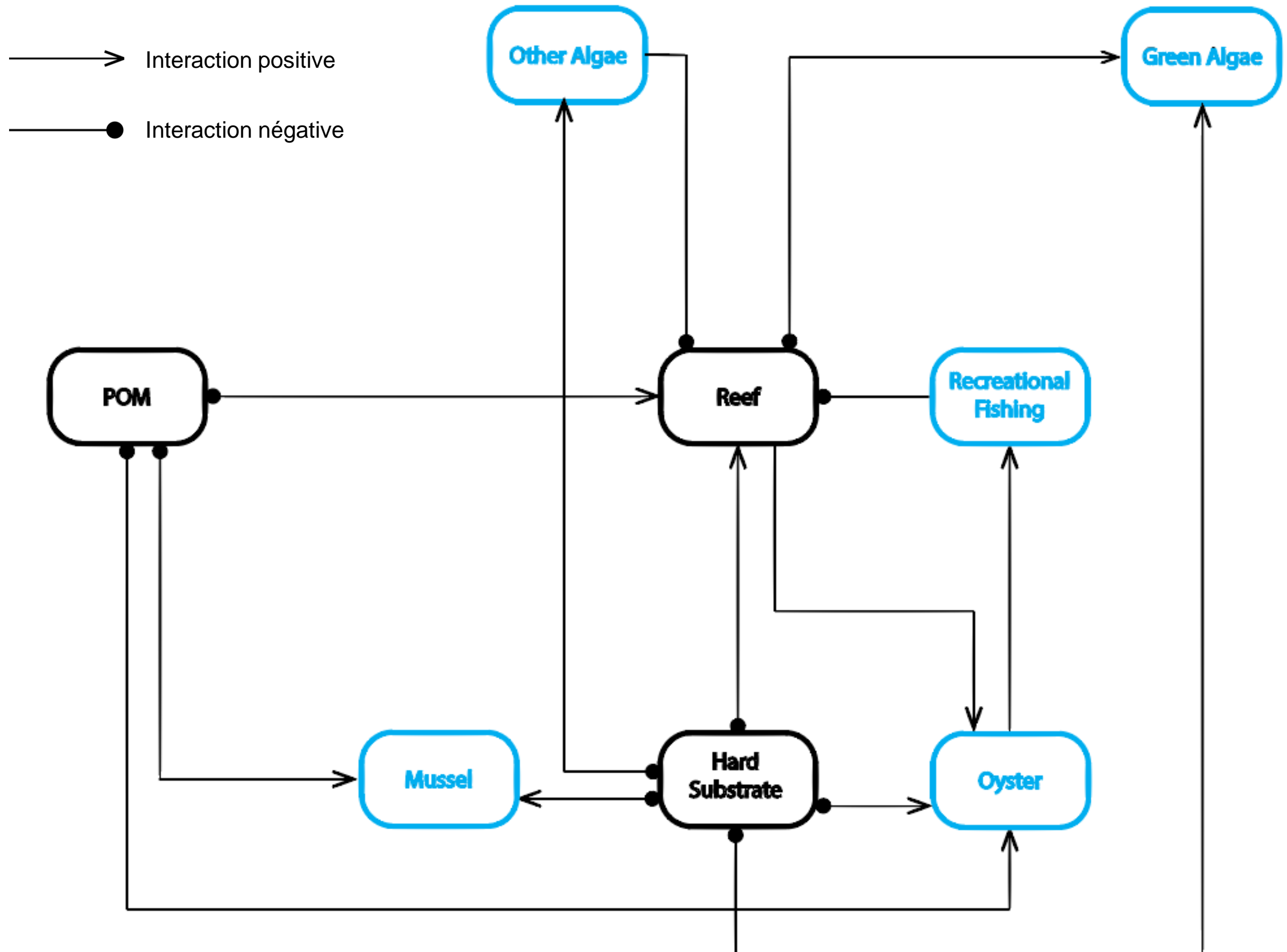
Modèle expert et modèles alternatifs

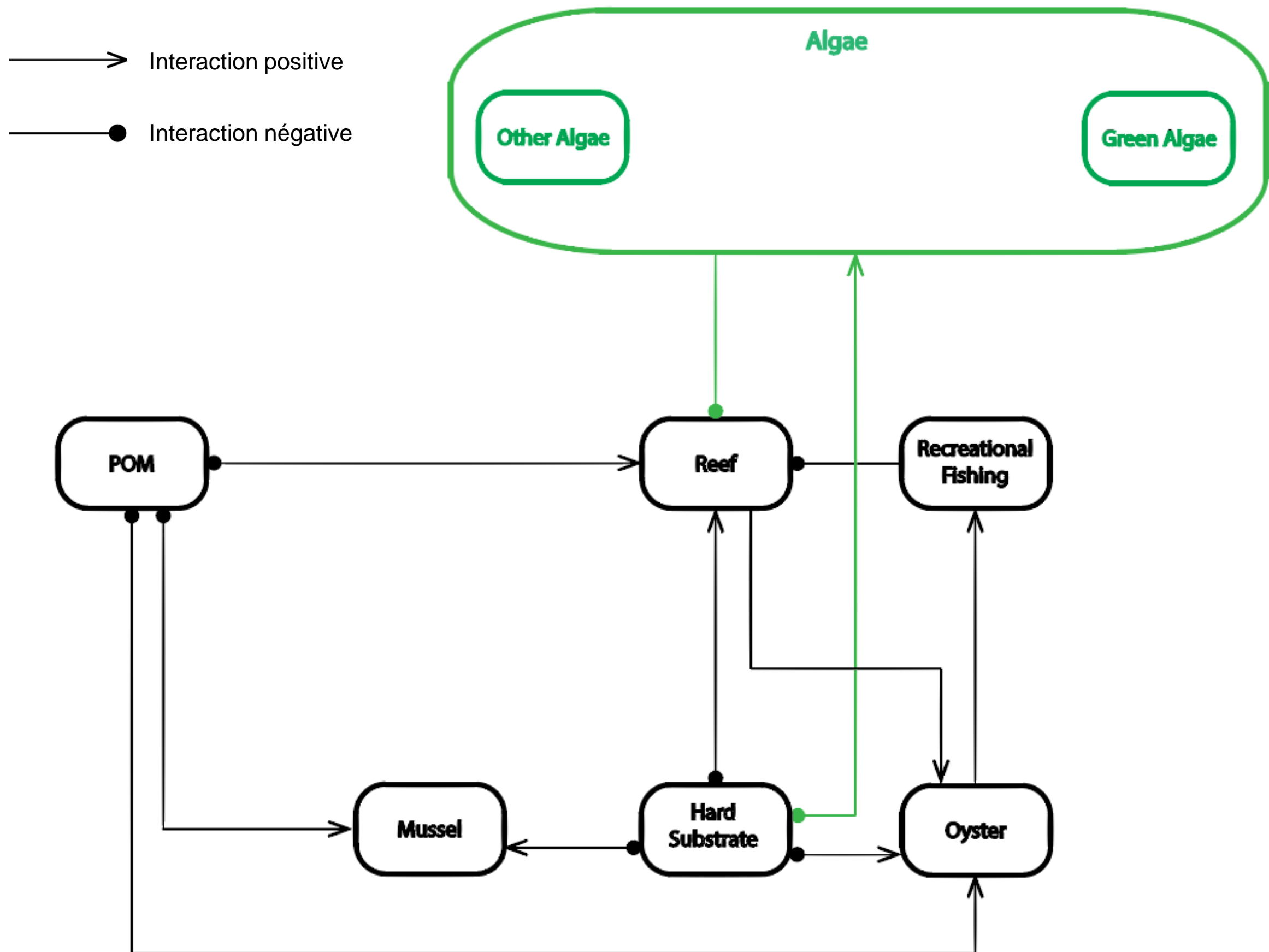


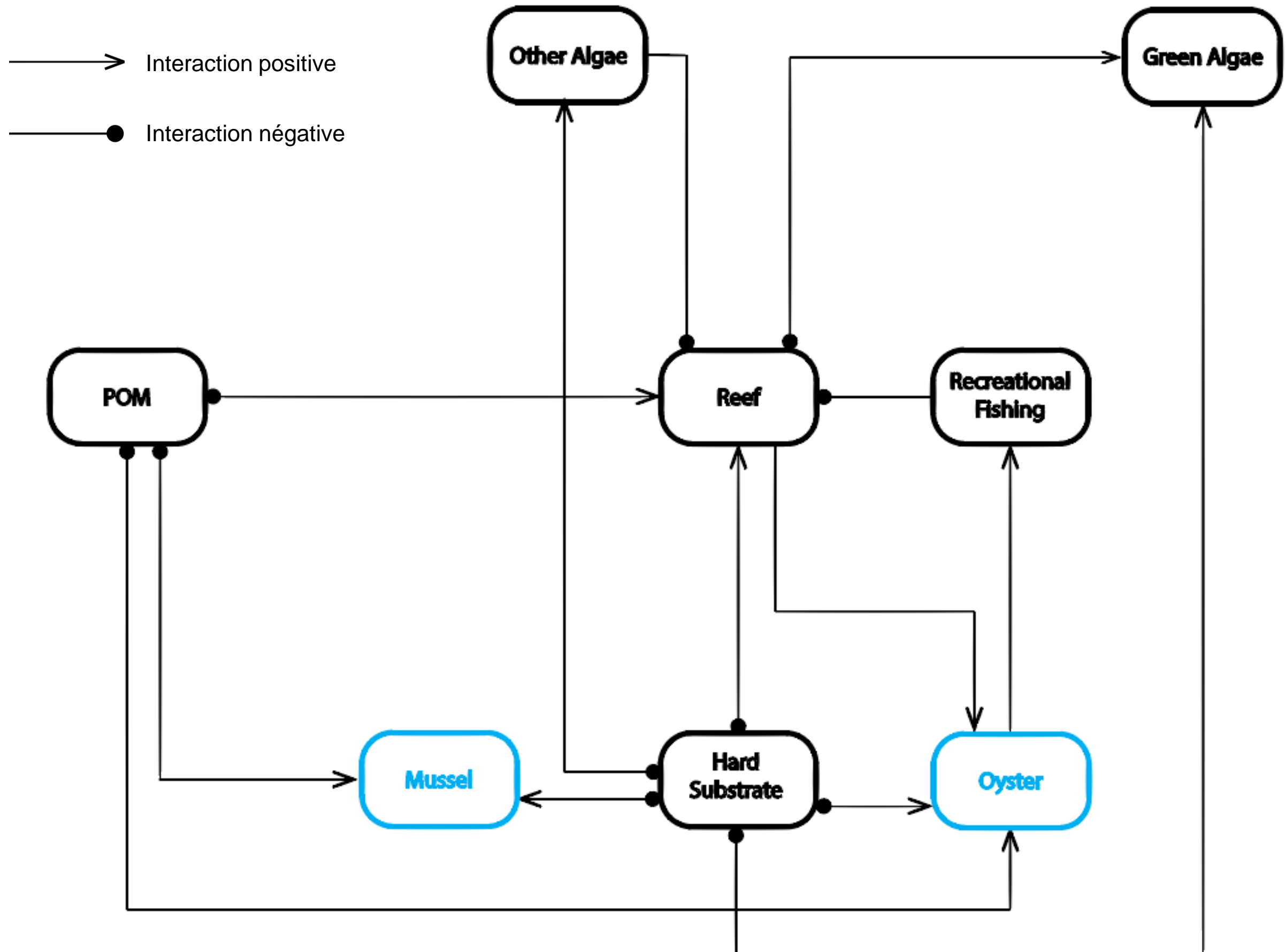
Modèle expert et modèles alternatifs



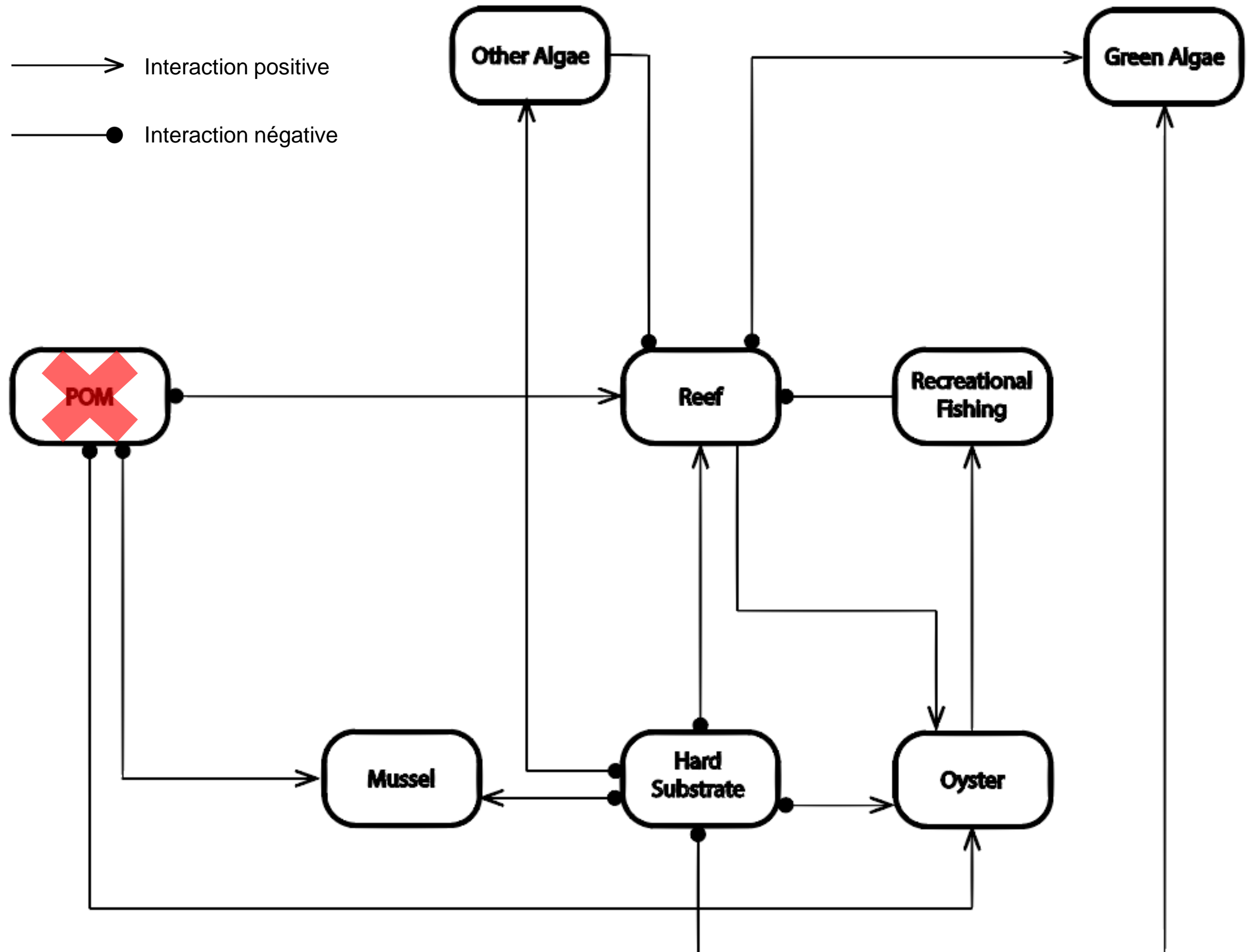
Modèle expert et modèles alternatifs



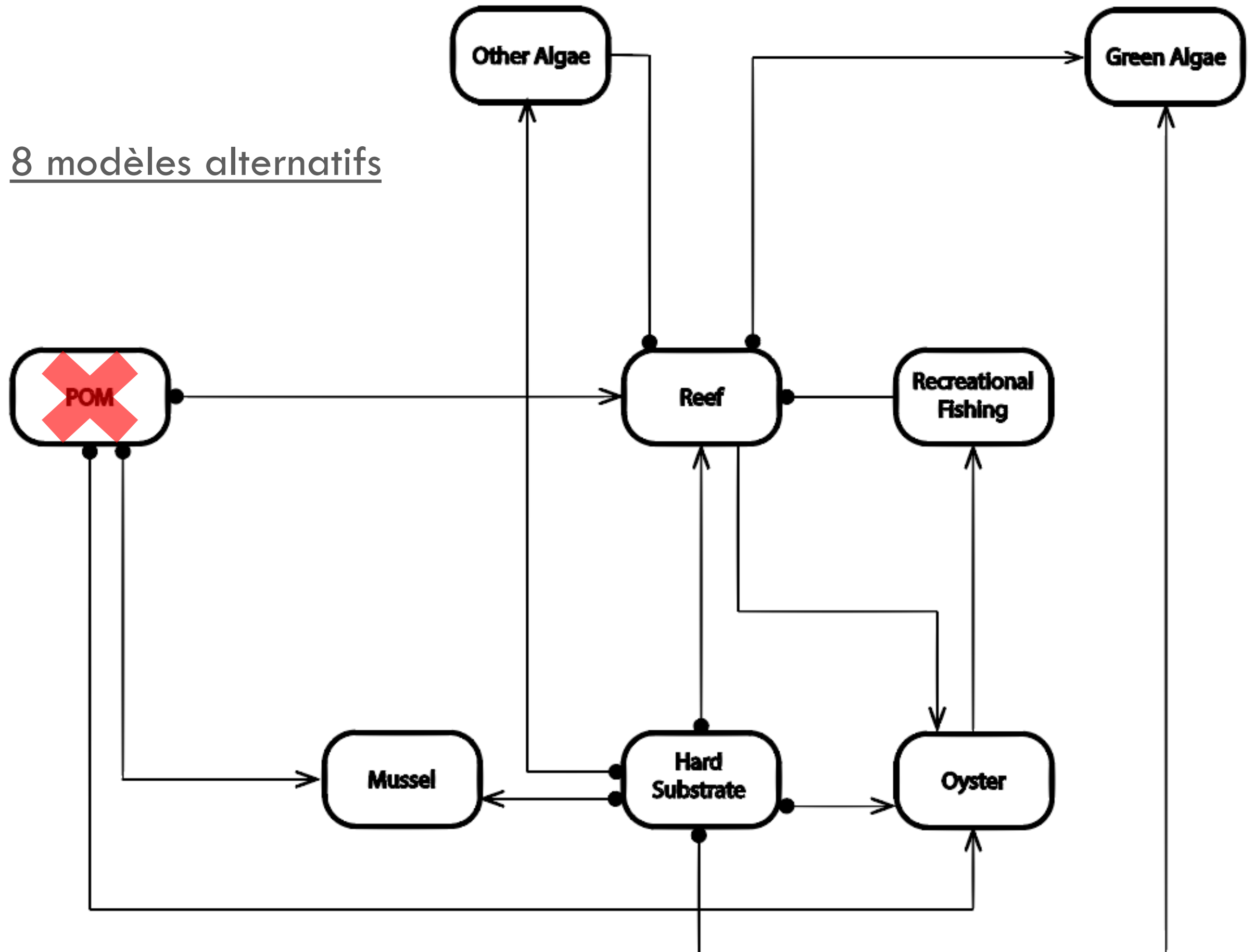




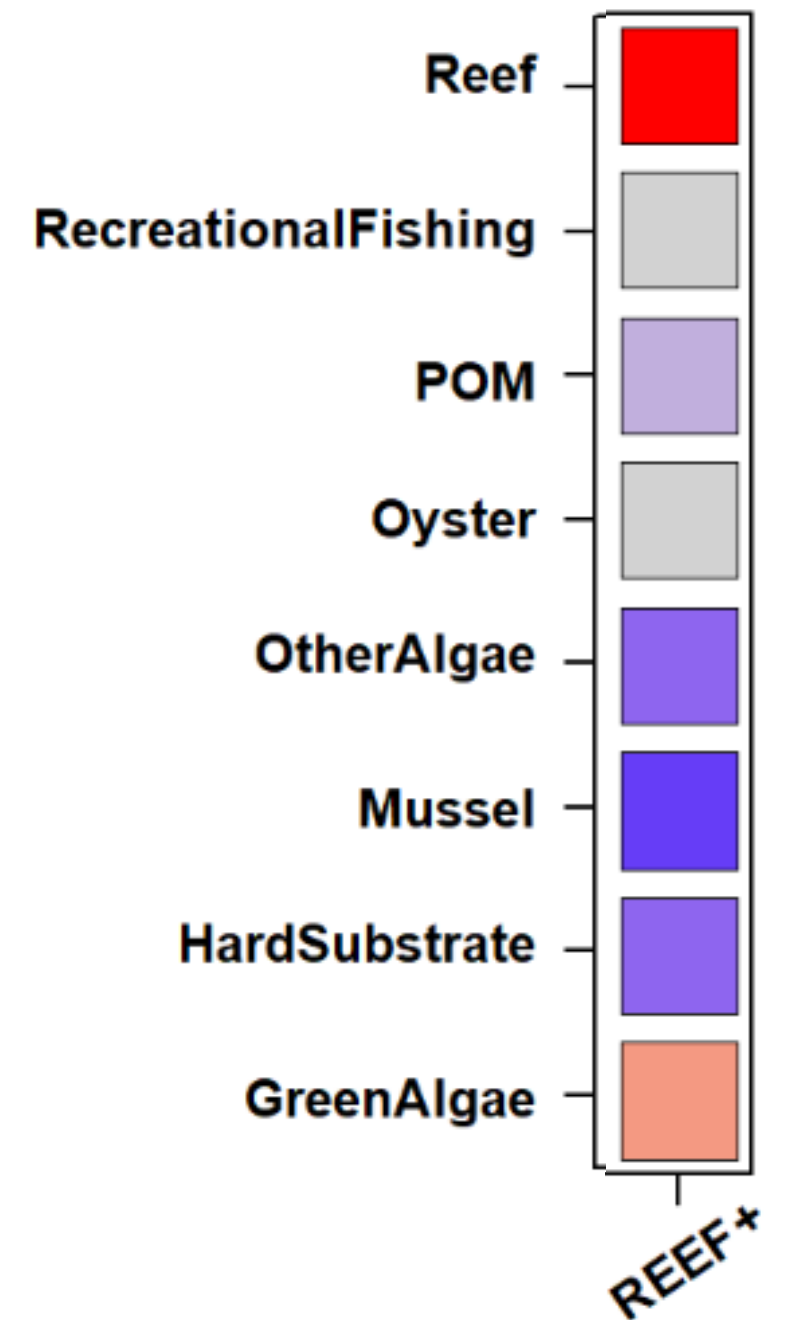
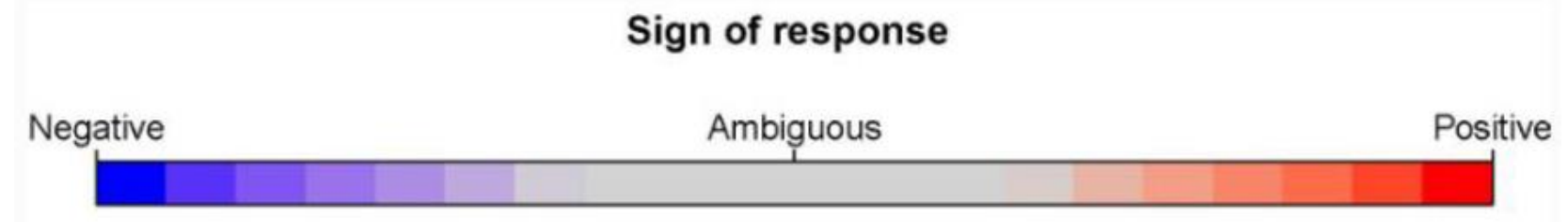
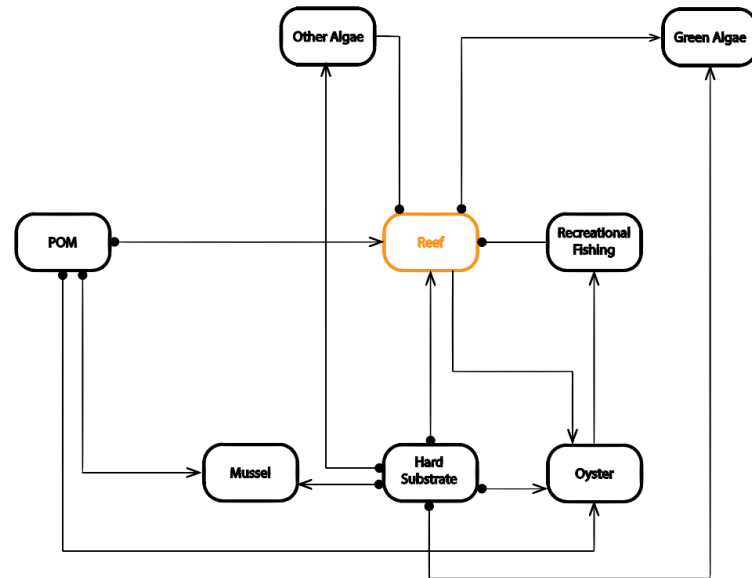
Modèle expert et modèles alternatifs



