

## Amédée 2021

~

Tester l'indépendance des petits réseaux de prédateurs

Jérôme Roux<sup>\*,1,2</sup>, Nicolas Bez<sup>3</sup>, Rocío Joo<sup>1,4</sup>, Paul Rochet<sup>2</sup>,  
et Stéphanie Mahévas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IFREMER, Ecologie et Modeles pour l'Halieutique

<sup>2</sup>Université de Nantes

<sup>3</sup>MARBEC, Univ Montpellier, IRD, Ifremer, CNRS, Sète, France

<sup>4</sup>Global Fishing Watch

22/04/2021



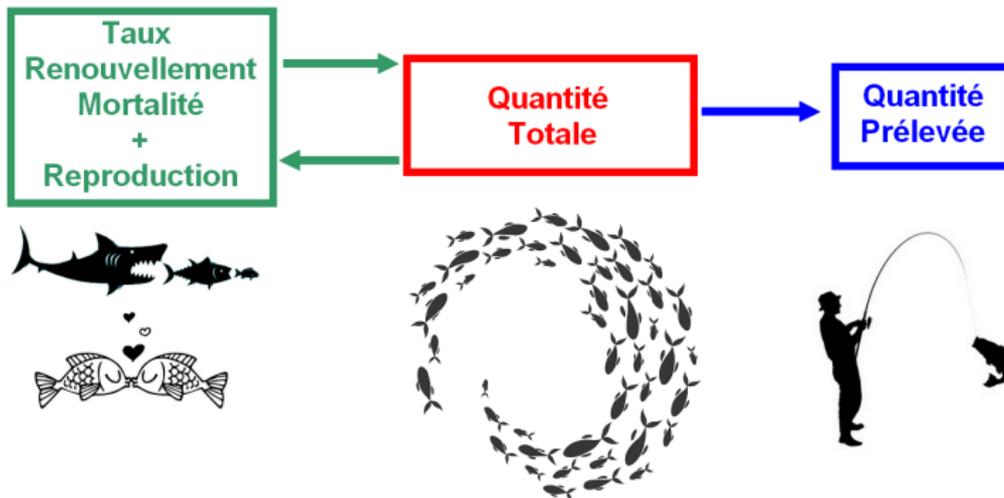
- 1 Introduction
- 2 Le graphe, l'objet des relations
- 3 Distance entre graphes
- 4 Résultats

# Plan

- 1 Introduction
- 2 Le graphe, l'objet des relations
- 3 Distance entre graphes
- 4 Résultats

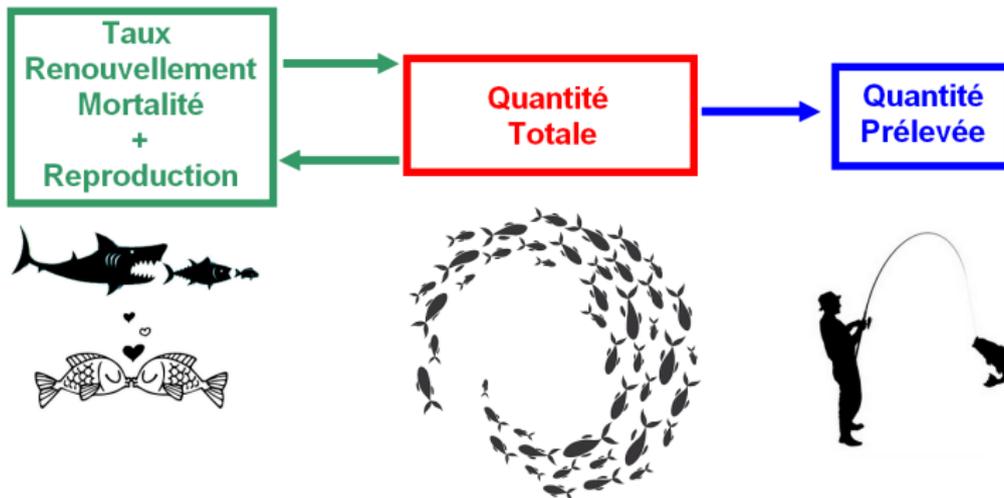
# Qu'est-ce qu'une exploitation durable ? (Version simplifiée)