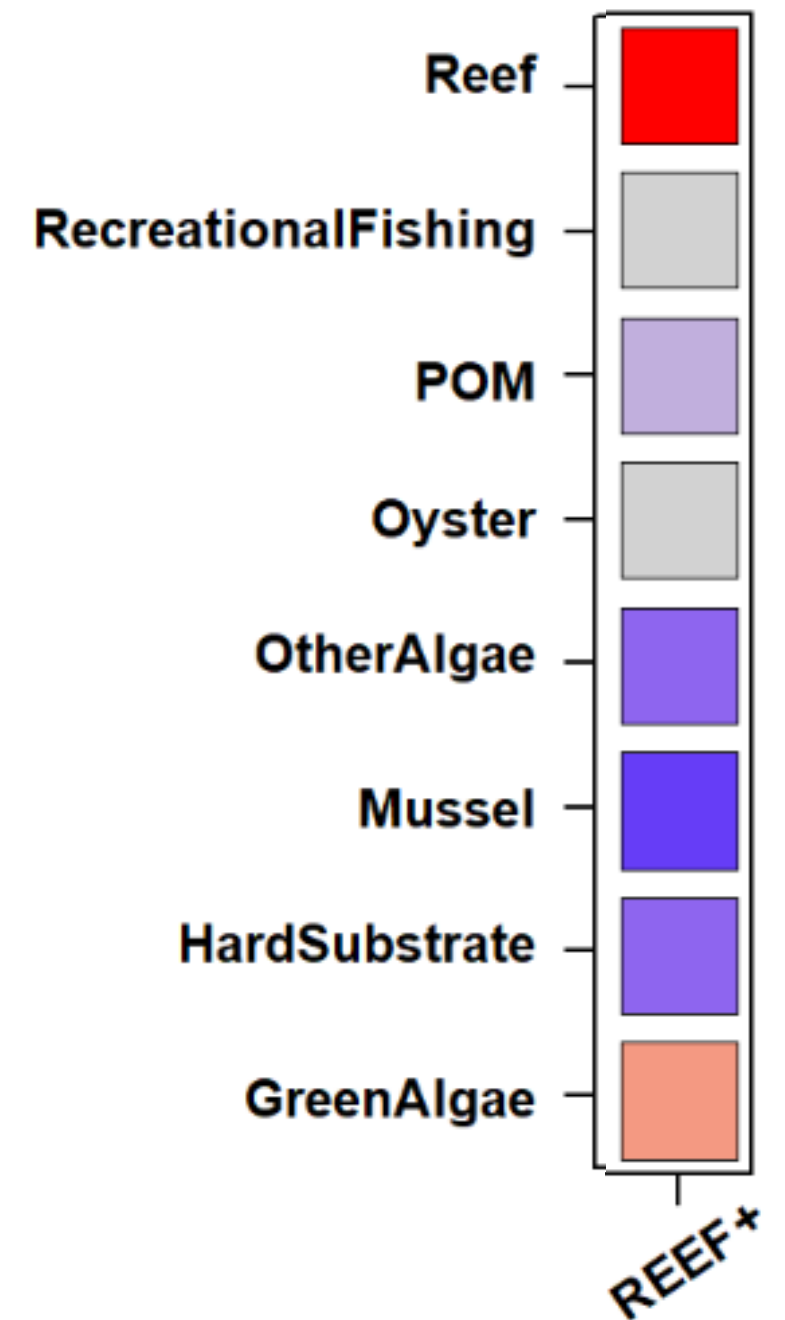
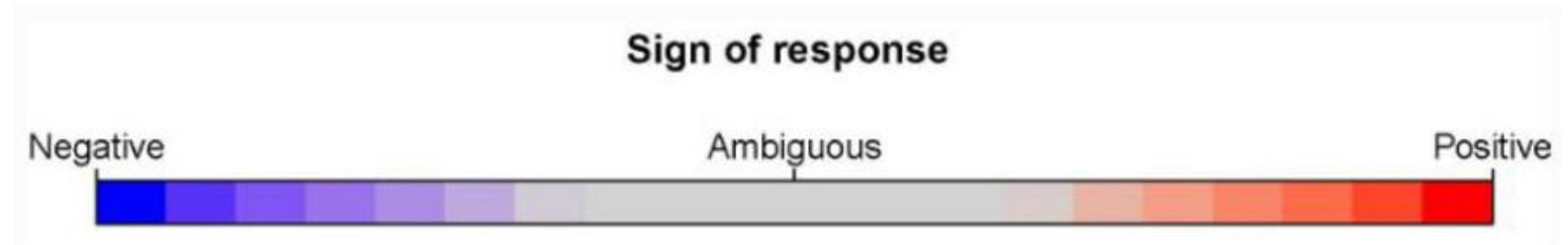
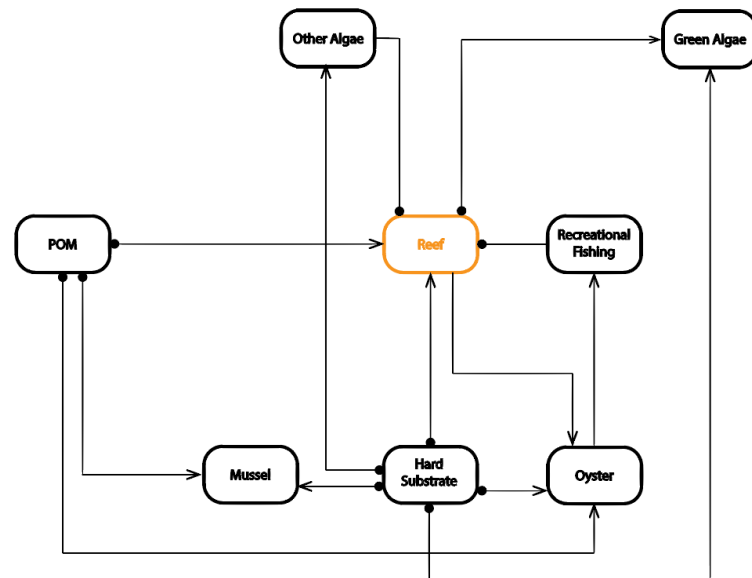
8 modèles alternatifs



Réponse aux scénarios

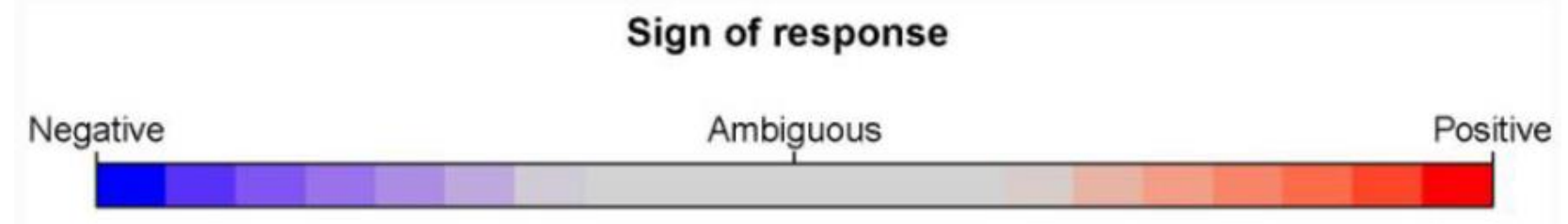
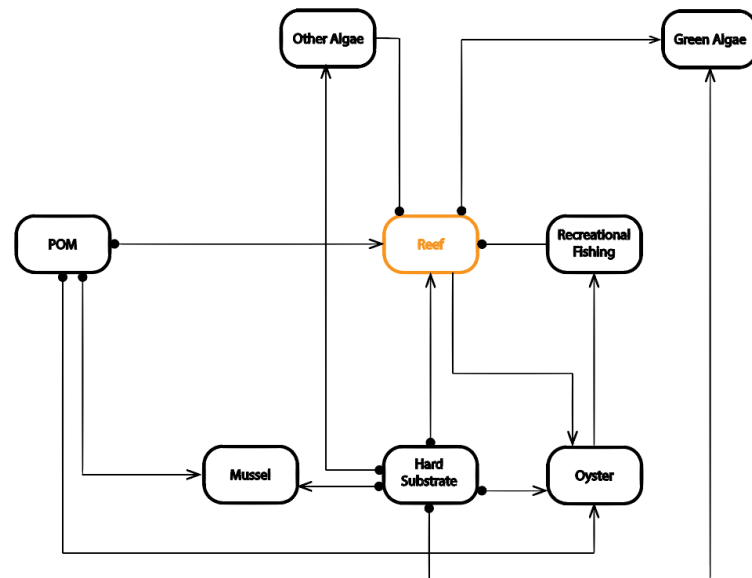


Réponse aux scénarios

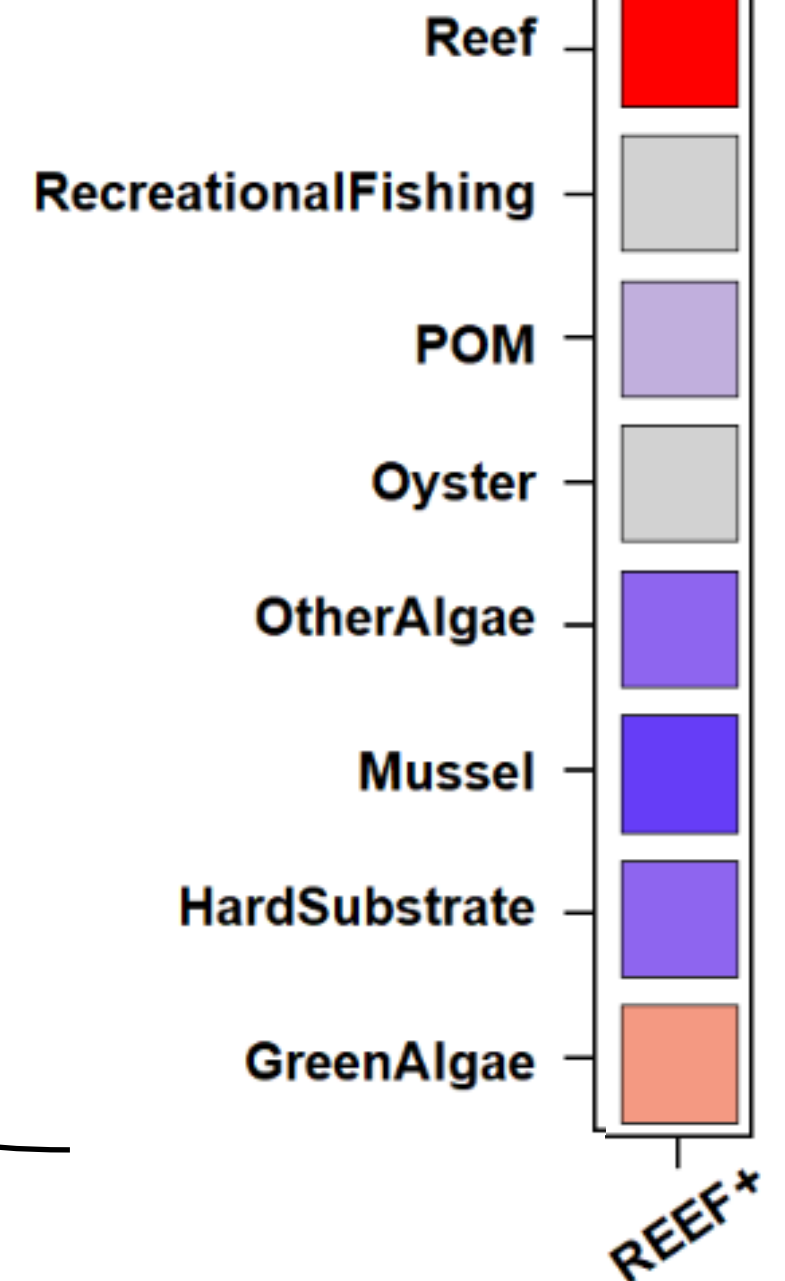


Scénario

Réponse aux scénarios

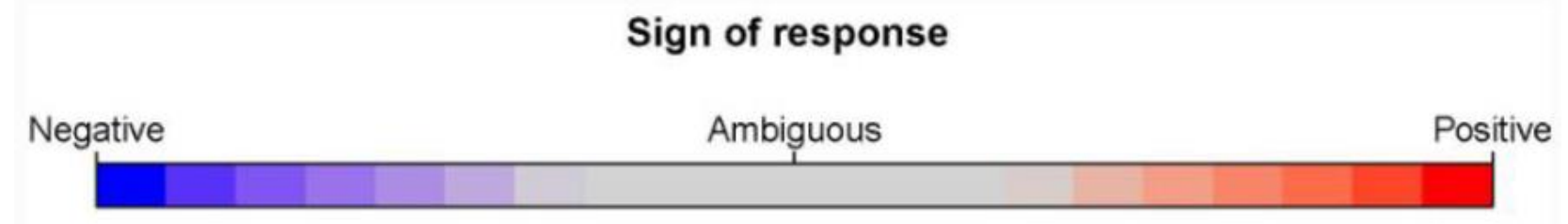
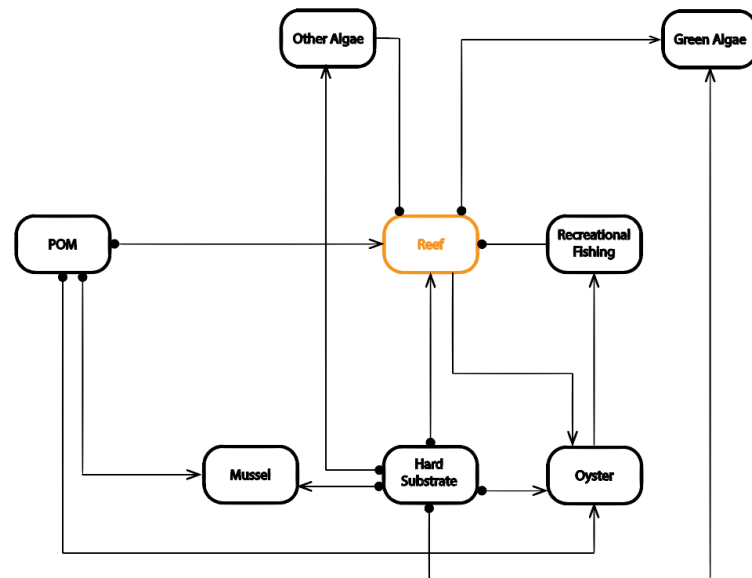


Variables
réponses

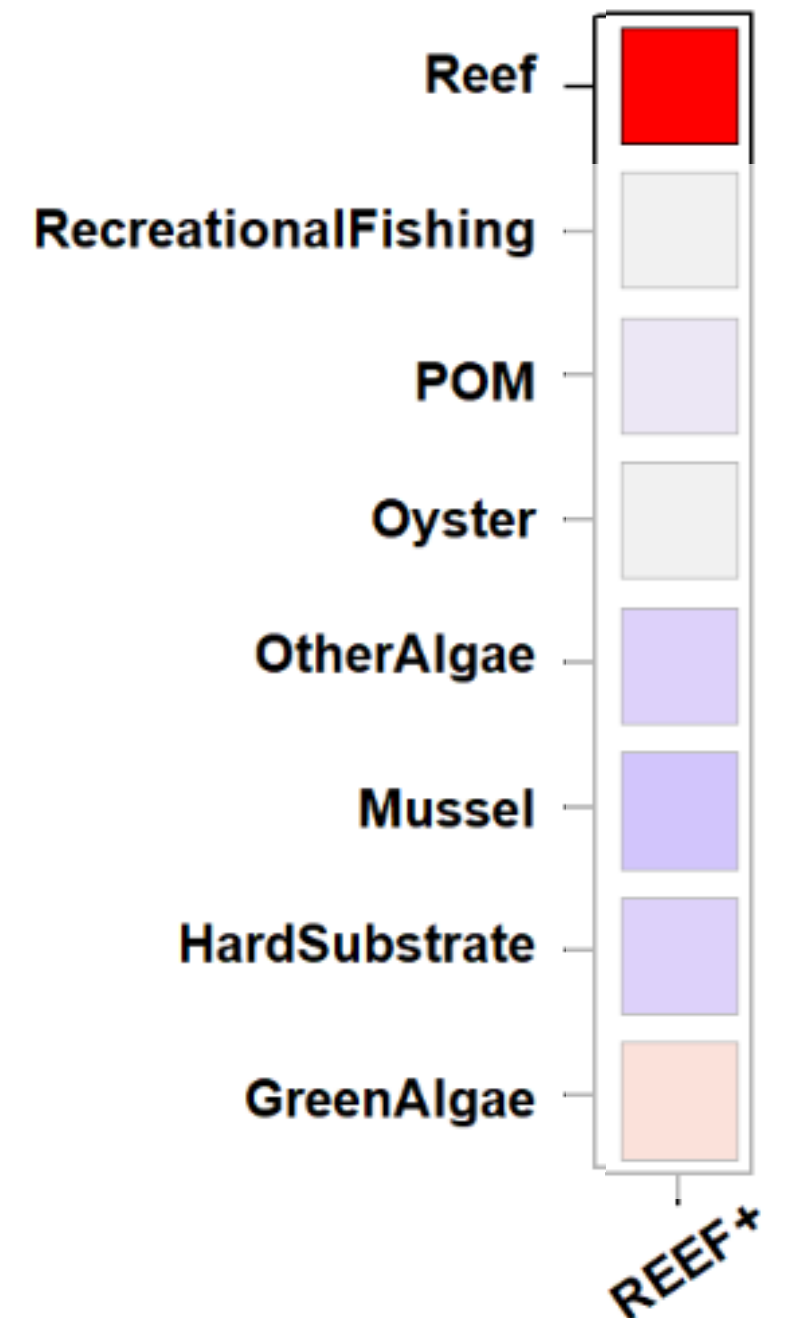


Scénario

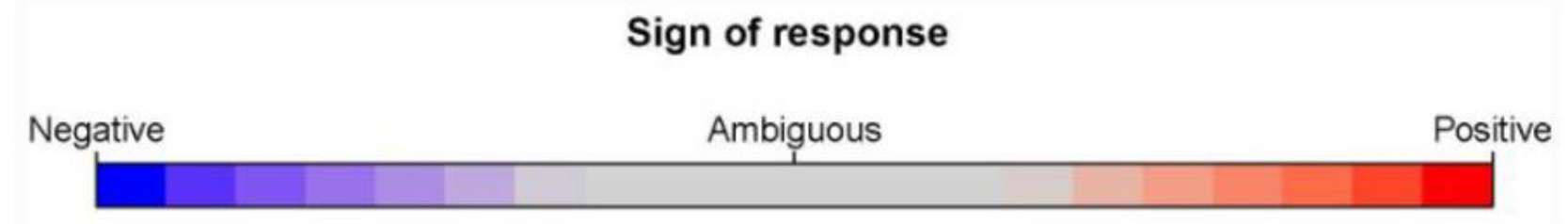
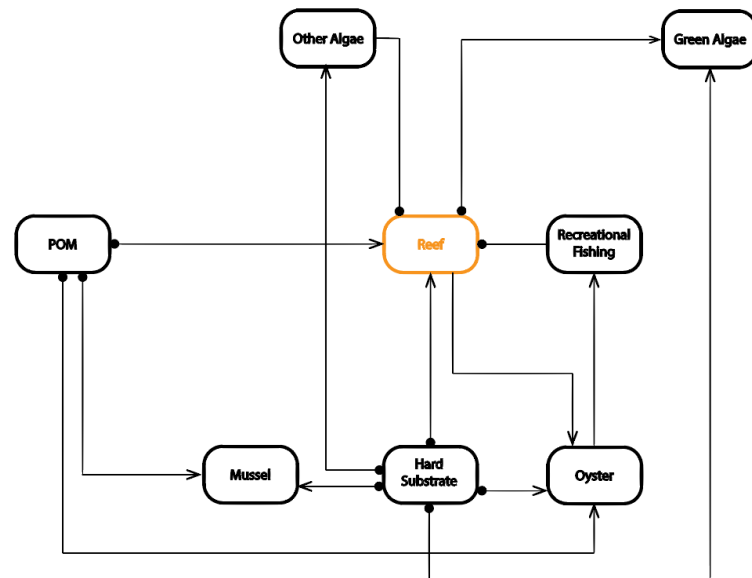
Réponse aux scénarios



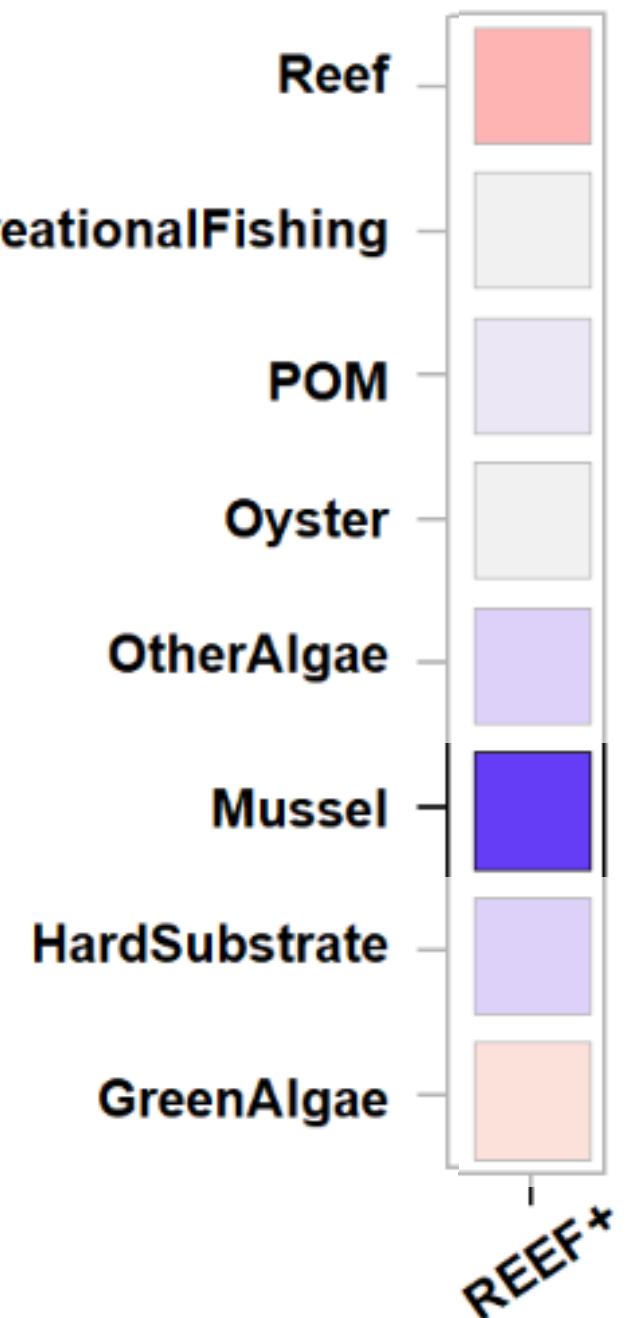
→ Réponse majoritairement positive



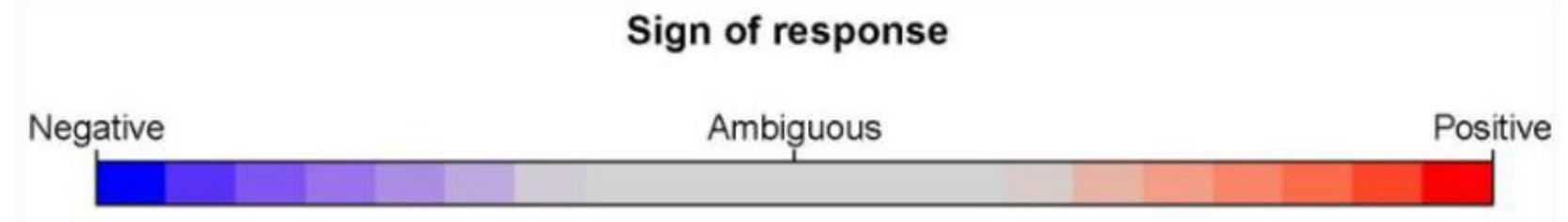
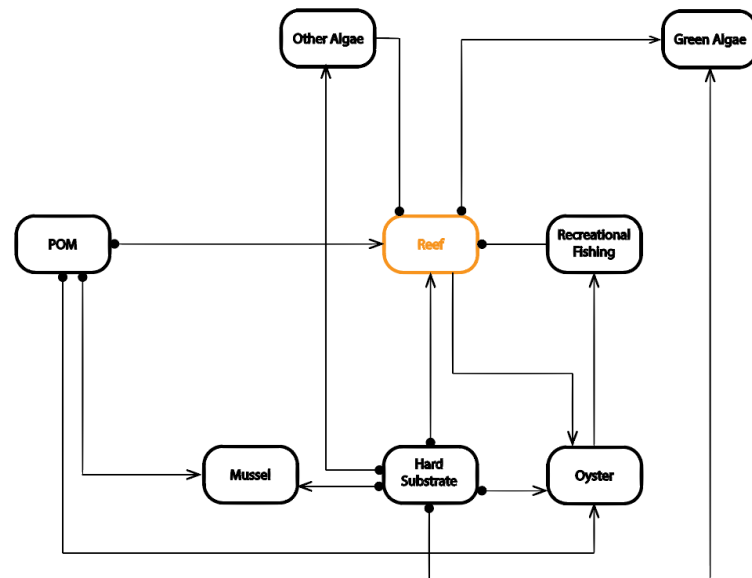
Réponse aux scénarios



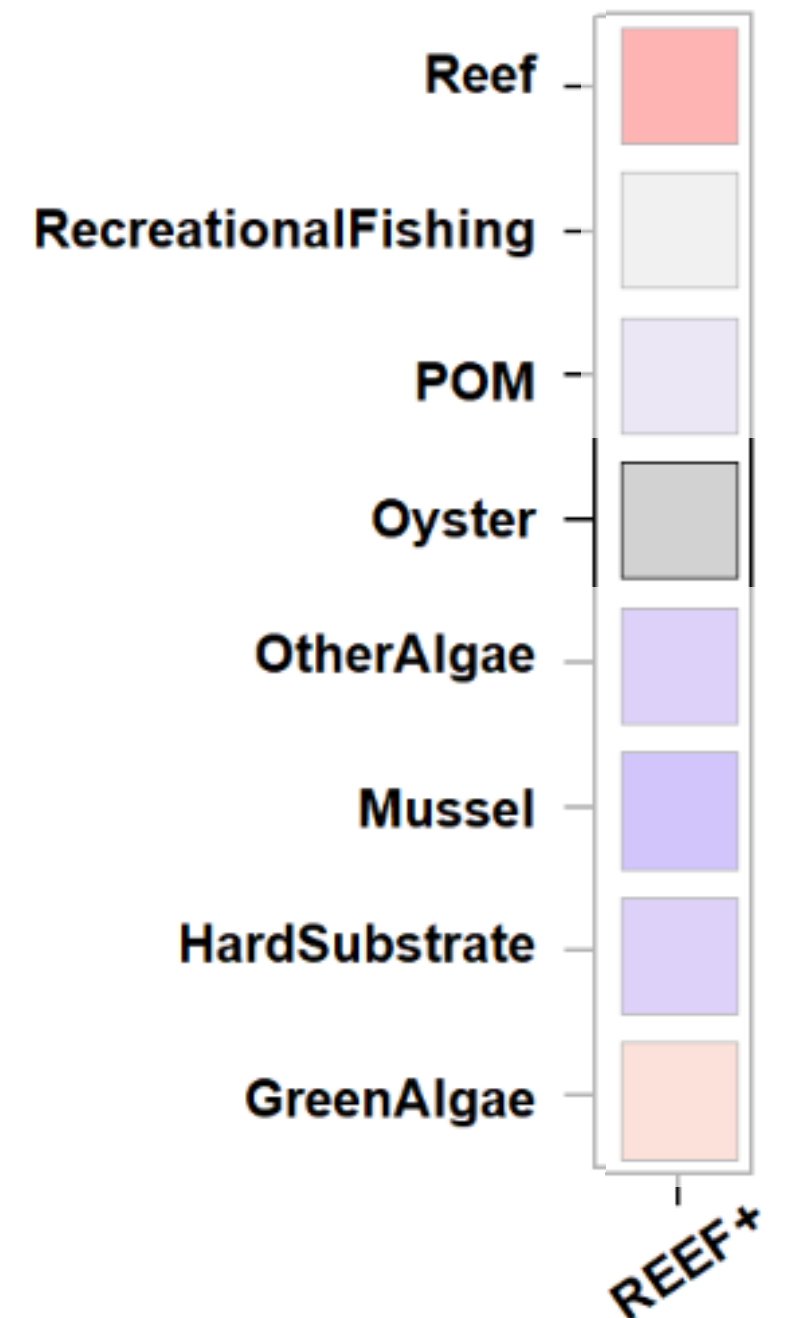
→ Réponse majoritairement négative



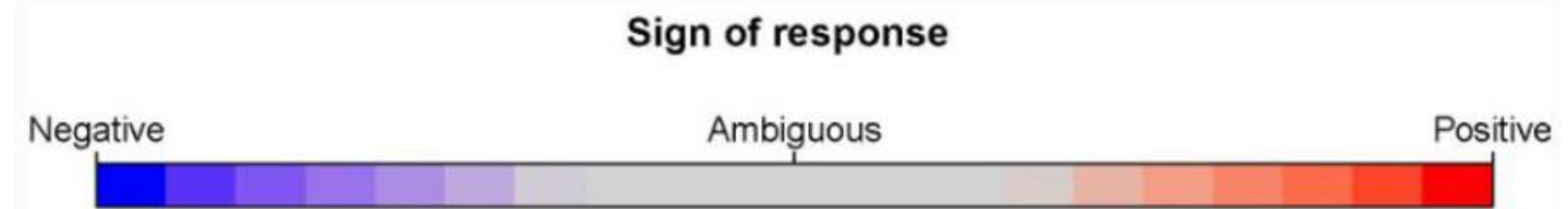
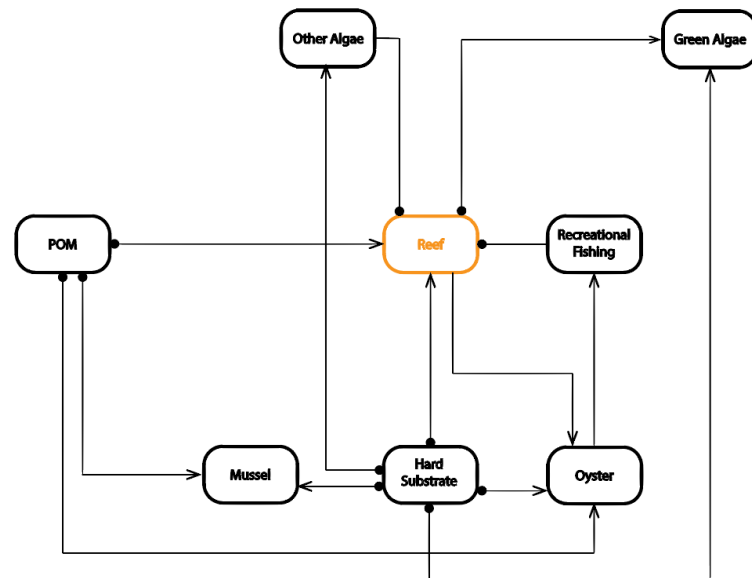
Réponse aux scénarios