- 3 Compartiments :



# Qu'est-ce qu'une exploitation durable ? (Version simplifiée)

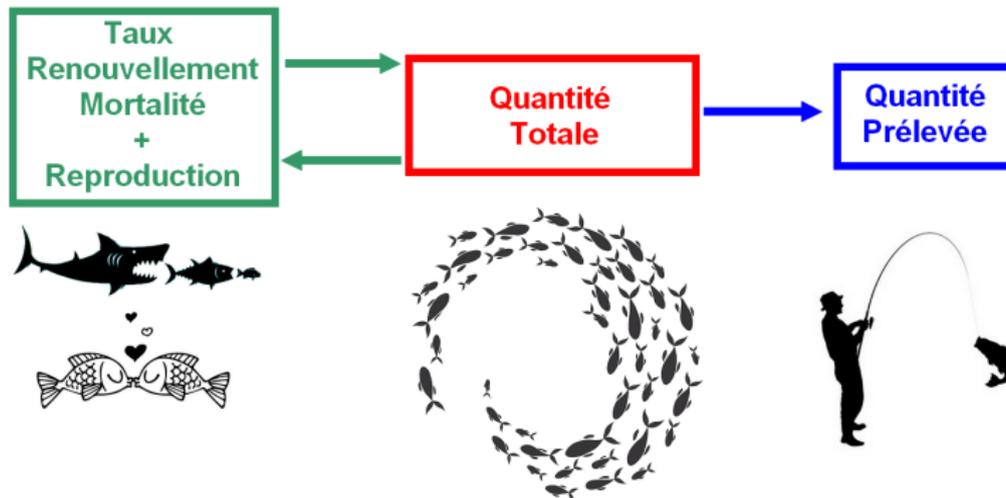
- 3 Compartiments :



- Quantité prélevée → Fourni par les acteurs de la pêche

# Qu'est-ce qu'une exploitation durable ? (Version simplifiée)

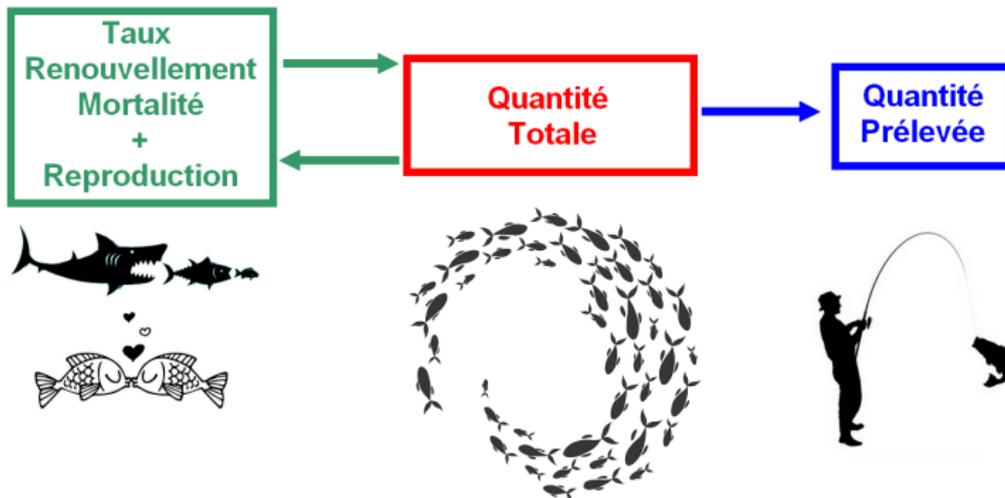
- 3 Compartiments :



- Quantité prélevée → Fourni par les acteurs de la pêche
- Taux de renouvellement → Fourni par la biologie

# Qu'est-ce qu'une exploitation durable ? (Version simplifiée)

- 3 Compartiments :



- Quantité prélevée → Fourni par les acteurs de la pêche
- Taux de renouvellement → Fourni par la biologie
- Quantité totale → Difficilement accessible, approche par estimation