→ Réponse ambiguë



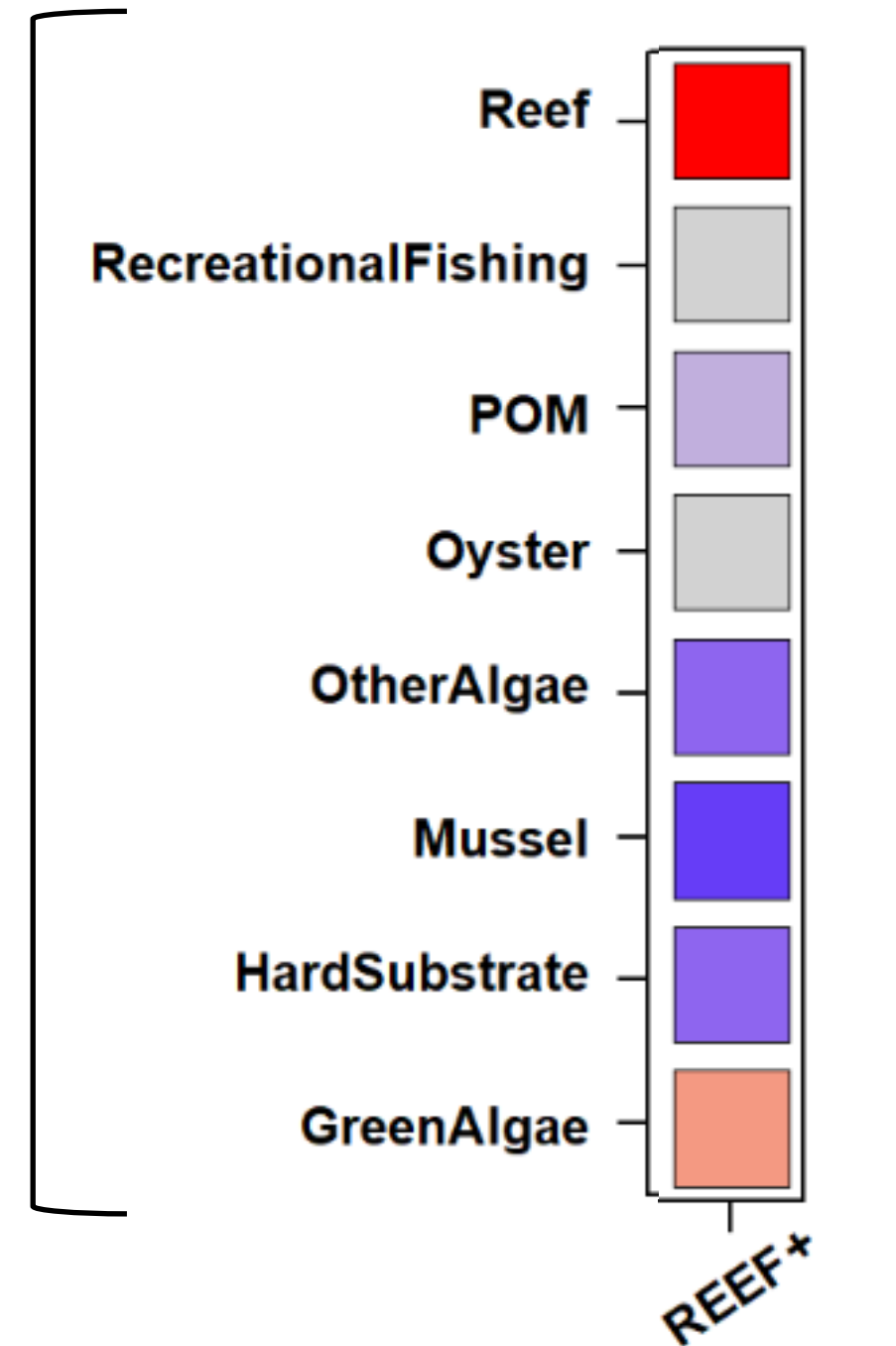
Réponse aux scénarios



Variables
réponses

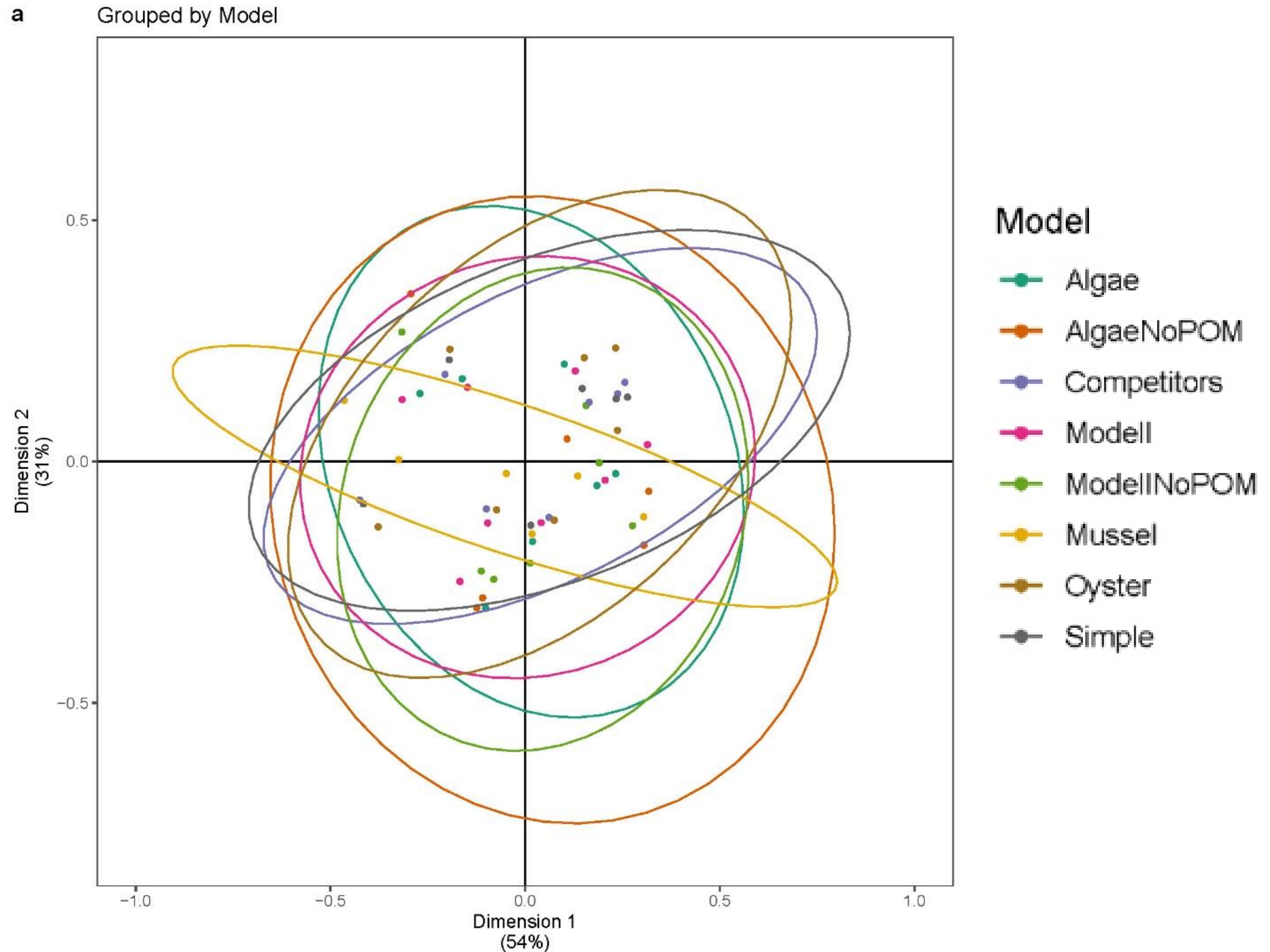
12 Scénarios

- 10 → perturbation unique
- 2 → perturbation multiple



Scénario

Choix de la topologie du modèle



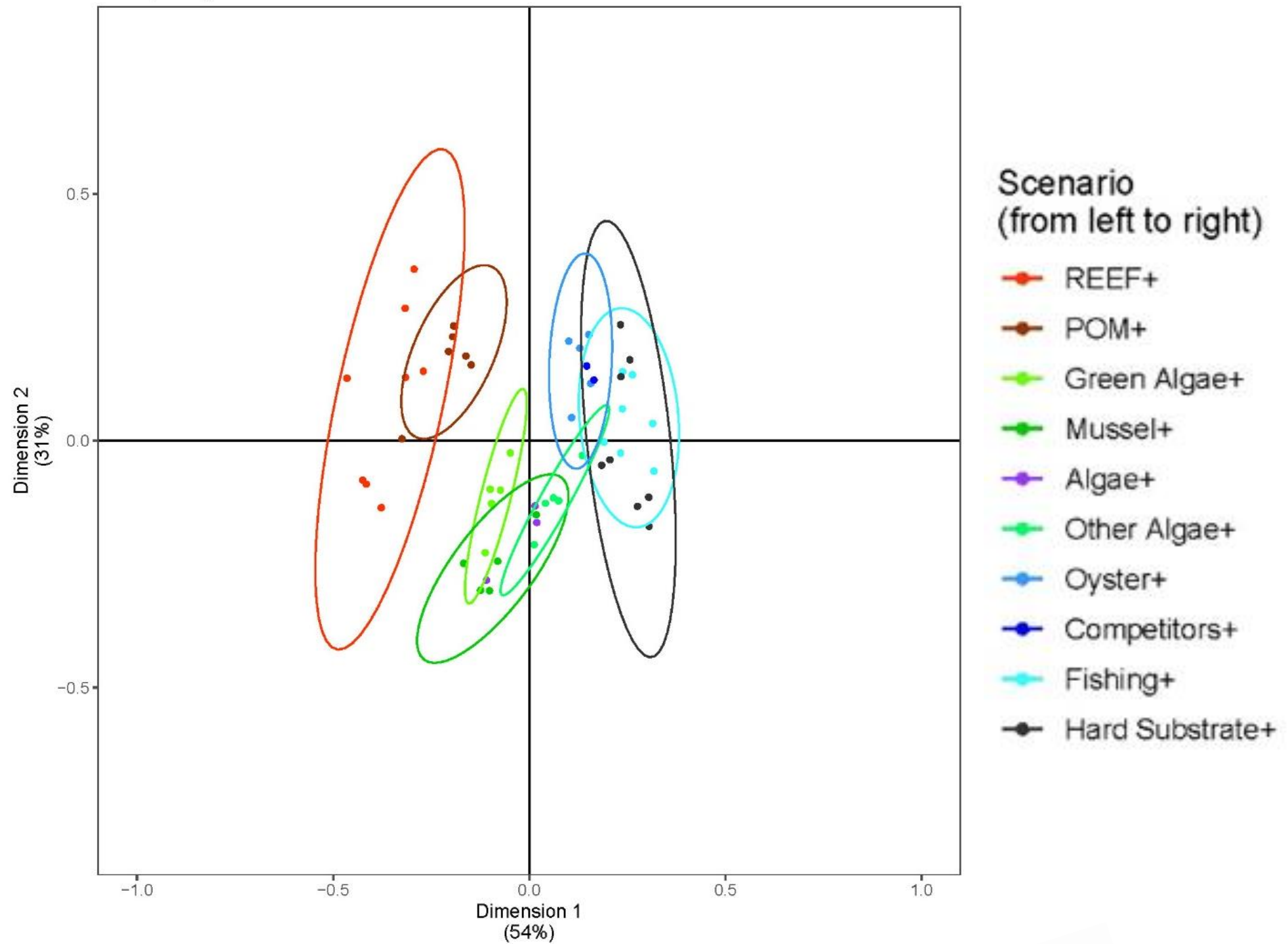
→ Groupés par modèles: variations non significatives

Choix de la topologie du modèle



b

Grouped by Scenario

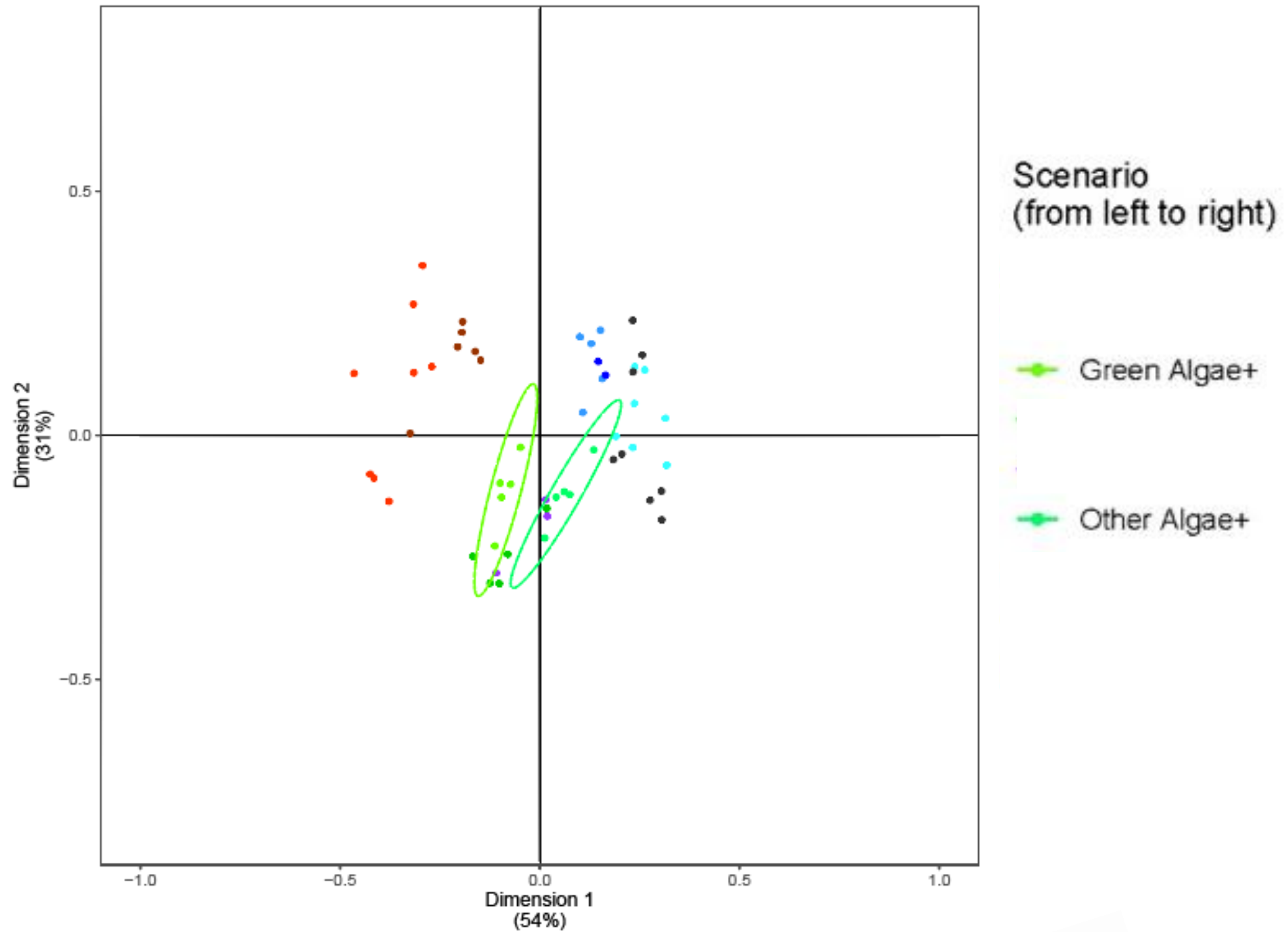


Choix de la topologie du modèle



b

Grouped by Scenario

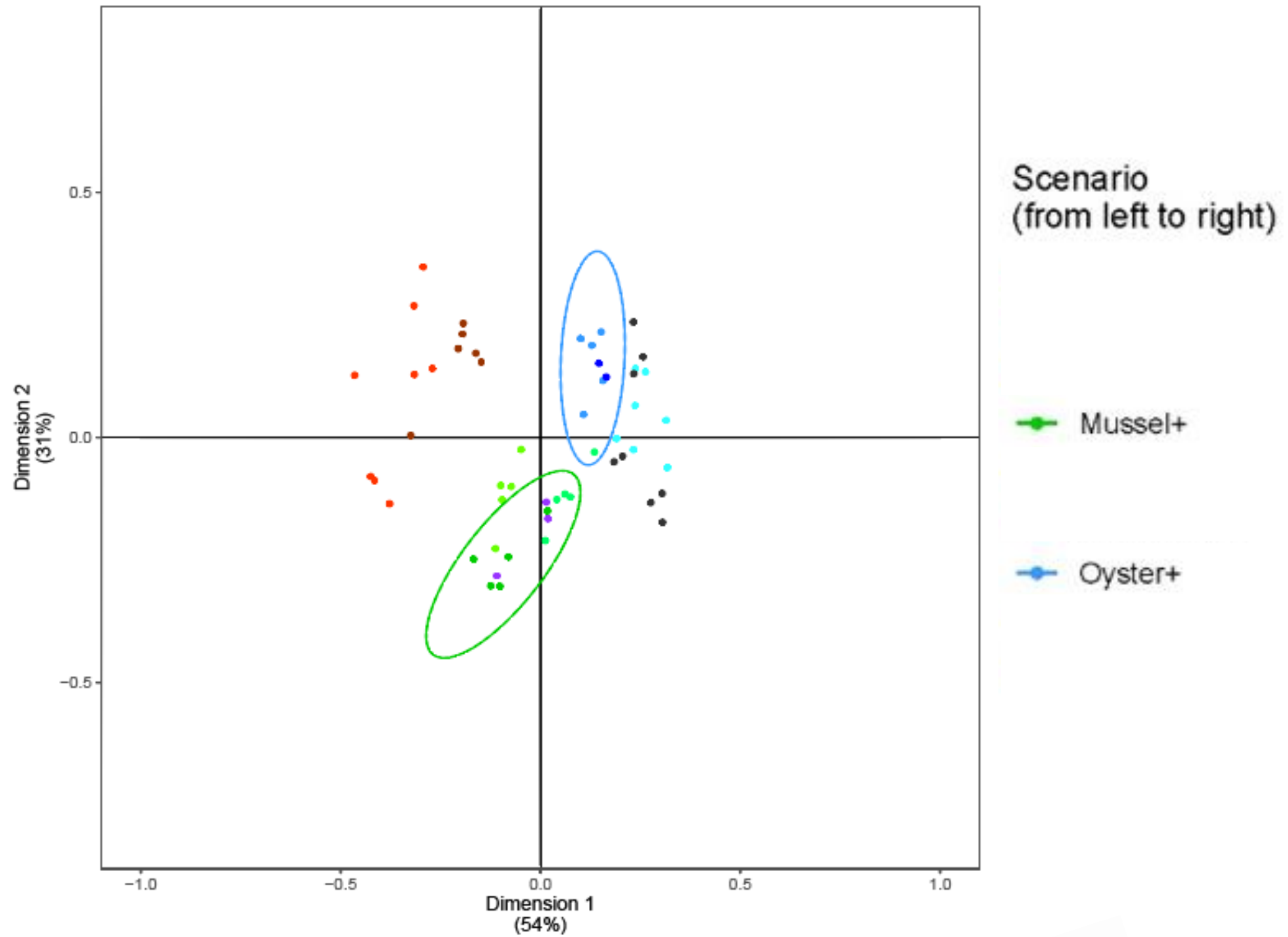


Choix de la topologie du modèle



b

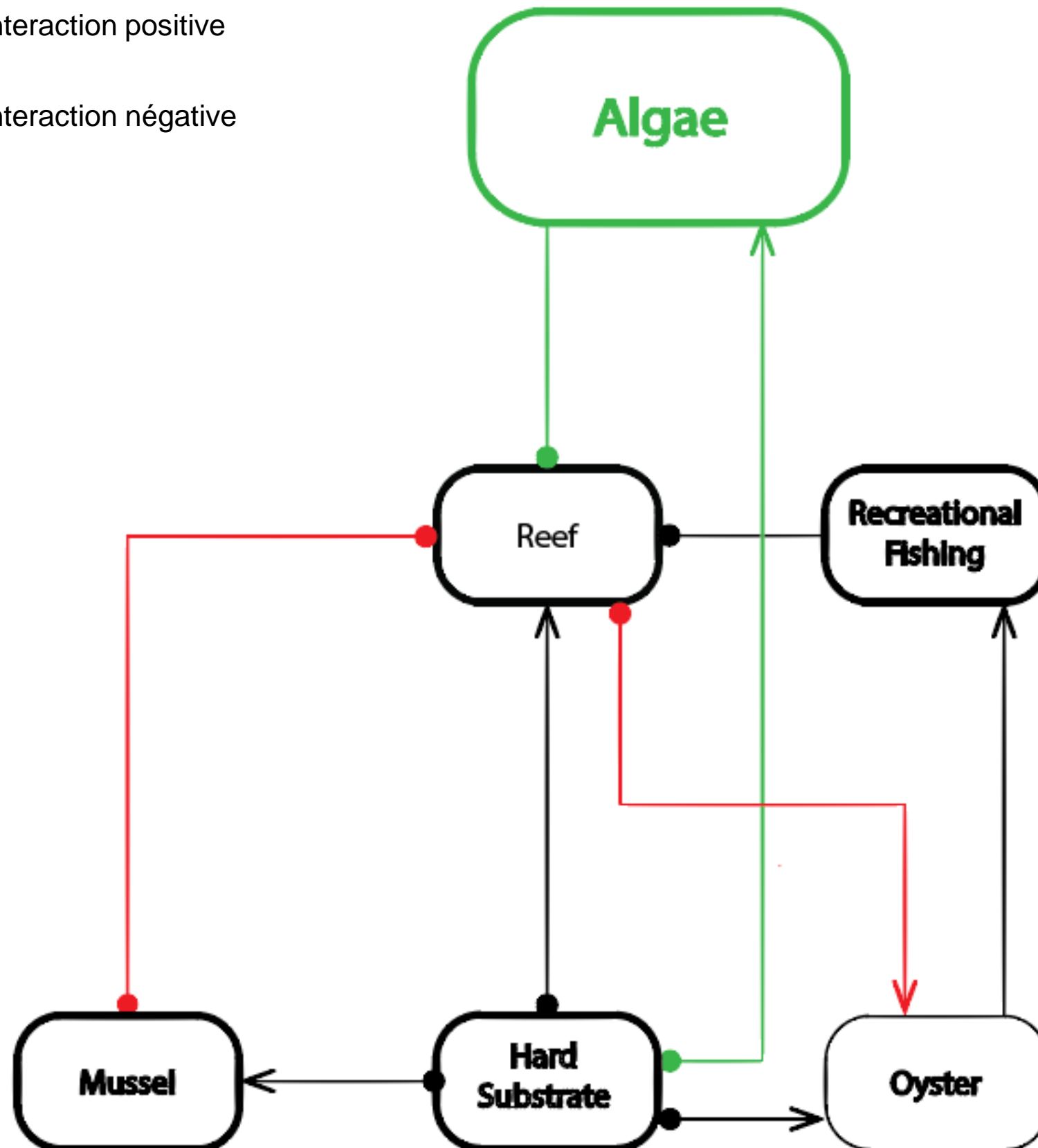
Grouped by Scenario



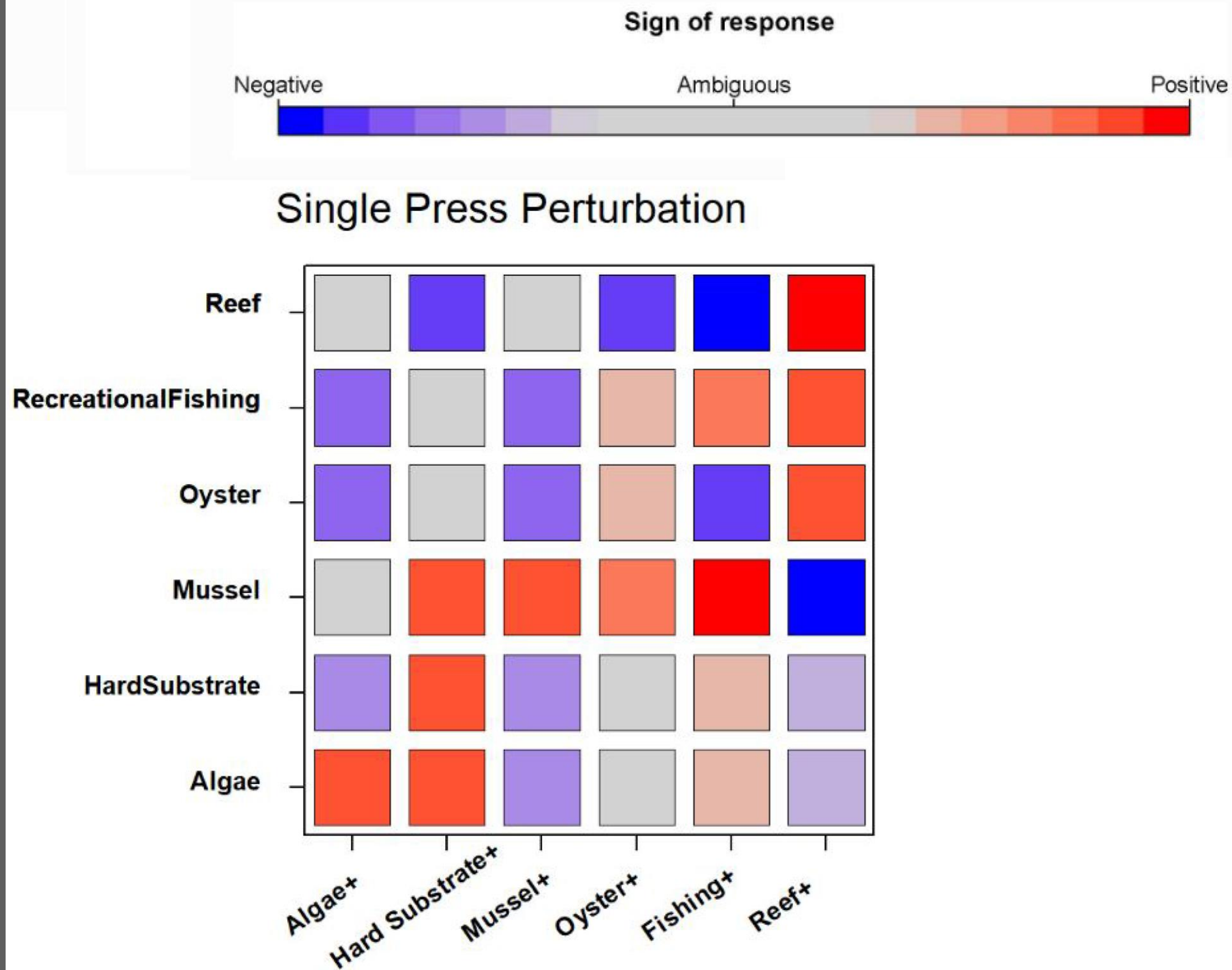
Modèle expert validé

→ Interaction positive

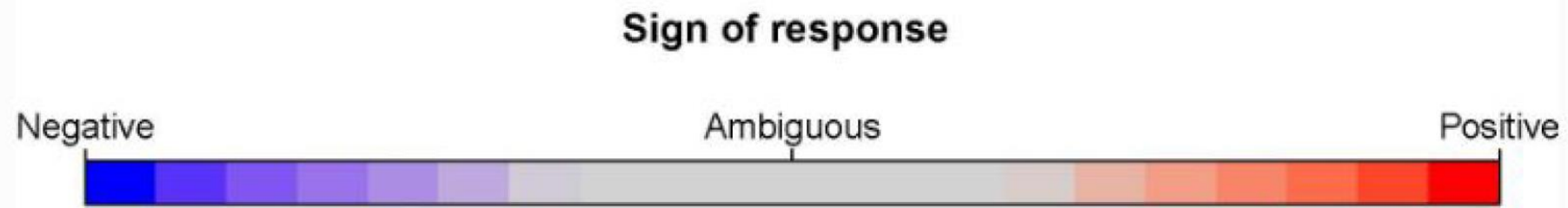
● Interaction négative



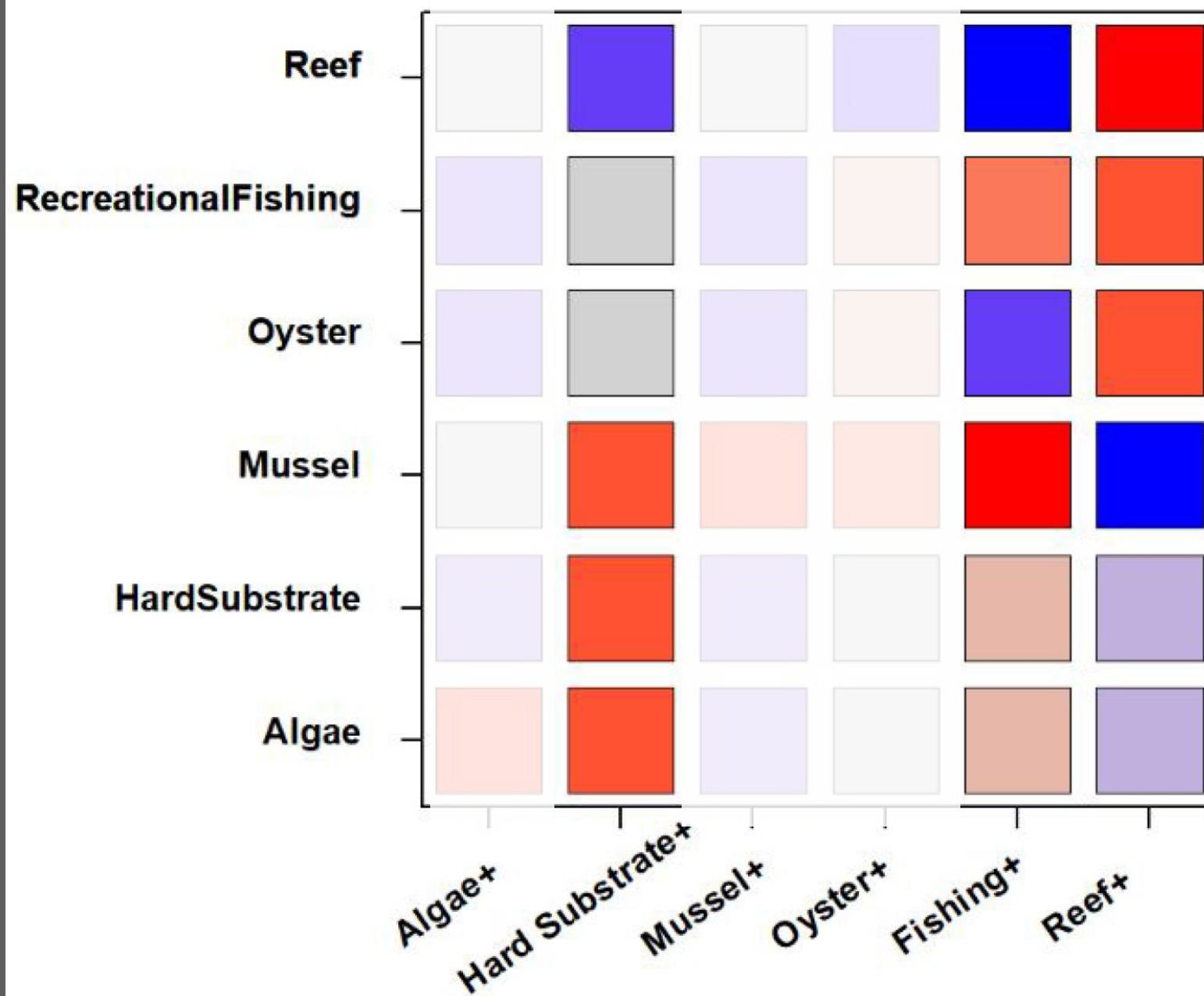
Réponse aux scénarios



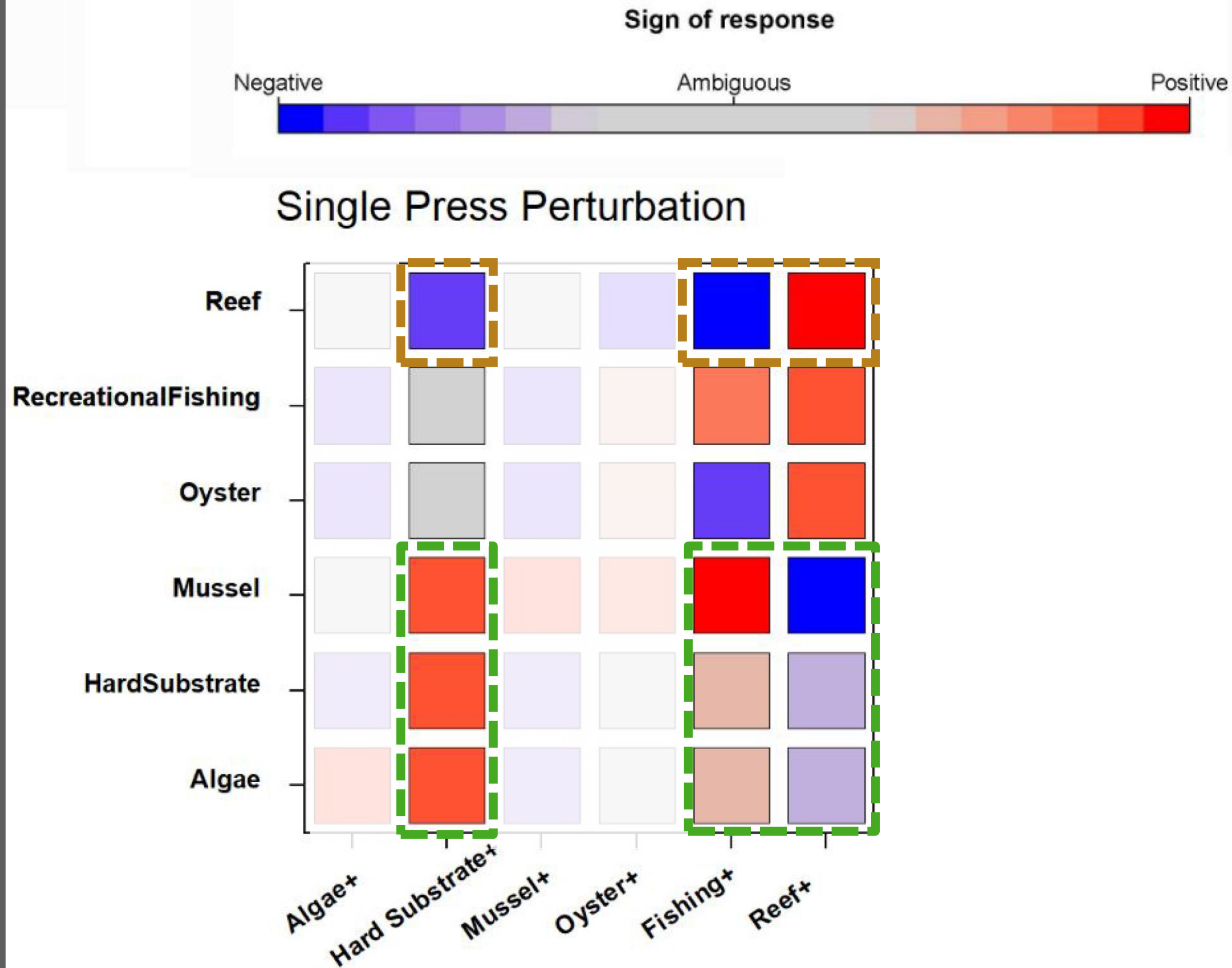
Réponse aux scénarios



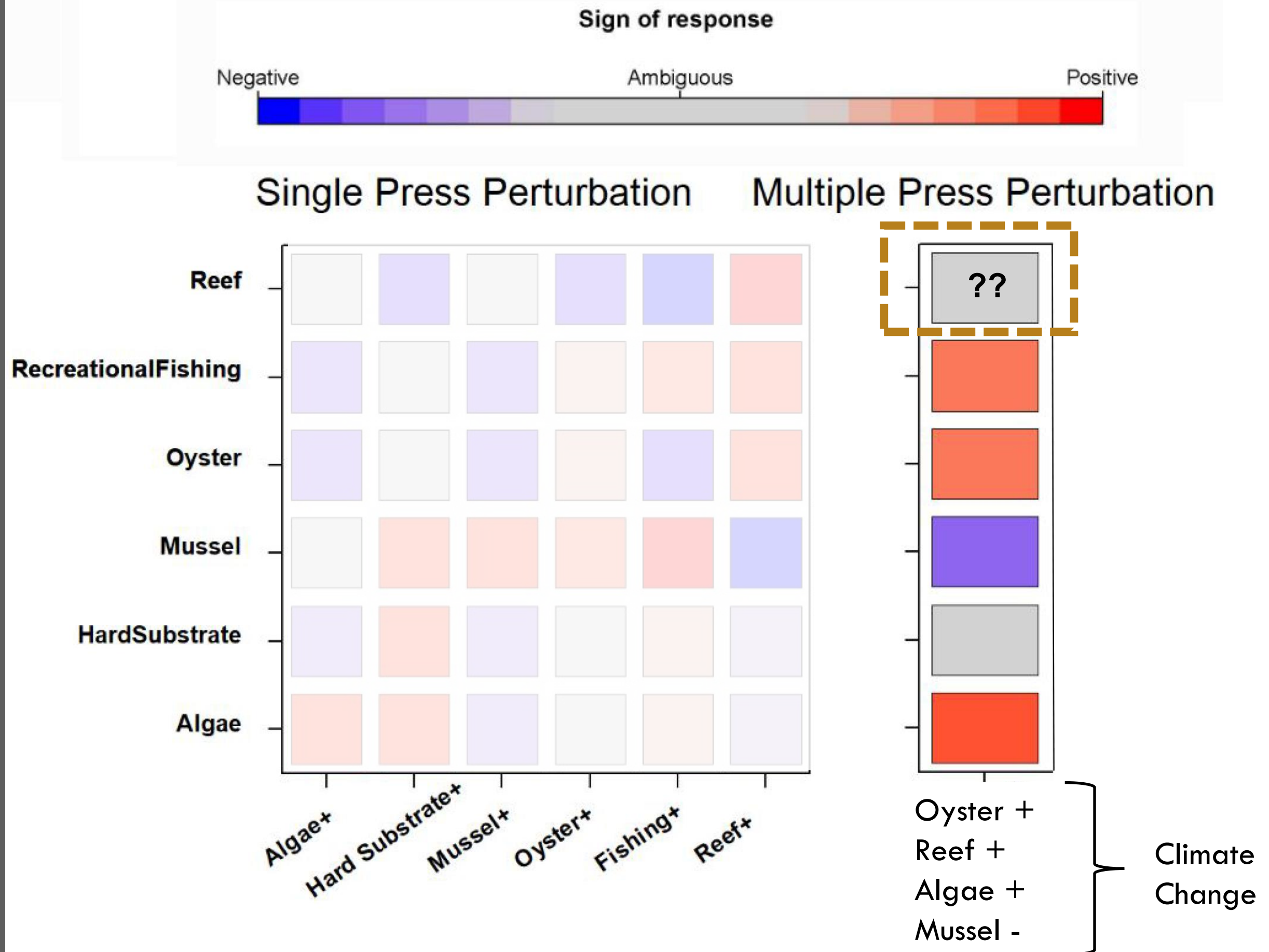
Single Press Perturbation



Réponse aux scénarios



Réponse aux scénarios



Bilan

→ Interactions biotiques

→ 2 états alternatifs :

1. Dominé Récif

2. Dominé Algues + Moules

→ Réponse intermédiaire des huîtres

Limites

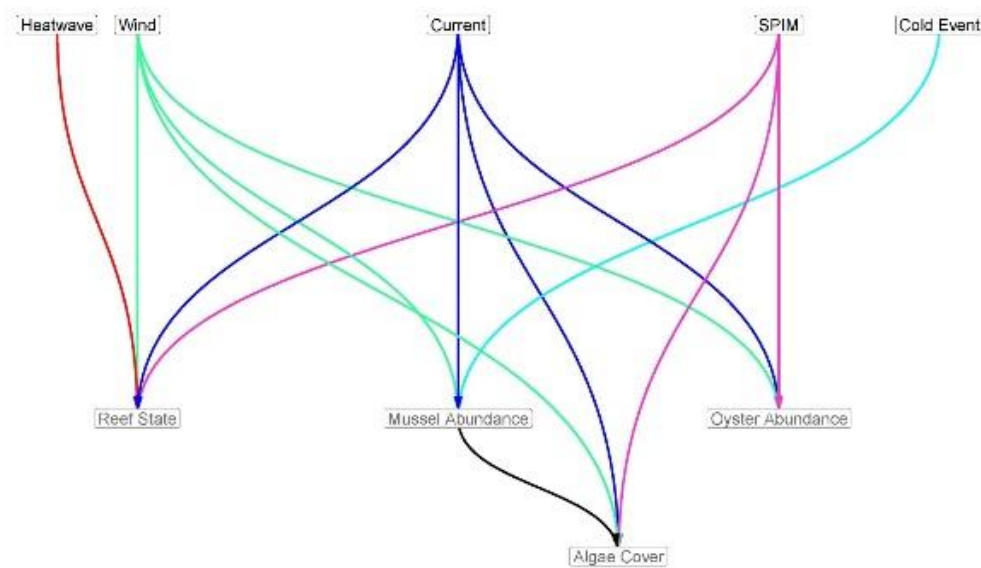
→ Ambiguïté au scénario 'changement climatique'

→ Validation de la topologie

→ Quantifier les interactions

→ Inférence à partir de données:

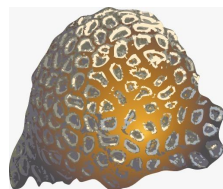
- Réseau



- Dépendances conditionnelles



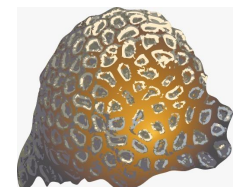
80%



20%



20%



80%






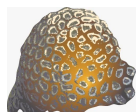


→ 12 sites




→ Hiver 2016 – Hiver 2018

→ 2 fois par an (hiver/été)

Données biotiques

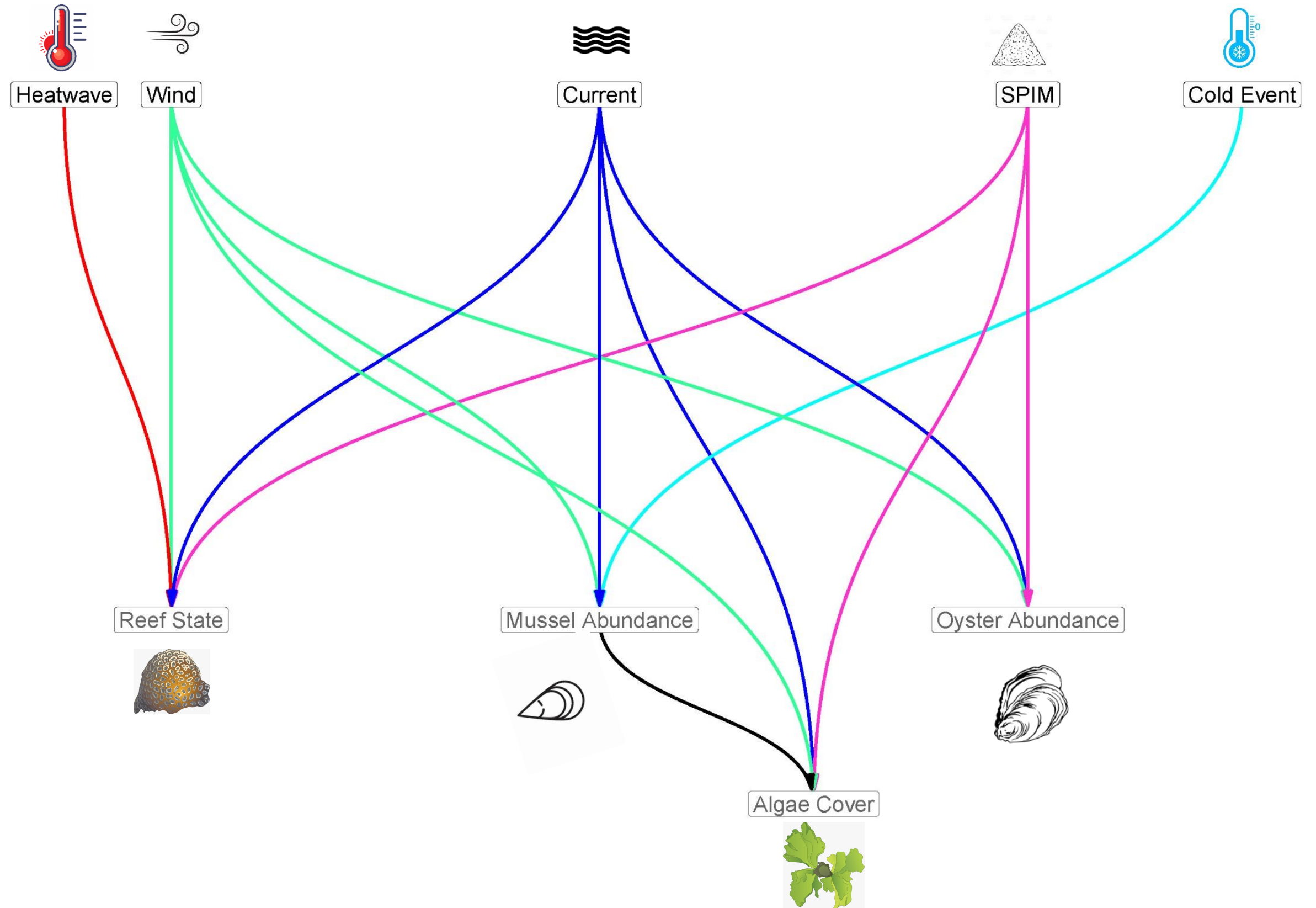
- Abondance d'huîtres 
- Abondance de moules 
- Couverture algale 
- Etat du récif (clustering sur couverture et épaisseur du récif) 

Données abiotiques

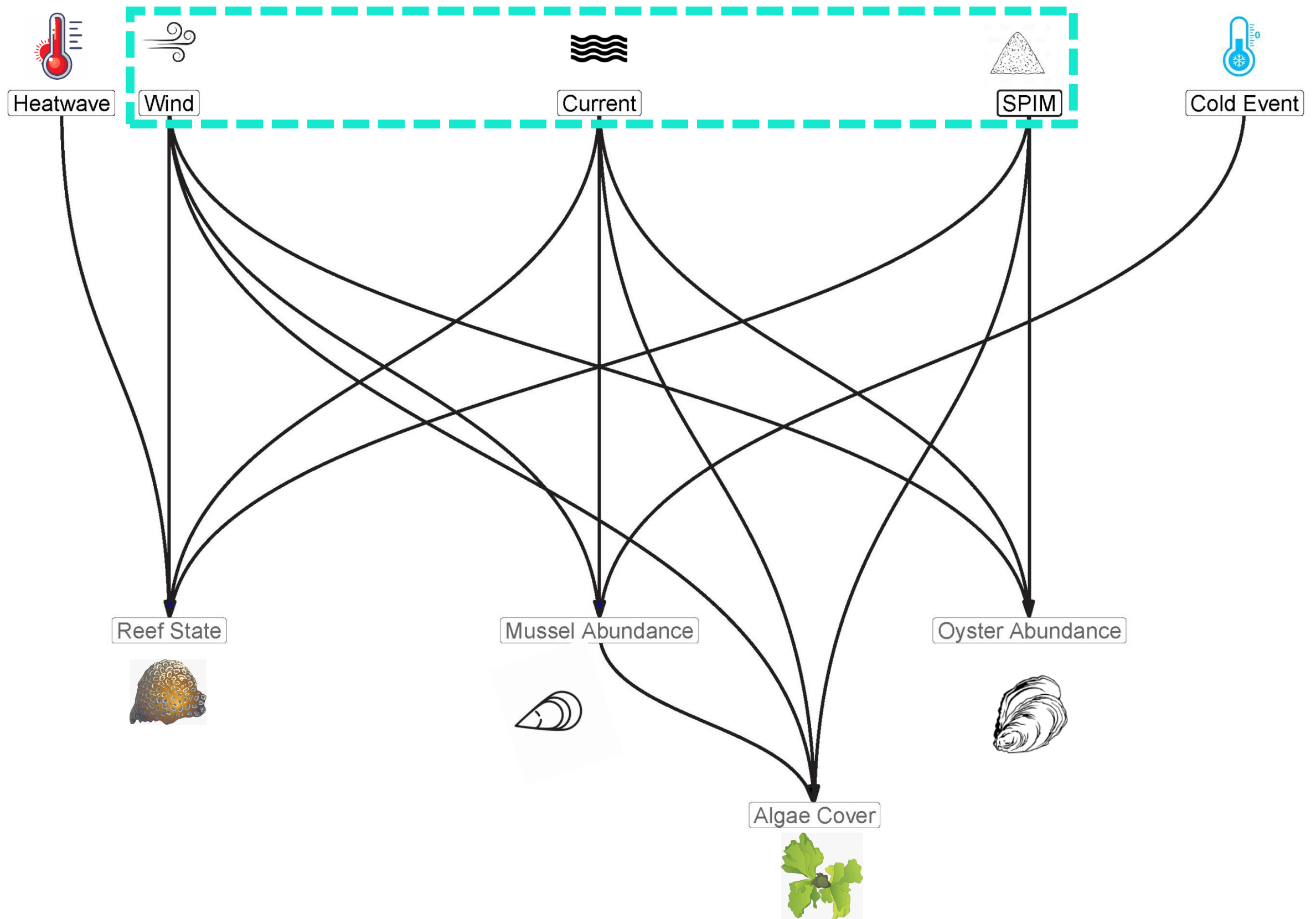
- Courant 
- Vent 
- Coups de froid 
- Coups de chaud 
- Matière Inorganique Particulaire en suspension (SPIM) 