# L'estimation, un problème d'échantillons

- 2 types d'échantillons :  
Données scientifiques



- Bonne qualité
- Protocole d'échantillonnage
- Faible quantité

# L'estimation, un problème d'échantillons

- 2 types d'échantillons :  
Données scientifiques



- Bonne qualité
- Protocole d'échantillonnage
- Faible quantité

## Données commerciales



- Moindre qualité
- Échantillonnage "anarchique"
- Grande quantité

## Les pêcheurs, des prédateurs comme les autres

- Prédation d'une même ressource = émergence de **stratégies de prédation** (Compromis effort vs gain) :

## Les pêcheurs, des prédateurs comme les autres

- Prédation d'une même ressource = émergence de **stratégies de prédation** (Compromis effort vs gain) :  
→ Stratégie d'évitement

# Les pêcheurs, des prédateurs comme les autres

- Prédation d'une même ressource = émergence de **stratégies de prédation** (Compromis effort vs gain) :
  - Stratégie d'évitement
  - Stratégie d'agression

# Les pêcheurs, des prédateurs comme les autres

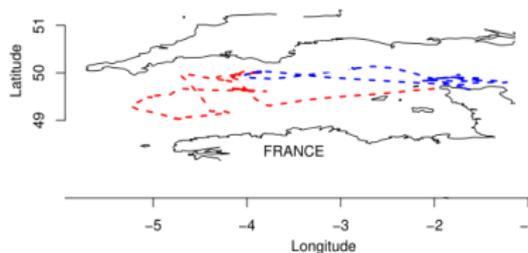
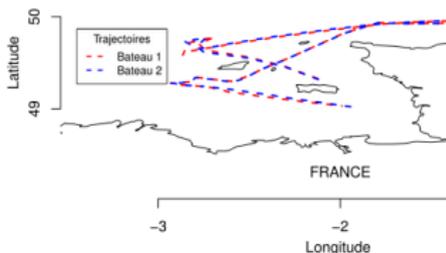
- Prédation d'une même ressource = émergence de **stratégies de prédation** (Compromis effort vs gain) :
  - Stratégie d'évitement
  - Stratégie d'agression
  - Stratégie de **collaboration**

# Les pêcheurs, des prédateurs comme les autres

- Prédation d'une même ressource = émergence de **stratégies de prédation** (Compromis effort vs gain) :
  - Stratégie d'évitement
  - Stratégie d'agression
  - Stratégie de **collaboration**
- Impact de ces stratégies sur les échantillons ?

# Les pêcheurs, des prédateurs comme les autres

- Prédation d'une même ressource = émergence de **stratégies de prédation** (Compromis effort vs gain) :
  - Stratégie d'évitement
  - Stratégie d'agression
  - Stratégie de **collaboration**
- Impact de ces stratégies sur les échantillons ?



- Les échantillons de ces 2 bateaux sont-ils différents, **indépendant** ou apportent-ils la **même information en double** ?
- Besoin de prendre en compte les **relations entre les acteurs**

# Plan

- 1 Introduction
- 2 Le graphe, l'objet des relations**
- 3 Distance entre graphes
- 4 Résultats

## Les graphes ou réseaux :

- Un graphe, c'est un ensemble de **noeuds** (individus, objets, variables...) liés entre eux par un ensemble d'**arêtes**.

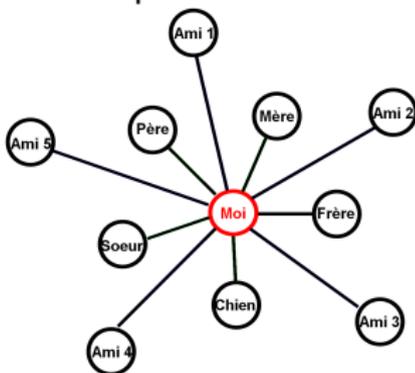
## Les graphes ou réseaux :

- Un graphe, c'est un ensemble de **noeuds** (individus, objets, variables...) liés entre eux par un ensemble d'**arêtes**.
- Exemple des réseaux sociaux (Facebook) :

## Les graphes ou réseaux :

- Un graphe, c'est un ensemble de **noeuds** (individus, objets, variables...) liés entre eux par un ensemble d'**arêtes**.
- Exemple des réseaux sociaux (Facebook) :