Toutes les variables ont été discrétisées

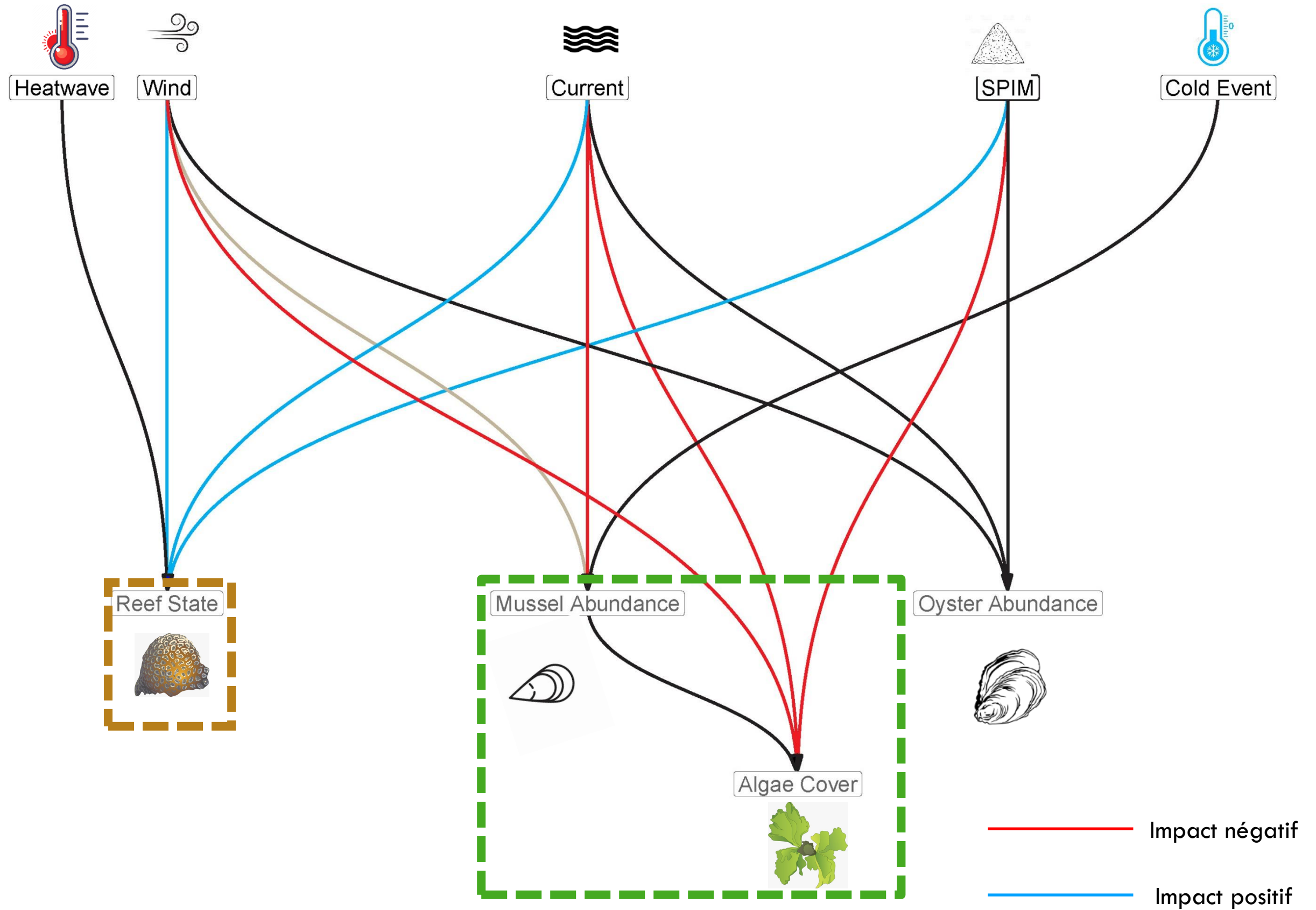
Réseau Bayésien



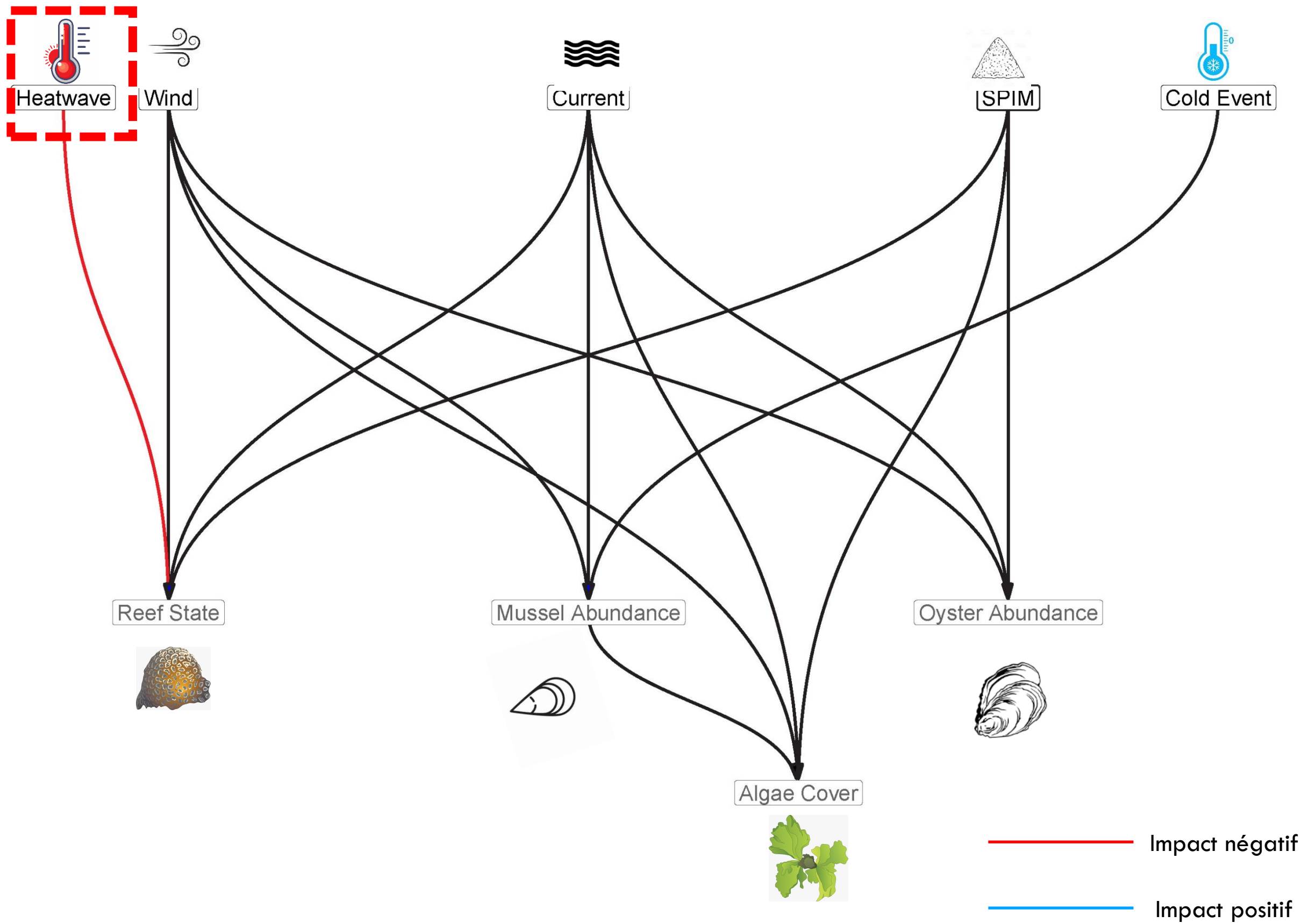
Réseau Bayésien



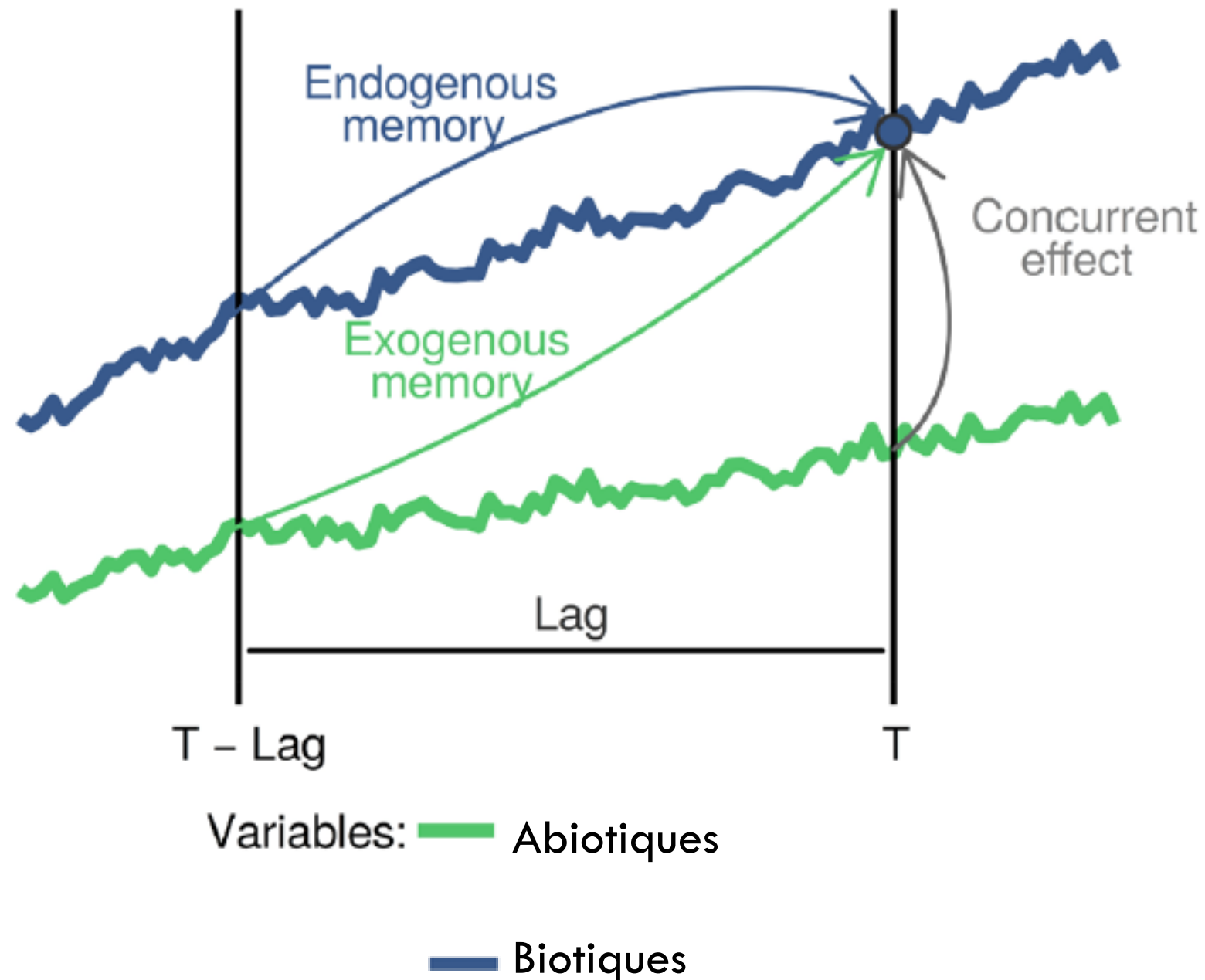
Réseau Bayésien



Réseau Bayésien

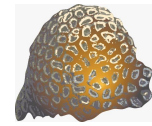


Décomposition temporelle des dépendances conditionnelles



Modified from Benito *et al.*
2020

Réseau Bayésien Dynamique



Reef State_t1



Mussel Abundance_t1



Oyster Abundance_t1



Algae Cover_t1

Réseau Bayésien Dynamique

Reef State_t1

Mussel Abundance_t1

Oyster Abundance_t1

Algae Cover_t1

Wind_t1



Heatwave_t1



Cold Event_t1



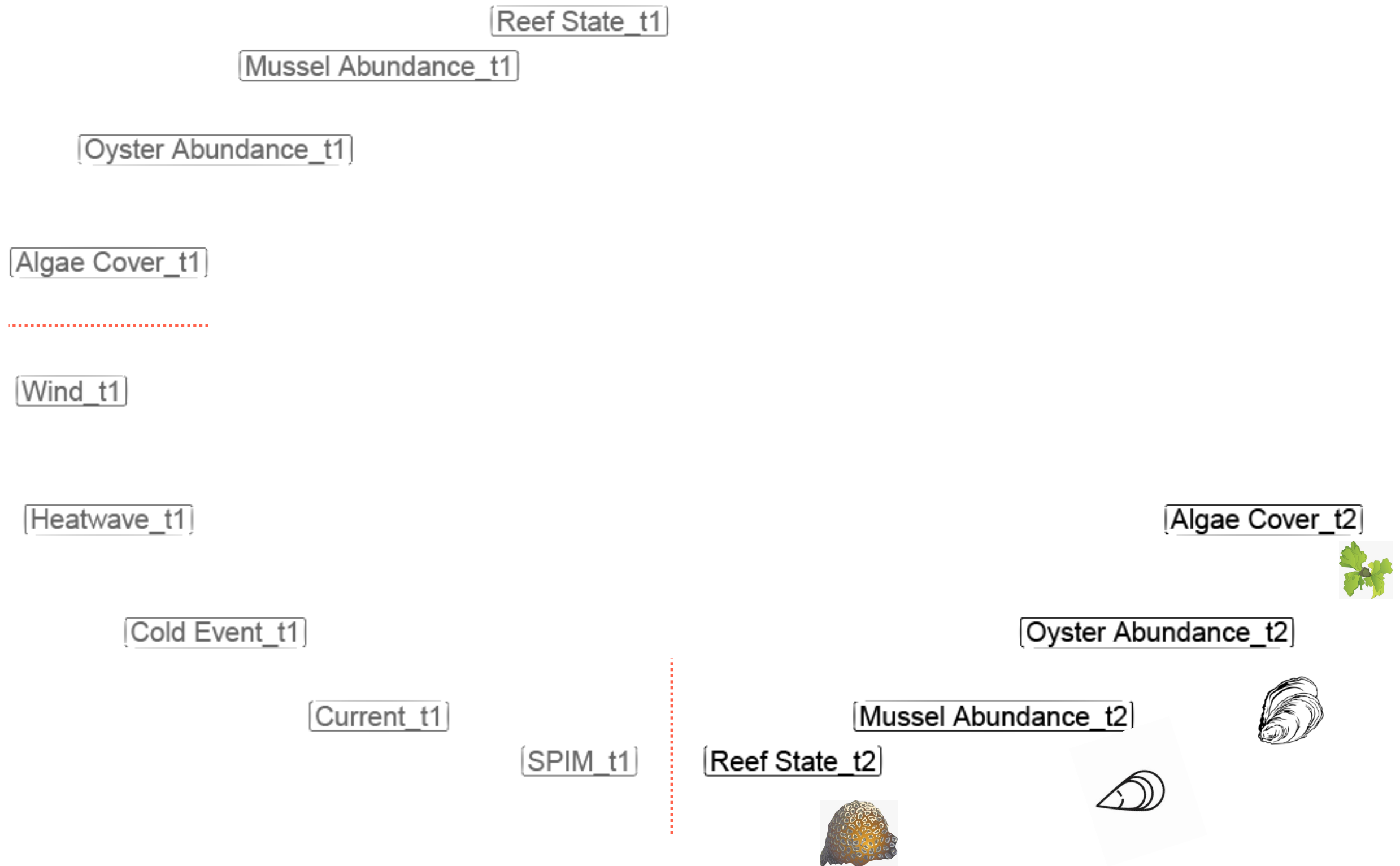
Current_t1



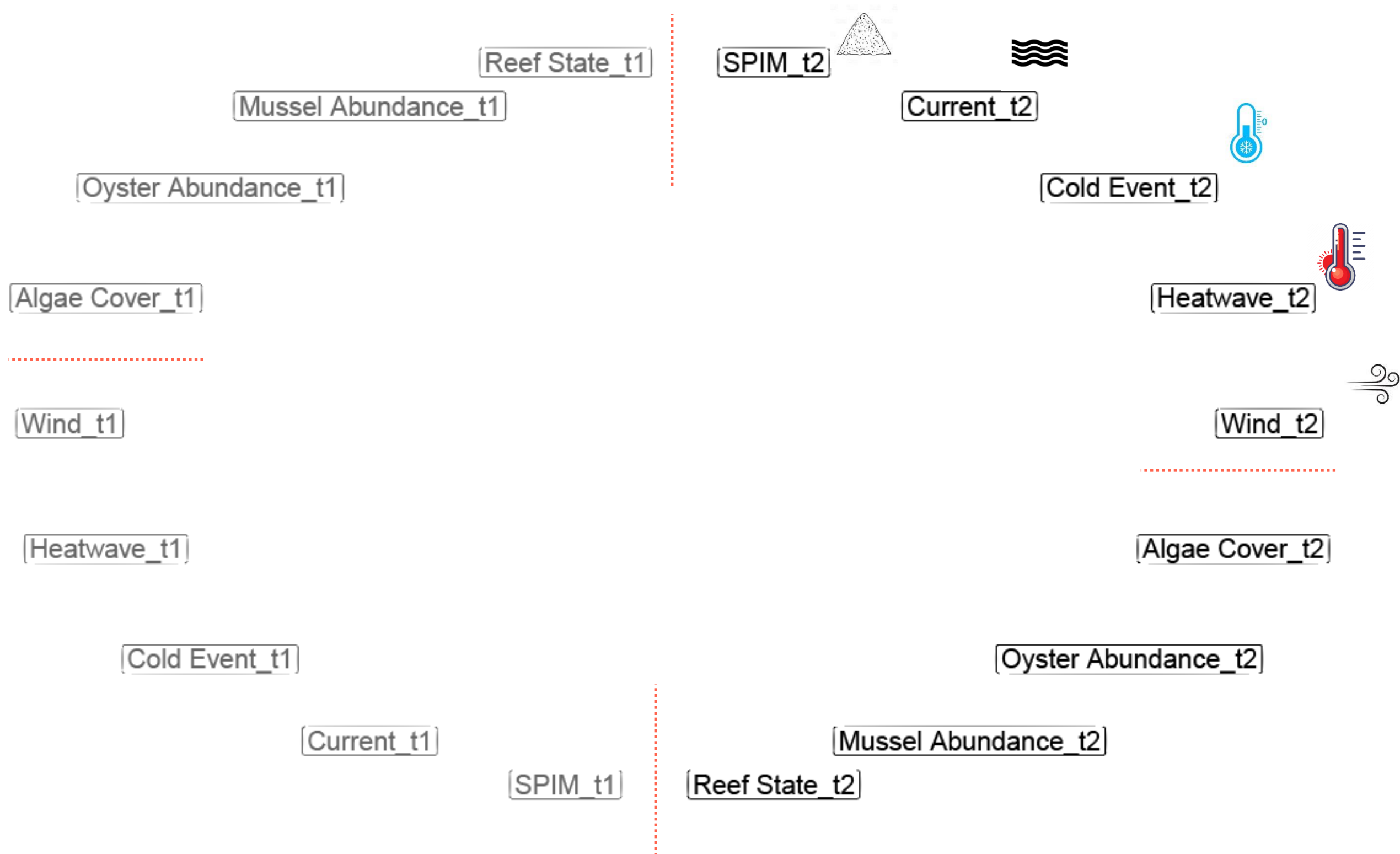
SPIM_t1



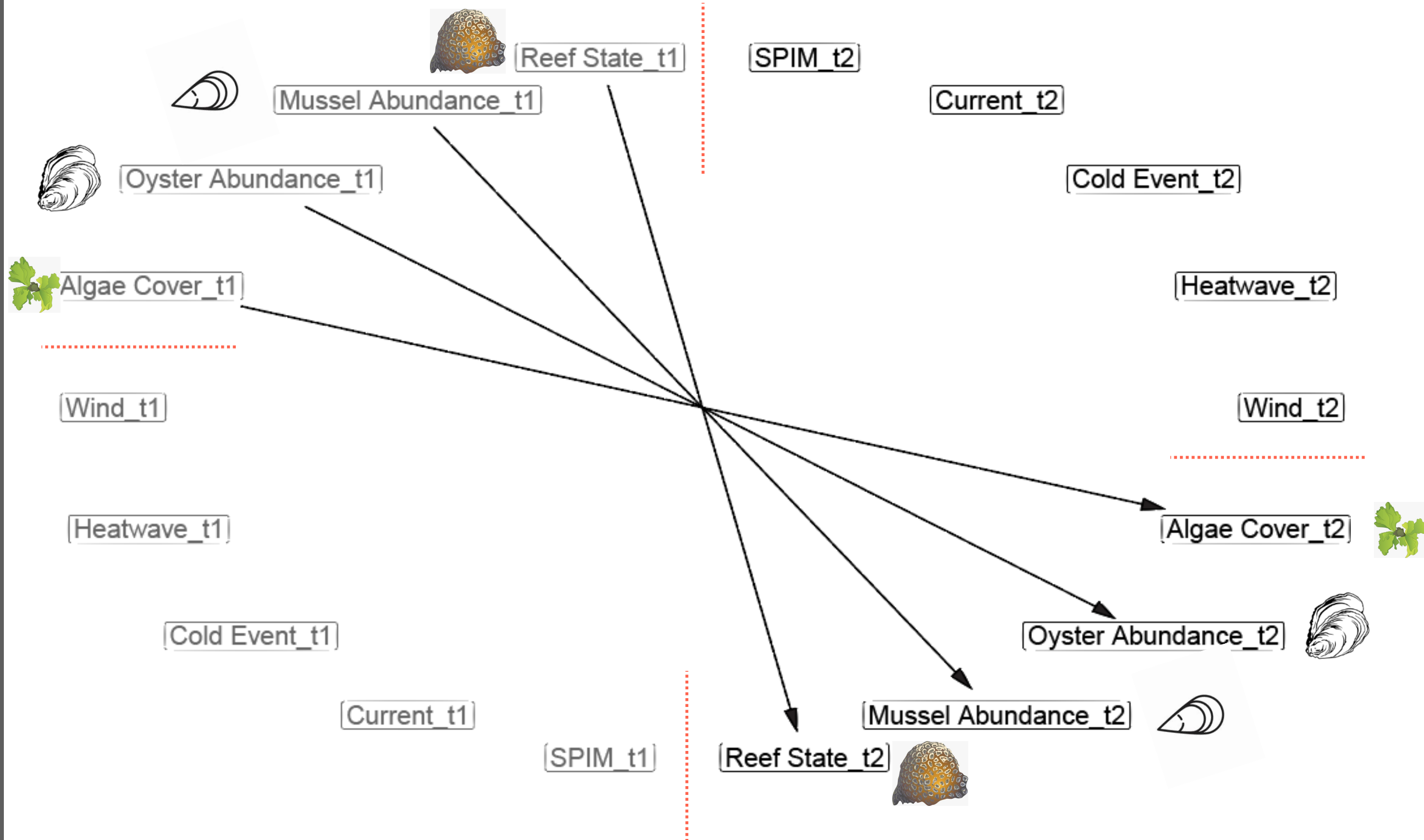
Réseau Bayésien Dynamique



Réseau Bayésien Dynamique

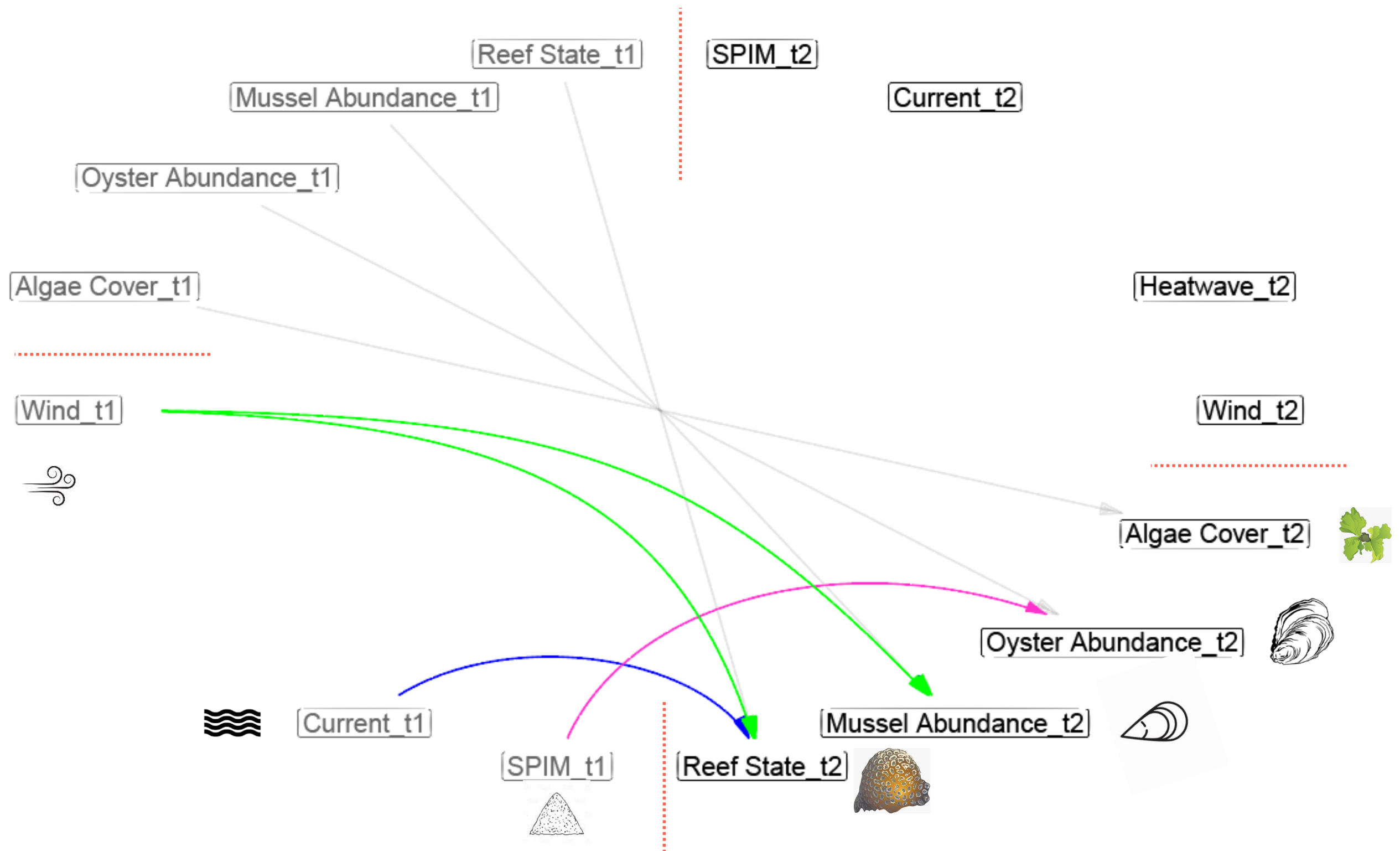


Réseau Bayésien Dynamique



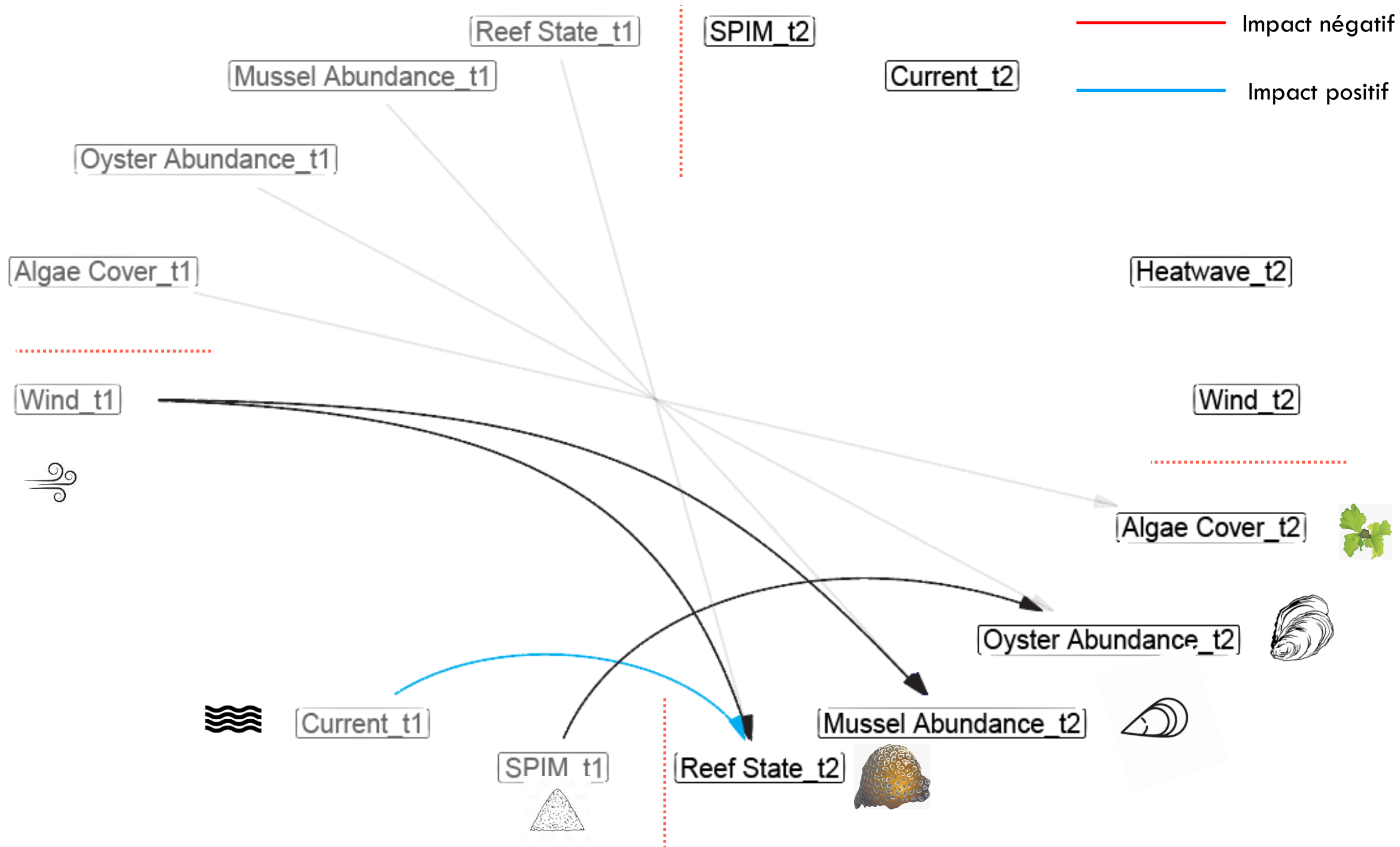
- Mémoire écologique de l'écosystème

Réseau Bayésien Dynamique



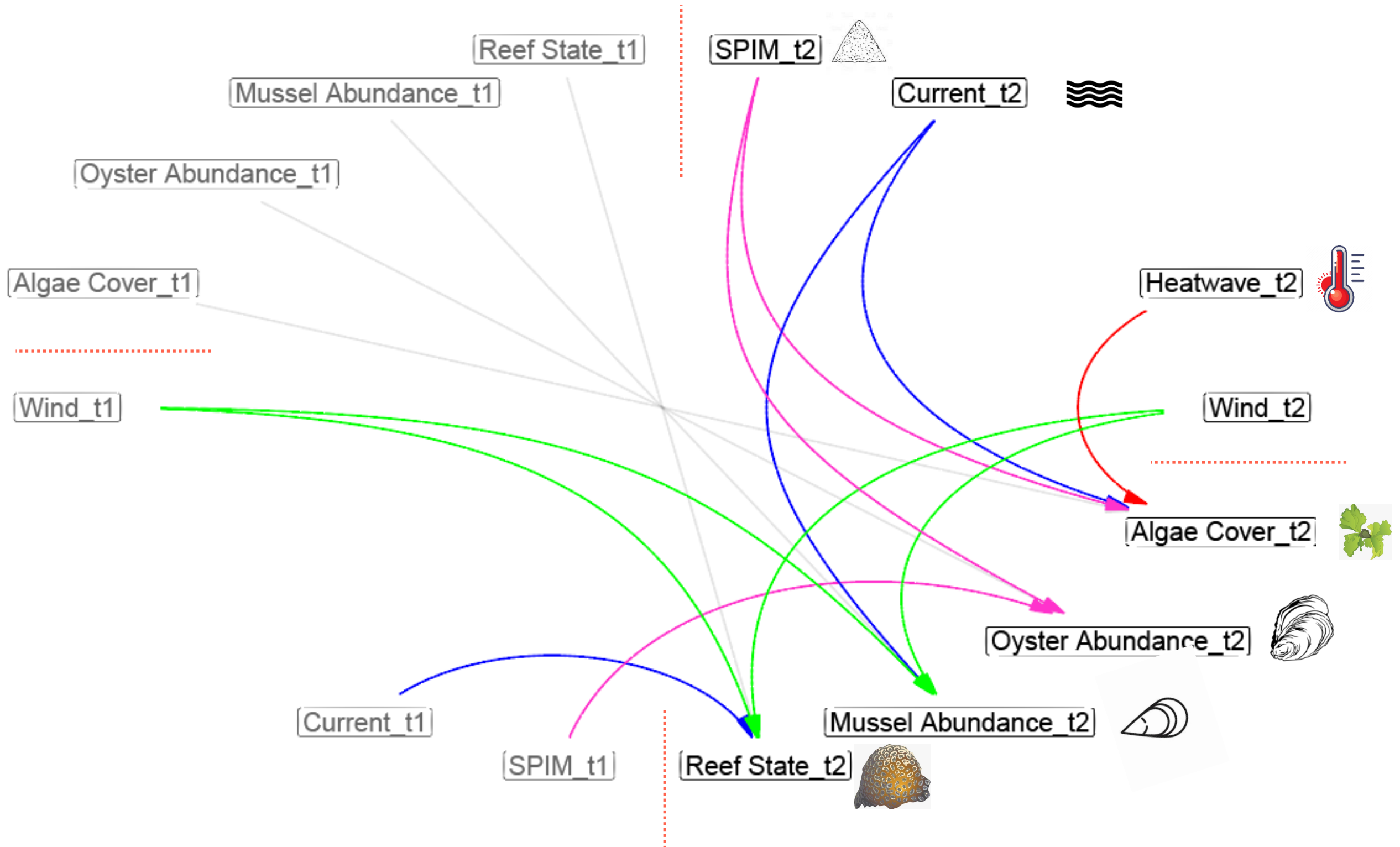
- Courant impact le cycle de vie (dispersion larvaire, recrutement...) ?

Réseau Bayésien Dynamique



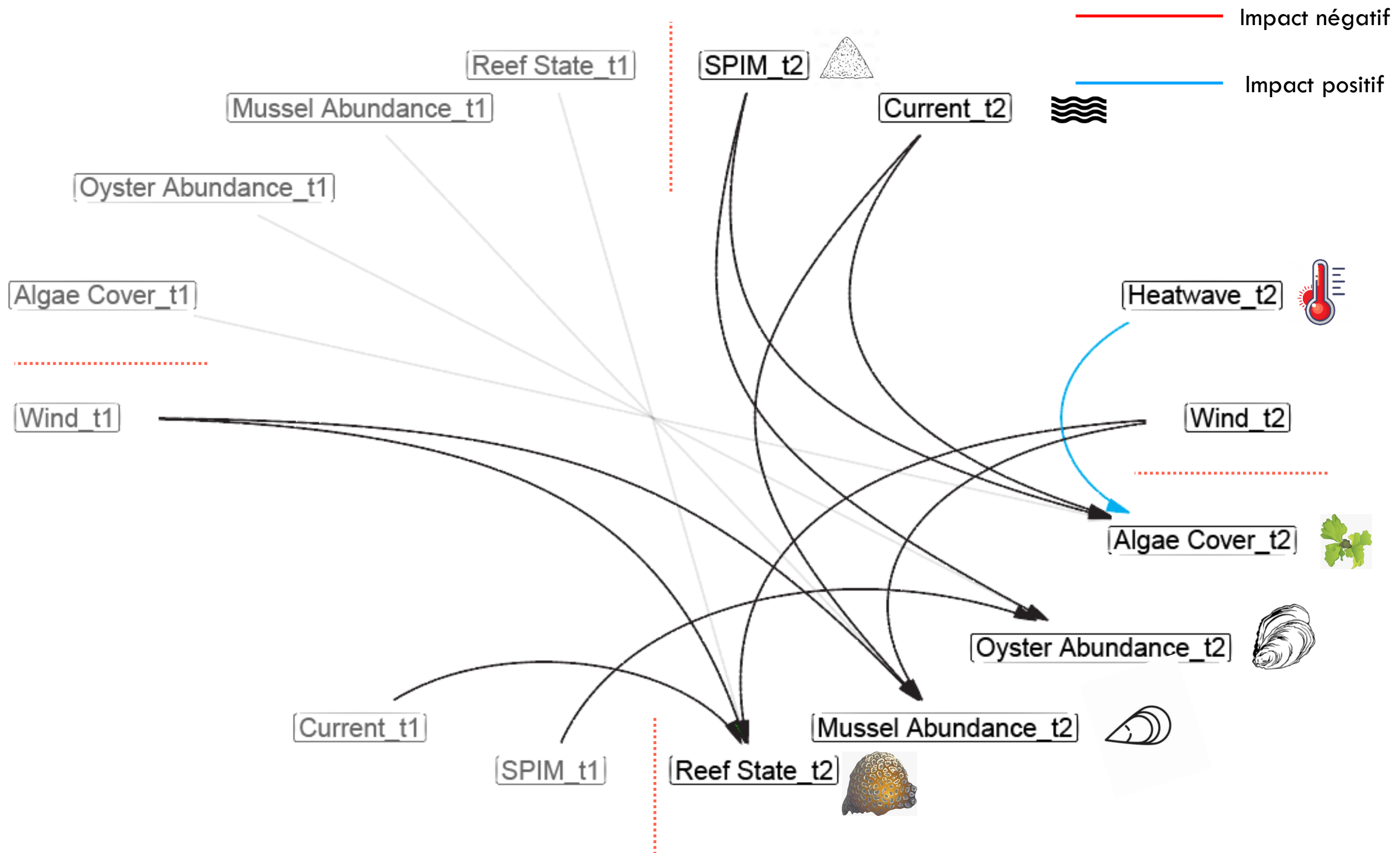
- Courant impact le cycle de vie (dispersion larvaire, recrutement...) ?

Réseau Bayésien Dynamique



- Effet bénéfique des coups de chaud sur les algues

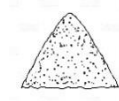
Réseau Bayésien Dynamique



- Effet bénéfique des coups de chaud sur les algues

- Réseau bayésien (dépendances à long terme) :

→ Gammes de paramètres environnementaux



→ 2 états alternatifs

→ Coups de chaud délétères pour le récif



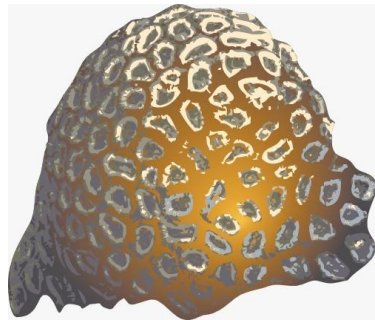
- Réseau bayésien dynamique (dépendances sur 6 mois/ 1 an):

→ Mémoire écologique des espèces

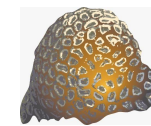
→ Impact du courant sur cycle de vie ?

→ Coups de chaud favorisent la transition vers beaucoup d'algues





Etat 1



Etat 2

- Récif en bon état
- Faible couverture algale

- Récif en mauvais état
- Forte couverture algale

→ Confirmation de l'alternance de 2 états

1. Dominé récif



2. Cooccurrence Algues + Moules



→ Déterminé par:

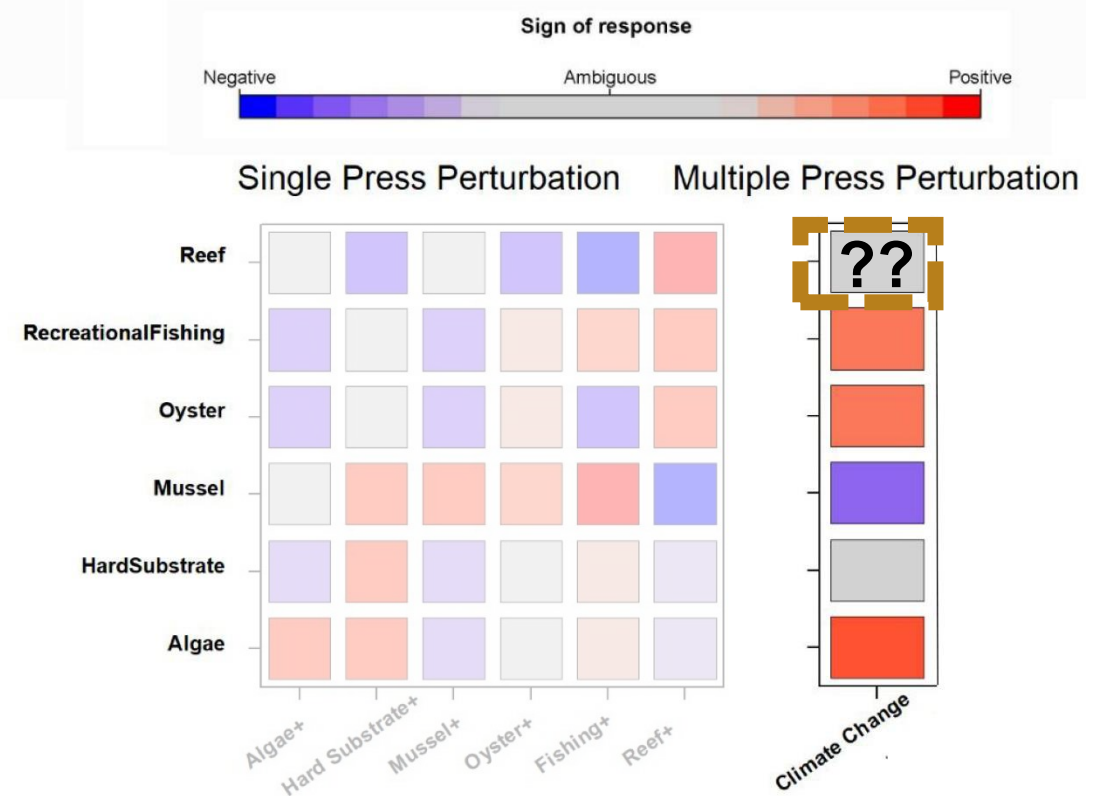
1. Relations inter-spécifiques (modèle qualitatif)

2. Conditions environnementales (réseaux bayésiens)

Scénario Changement Climatique

→ Ambiguïté au scénario Changement Climatique

Paramètres environnementaux
aident à l'interprétation



Scénario Changement Climatique

→ Ambiguïté au scénario Changement Climatique

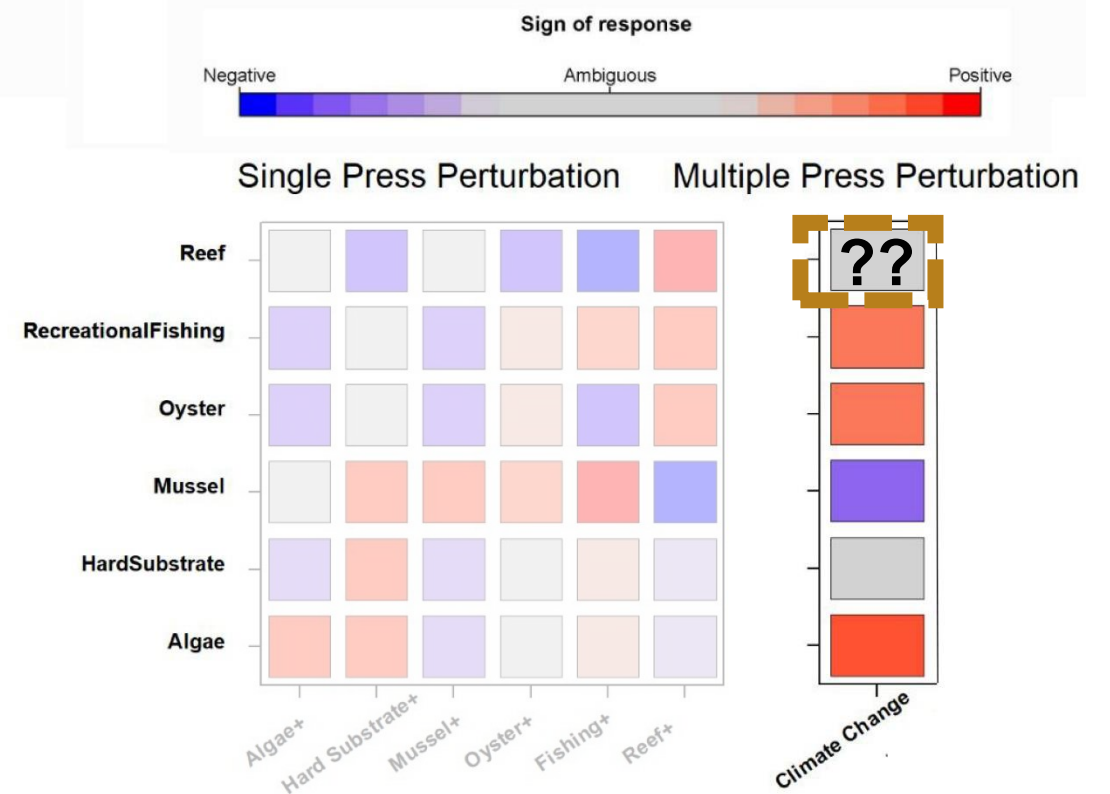
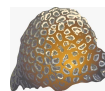
Paramètres environnementaux
aident à l'interprétation

→ Augmentation des coups de chaud

- **Bénéfique** pour les algues



- **Délétère** pour les récifs



Scénario Changement Climatique

→ Ambiguïté au scénario Changement Climatique

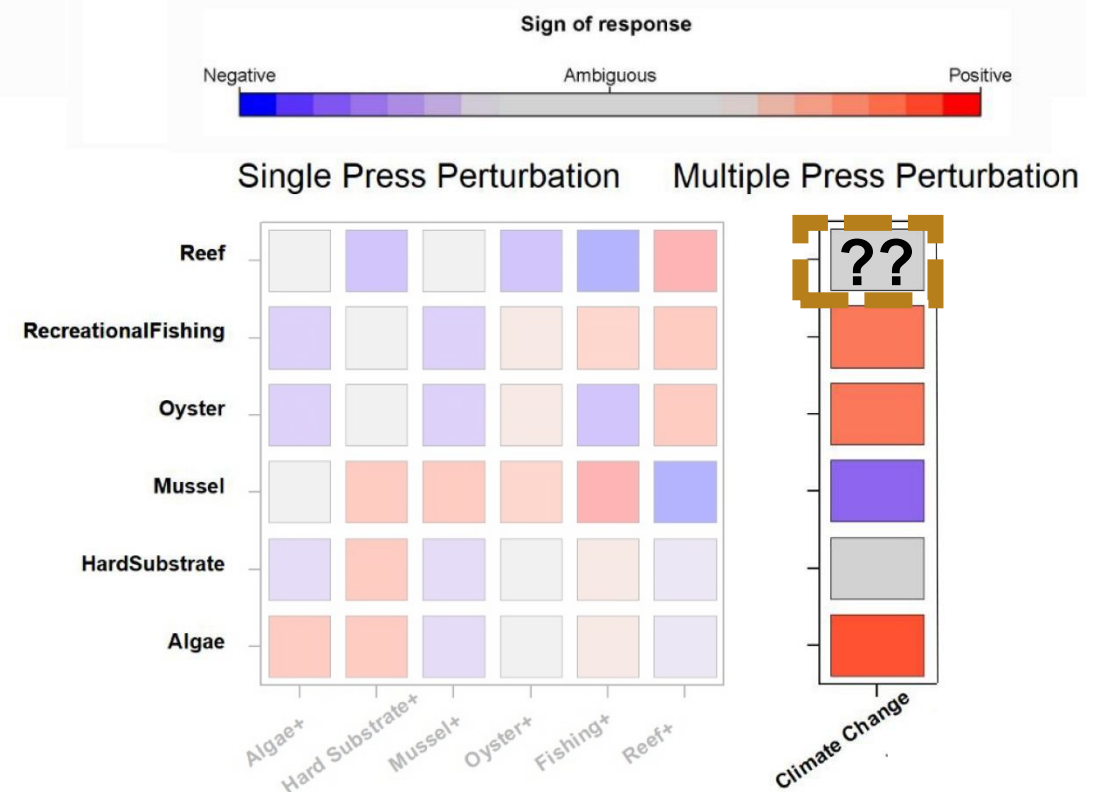
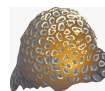
Paramètres environnementaux
aident à l'interprétation

→ Augmentation des coups de chaud

- **Bénéfique** pour les algues



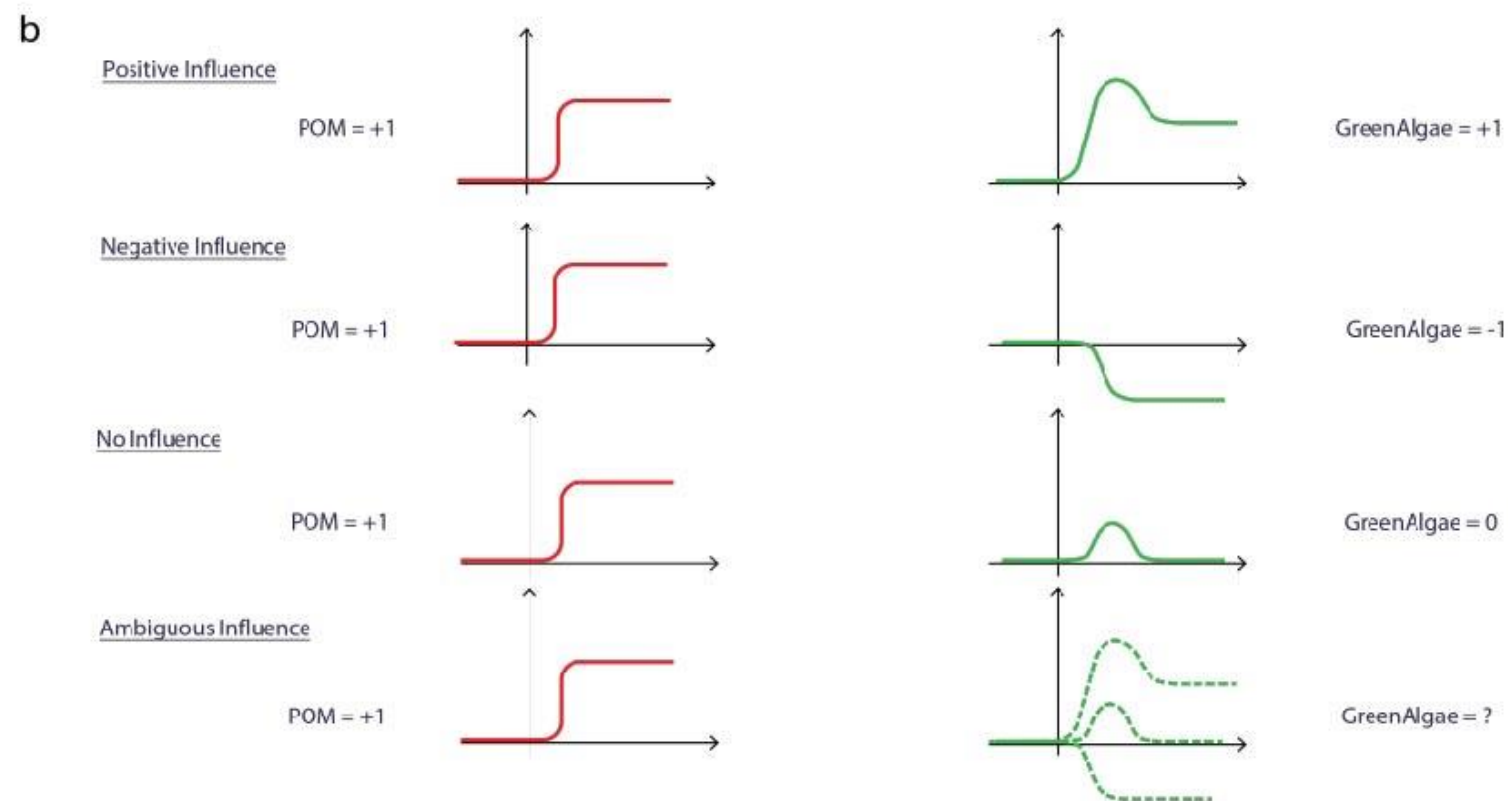
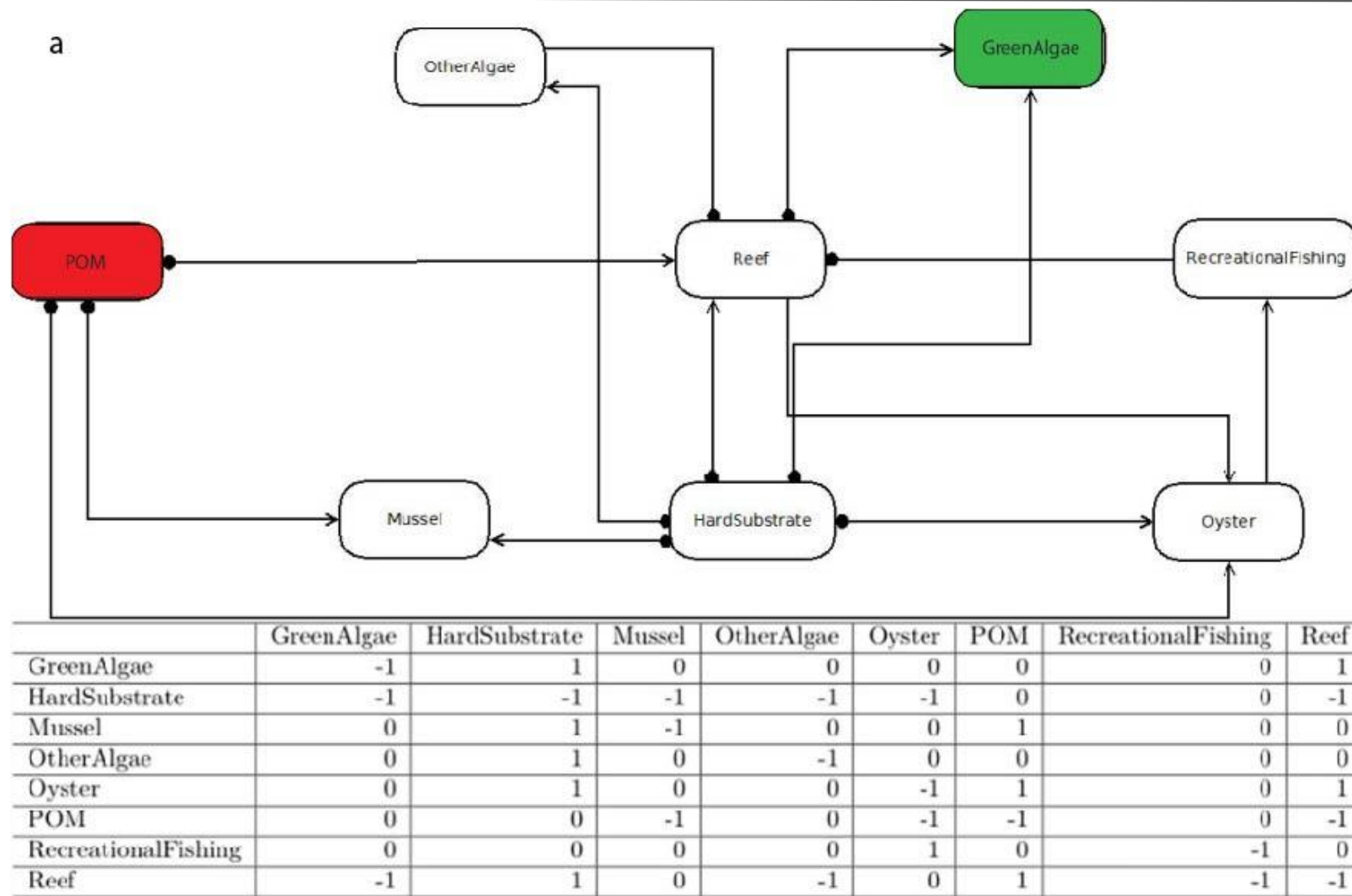
- **Délétère** pour les récifs



Changement climatique bénéfique pour le récif ?
(Hiscock *et al.*, 2004)

Merci de votre attention

Annexes



5000 MC simulations



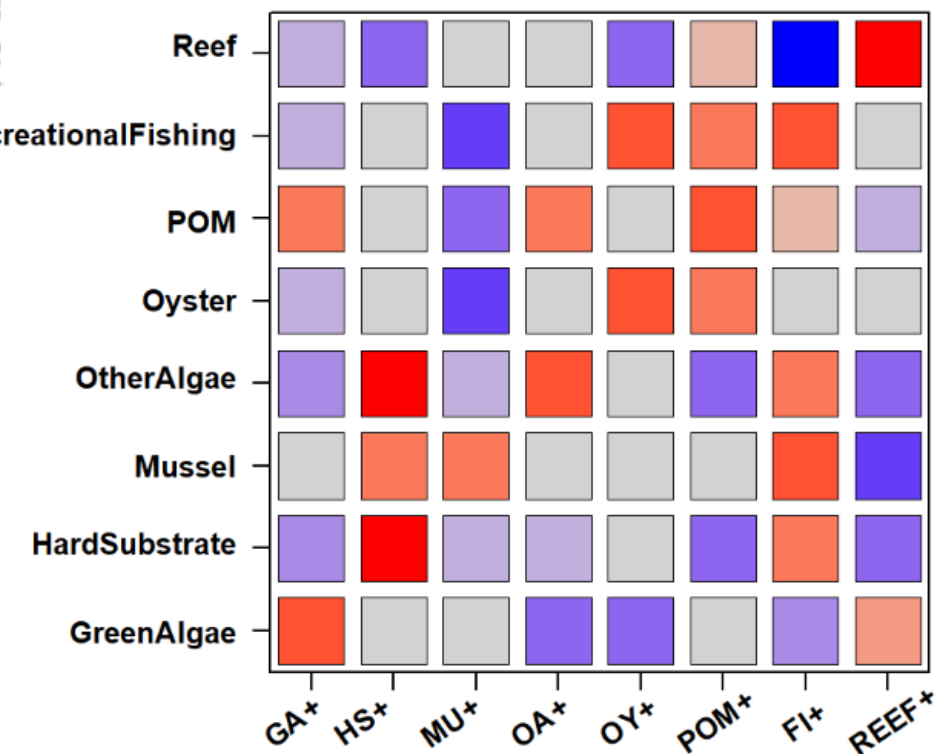
$adj(A^{-1})$



	GA+	HS+	MU+	OA+	OY+	POM+	FI+	REEF+
GreenAlgae	0.9408	0.3752	-0.1676	-0.8352	-0.7796	-0.3500	-0.6668	0.6668
HardSubstrate	-0.5952	0.9920	-0.4620	-0.5128	0.2636	-0.8436	0.7172	-0.7172
Mussel	0.2492	0.8332	0.8640	0.1608	-0.1764	0.3776	0.9712	-0.9712
OtherAlgae	-0.5952	0.9920	-0.4620	0.9476	0.2636	-0.8436	0.7172	-0.7172
Oyster	-0.4332	0.1504	-0.9052	-0.4152	0.9596	0.7636	-0.2808	0.2808
POM	0.7984	-0.3176	-0.8084	0.7780	-0.3856	0.9012	0.5420	-0.5420
RecreationalFishing	-0.4332	0.1504	-0.9052	-0.4152	0.9596	0.7636	0.9488	0.2808
Reef	-0.5052	-0.7836	0.2808	-0.4208	-0.7980	0.4832	-0.9932	0.9932

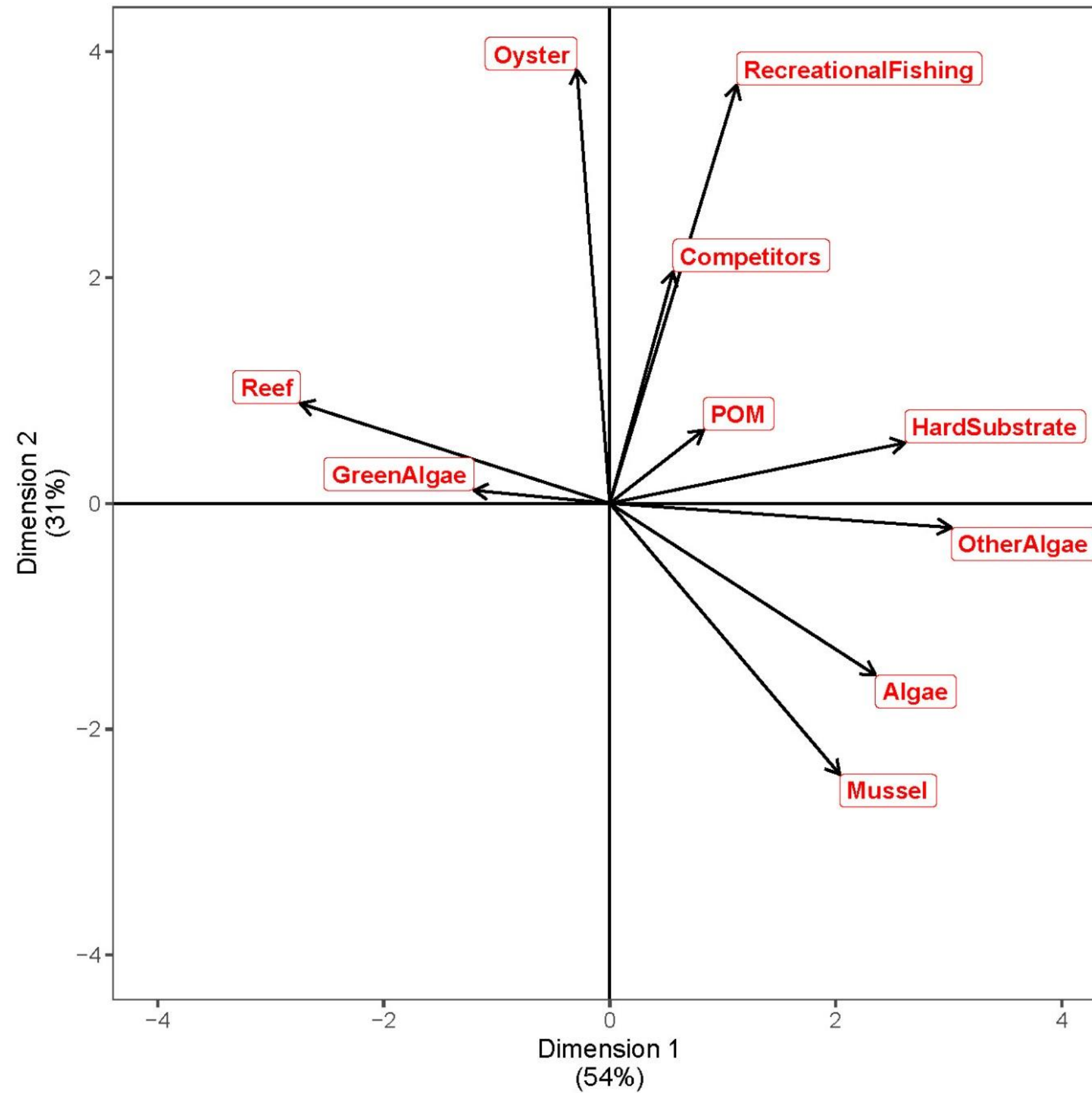


Single Press Perturbation

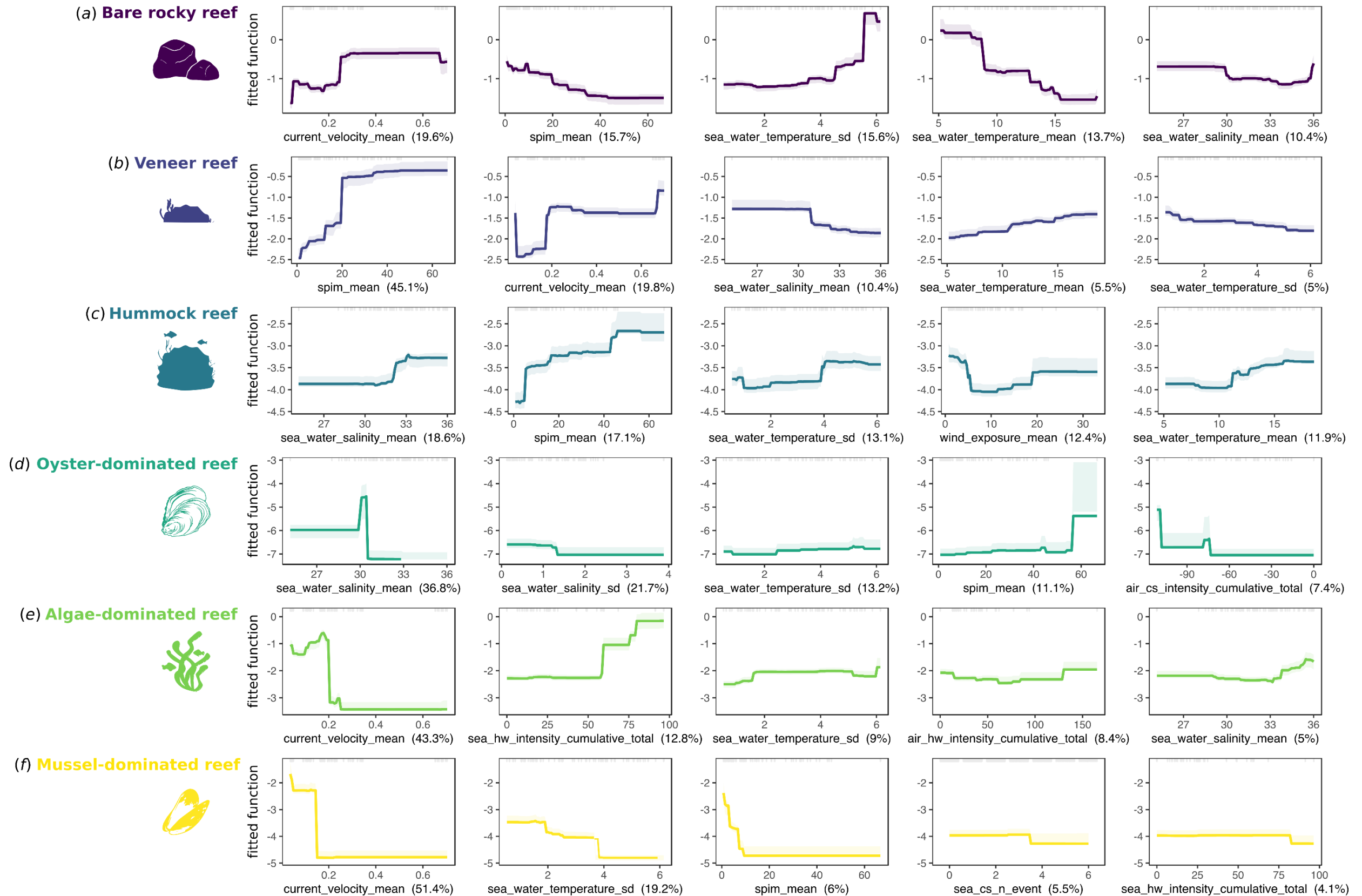


c

Contribution of each variable in the dimensions construction

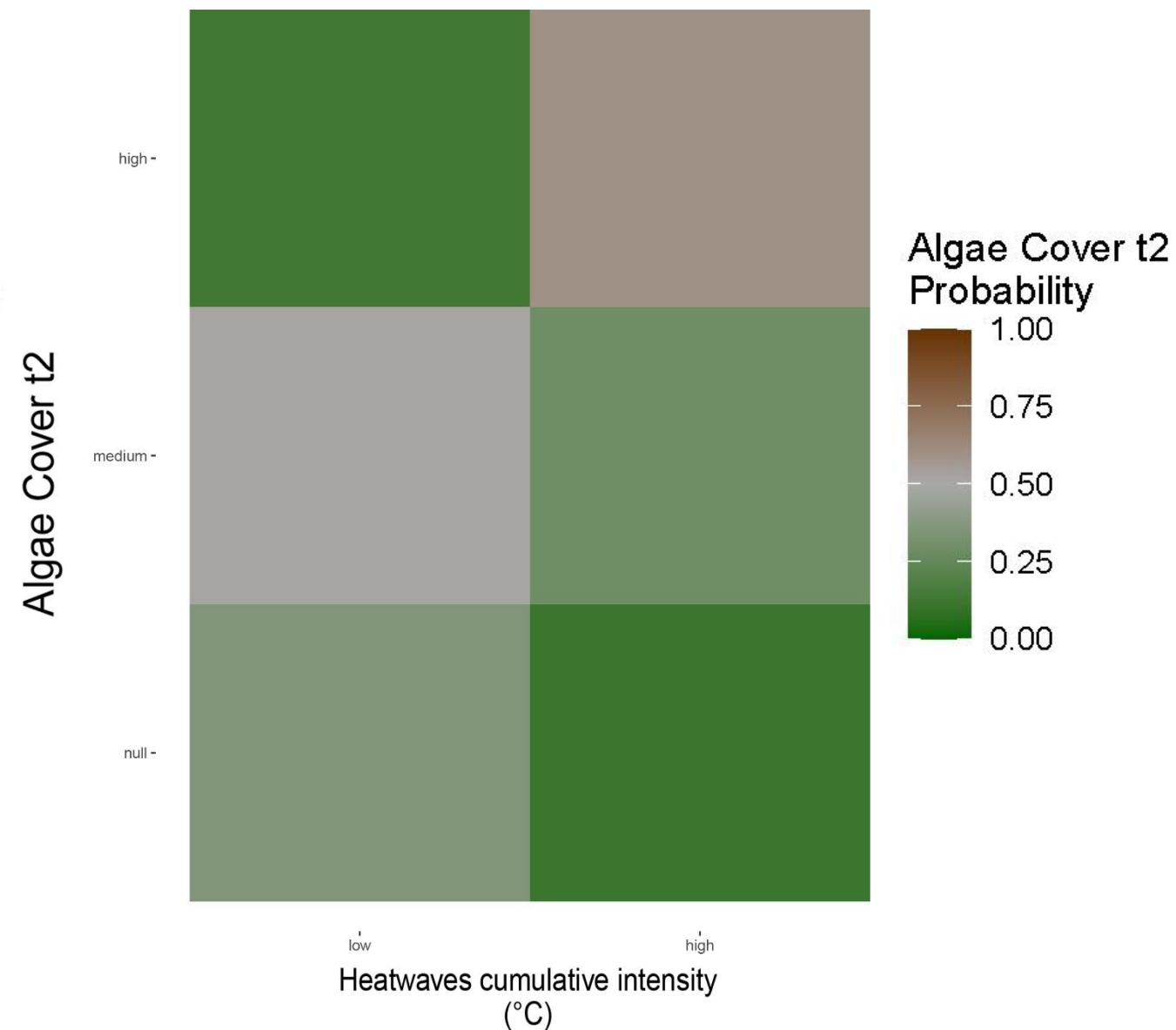
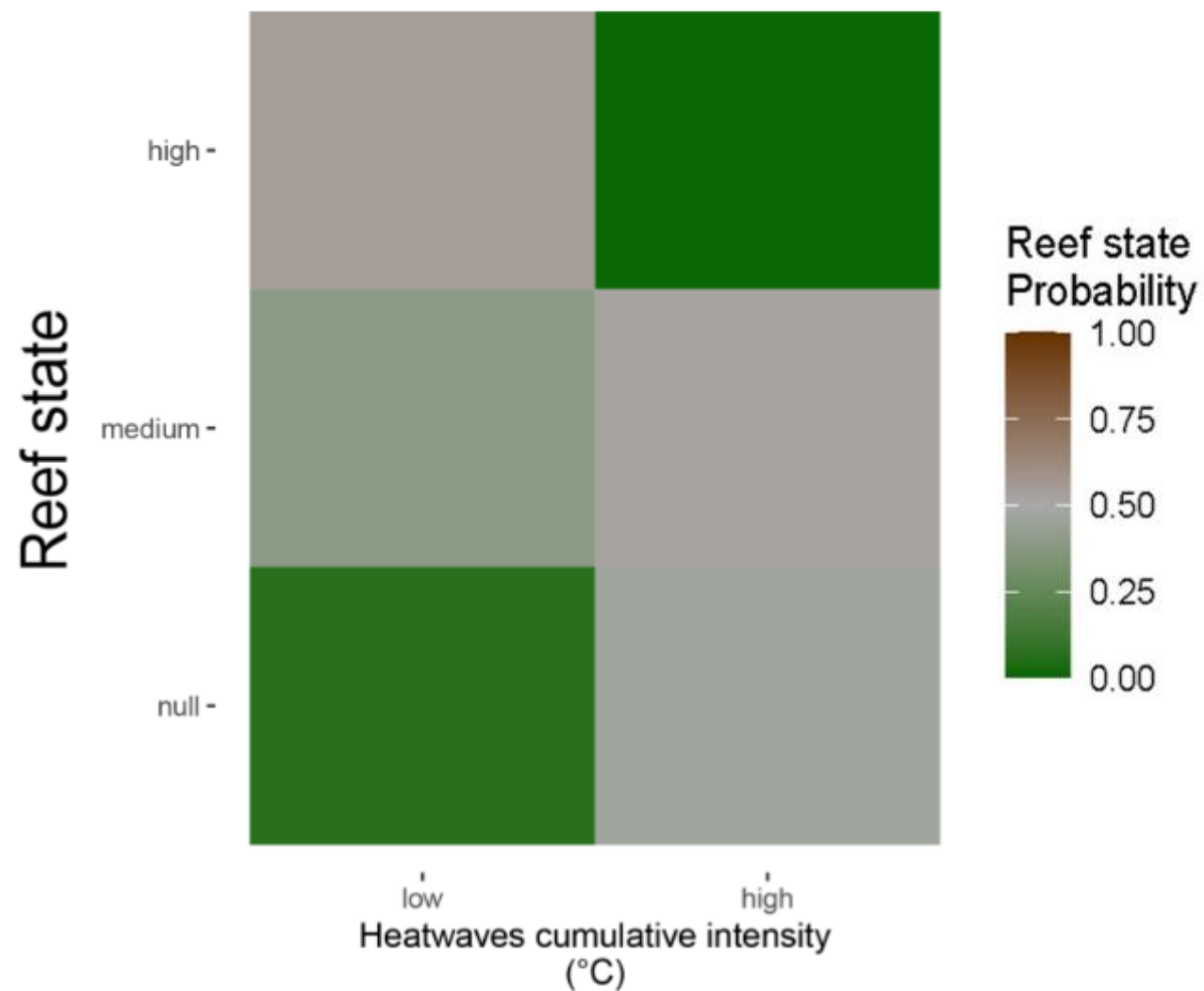


Annexes



$$\hat{P}(X_i = x_k \mid \text{pa}(X_i) = x_j) = \hat{\theta}_{i,j,k}^{MV} = \frac{N_{i,j,k}}{\sum_k N_{i,j,k}}$$

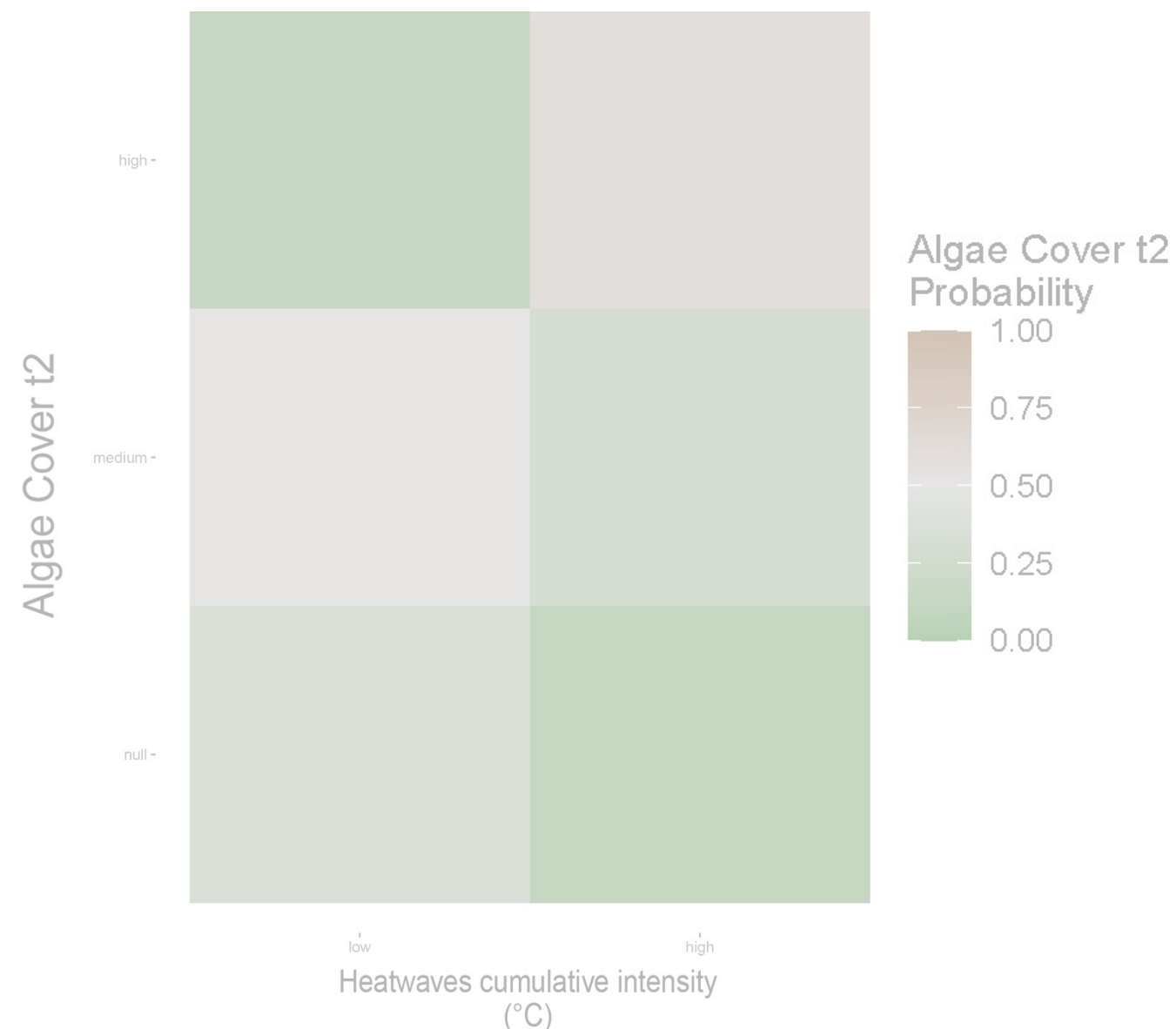
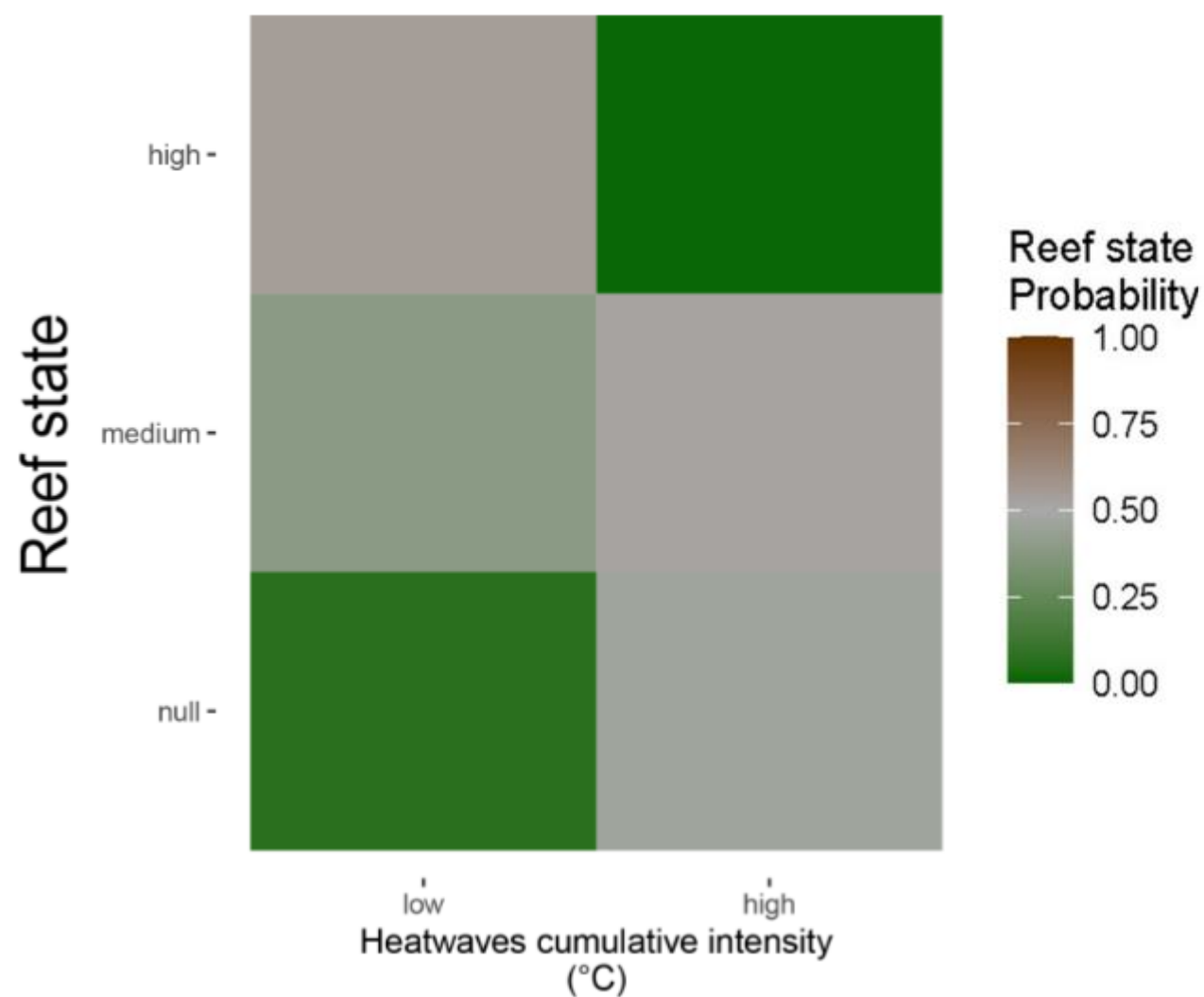
Tables de Probabilités Conditionnelles



Probabilités d'observer le récif/ les algues dans 3 états:

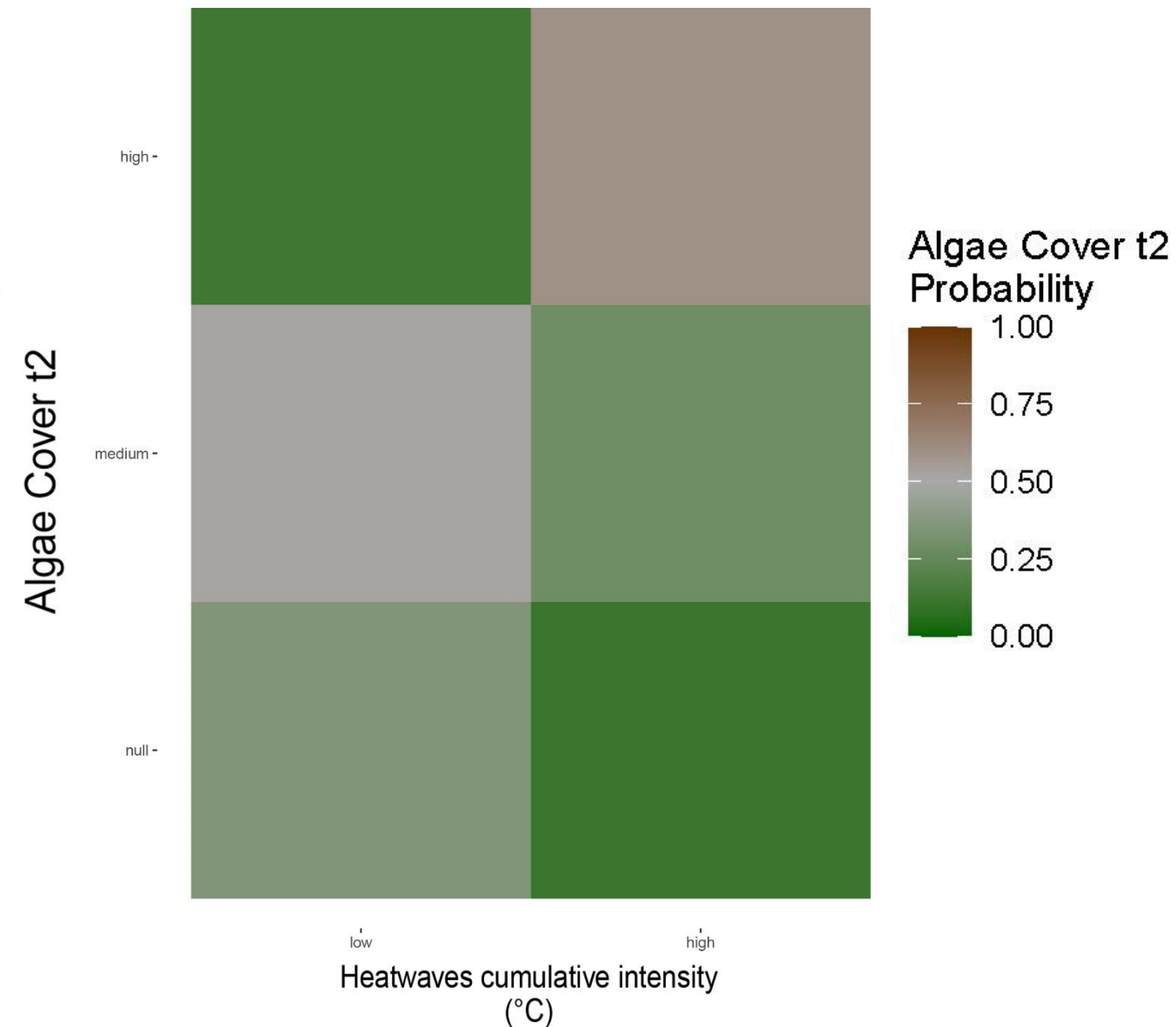
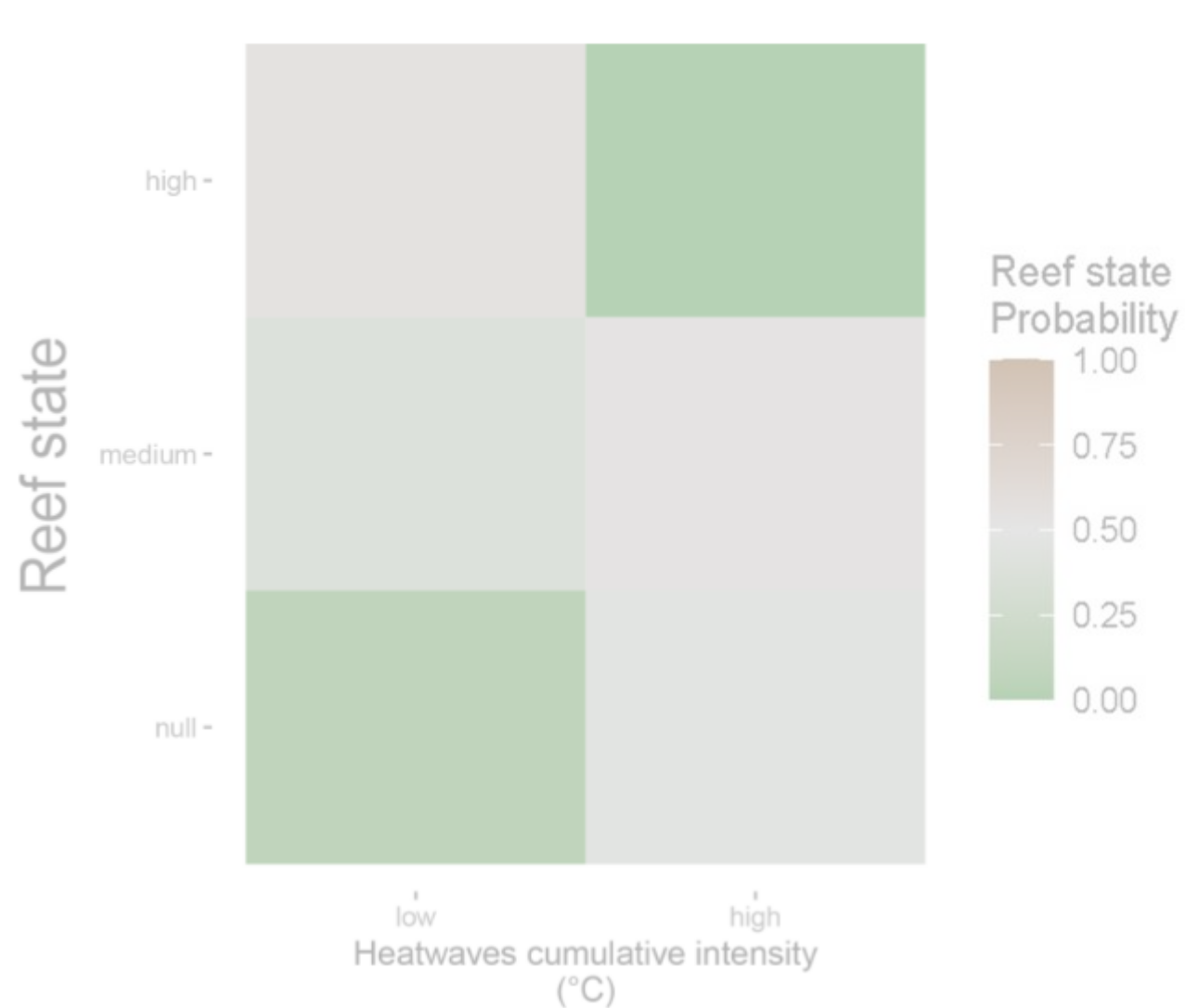
- High
- Medium
- Null

Tables de Probabilités Conditionnelles



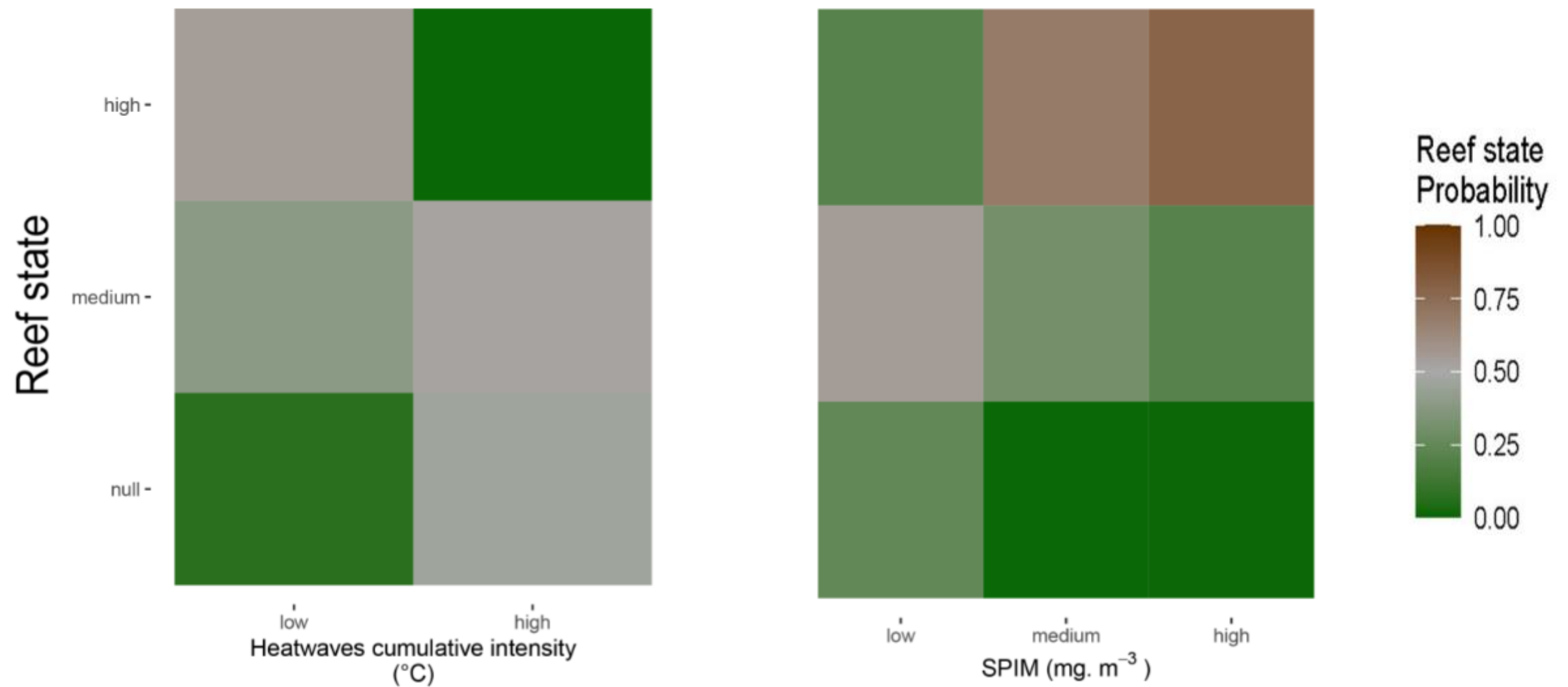
Impact délétère des coups de chaud sur l'état du récif

Tables de Probabilités Conditionnelles



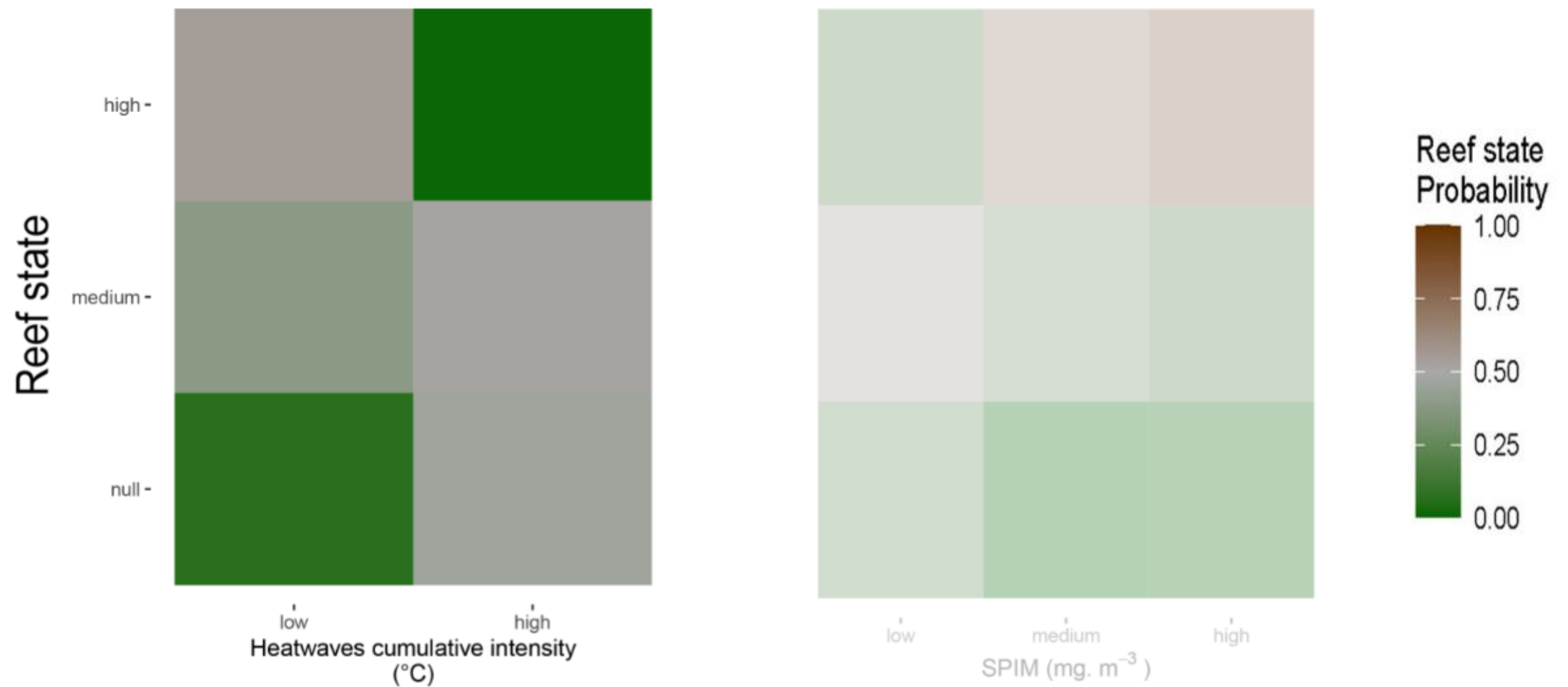
Impact bénéfique des coups de chaud sur la couverture algale

Vagues de chaleur



- Coups de chaud diminuent les probabilités d'observer le récif en bon état
- Augmentation des événements extrêmes délétère pour le récif
- Et bénéfique pour les algues

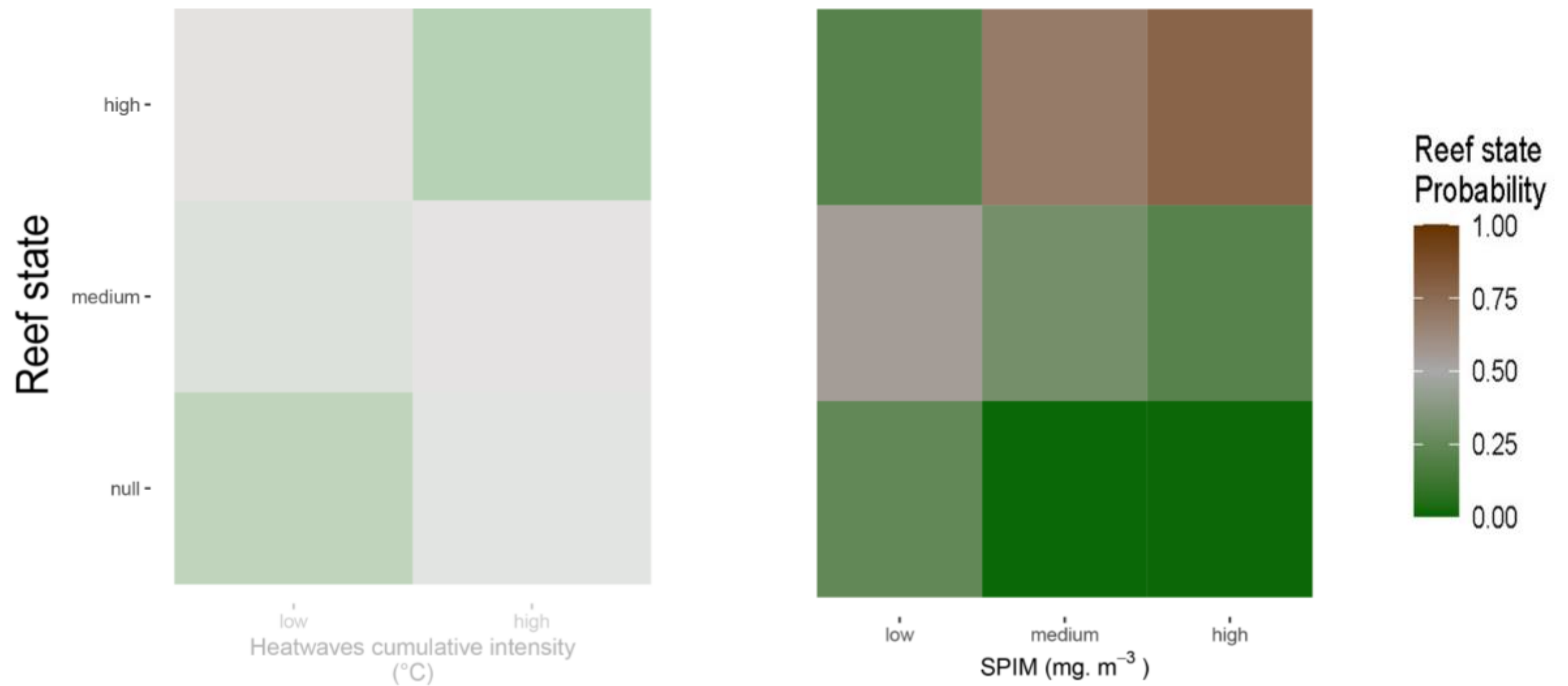
Vagues de chaleur



→ Coups de chaud diminuent les probabilités d'observer le récif en bon état

→ Augmentation des événements extrêmes délétère pour le récif

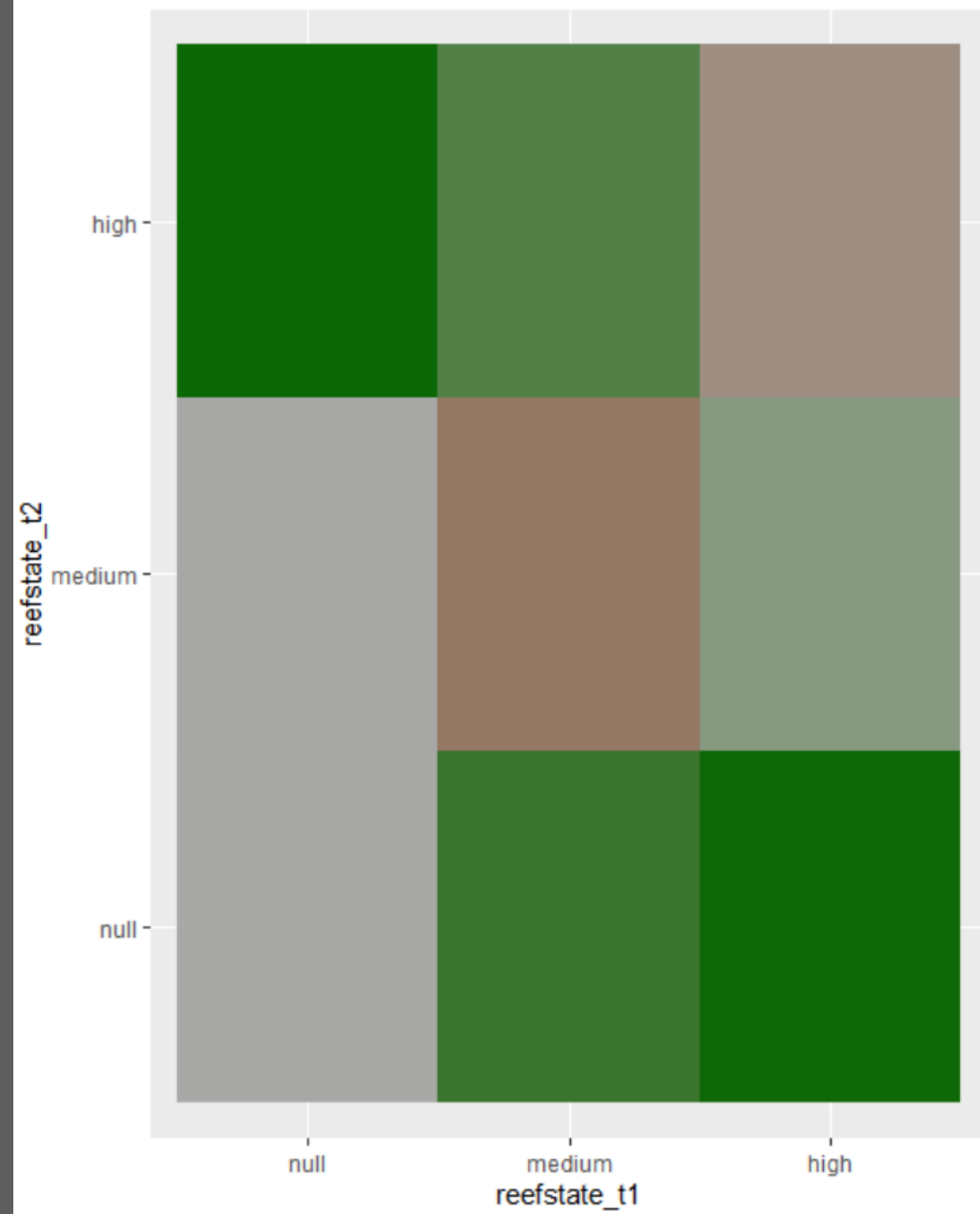
→ Et bénéfique pour les algues



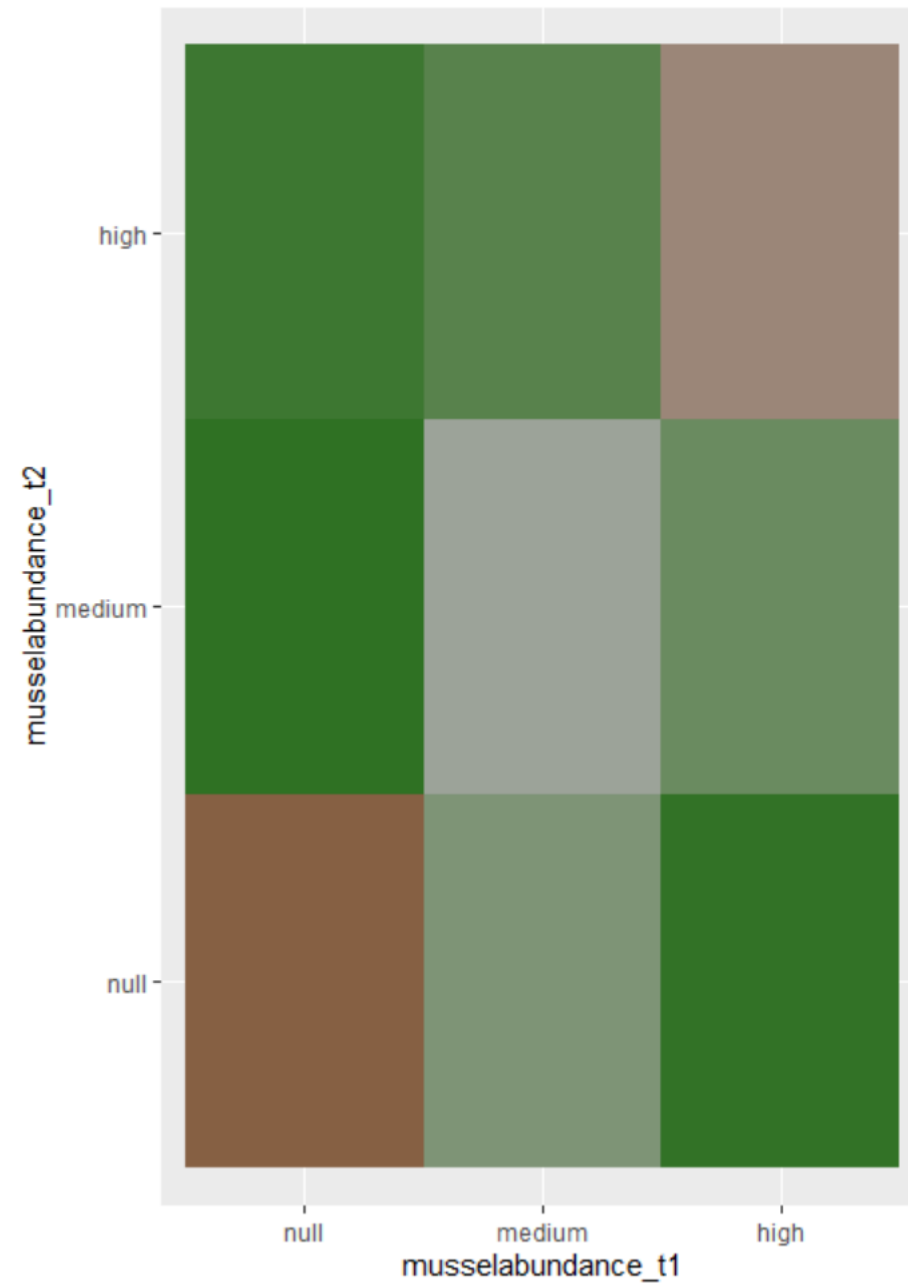
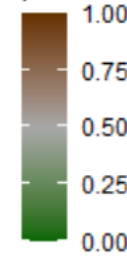
→ Conditions de SPIM favorisant les récifs

→ Et défavorisant la prolifération algale

Mémoire écologique



reefstate_t2
probability



musselabundance_t2
probability