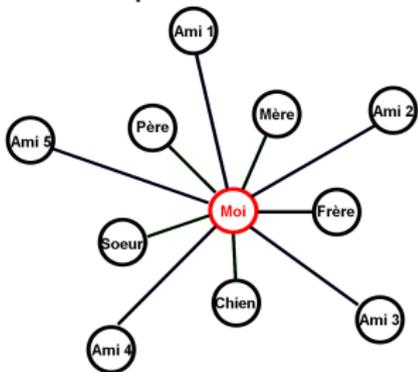
Graphe **binaire** :



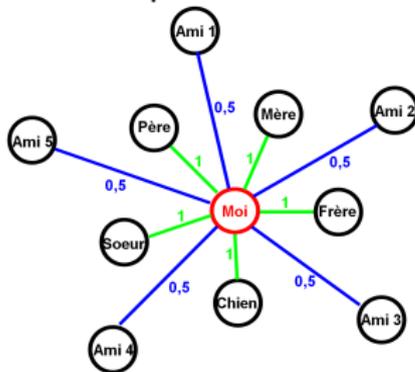
## Les graphes ou réseaux :

- Un graphe, c'est un ensemble de **noeuds** (individus, objets, variables...) liés entre eux par un ensemble d'**arêtes**.
- Exemple des réseaux sociaux (Facebook) :

Graphe **binaire** :



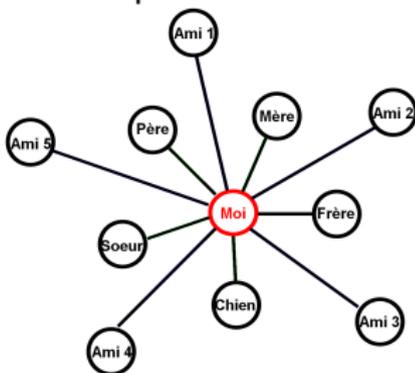
Graphe **valué** :



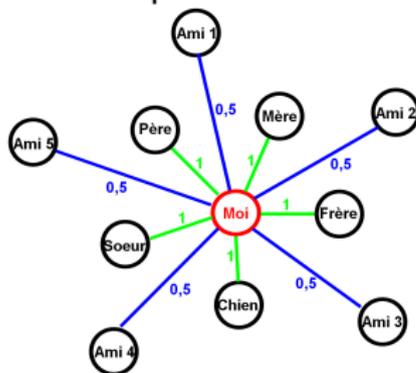
# Les graphes ou réseaux :

- Un graphe, c'est un ensemble de **noeuds** (individus, objets, variables...) liés entre eux par un ensemble d'**arêtes**.
- Exemple des réseaux sociaux (Facebook) :

Graphe **binaire** :



Graphe **valué** :

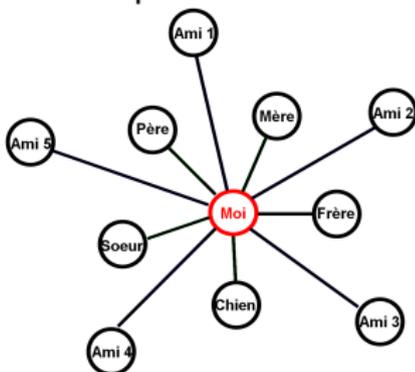


- **Intégration** d'un ensemble de paires d'interactions en un objet global, le graphe.  
→ Le tout est plus que la somme de ses parties

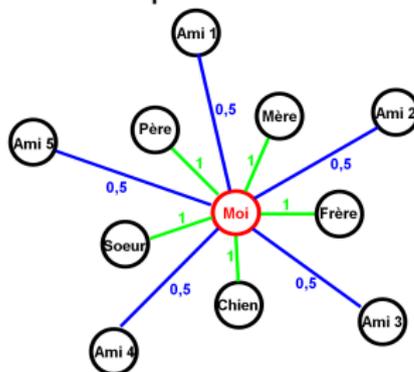
# Les graphes ou réseaux :

- Un graphe, c'est un ensemble de **noeuds** (individus, objets, variables...) liés entre eux par un ensemble d'**arêtes**.
- Exemple des réseaux sociaux (Facebook) :

Graphe **binaire** :



Graphe **valué** :



- **Intégration** d'un ensemble de paires d'interactions en un objet global, le graphe.
  - Le tout est plus que la somme de ses parties
  - Peut-on établir le **"réseaux social" des pêcheurs** ?

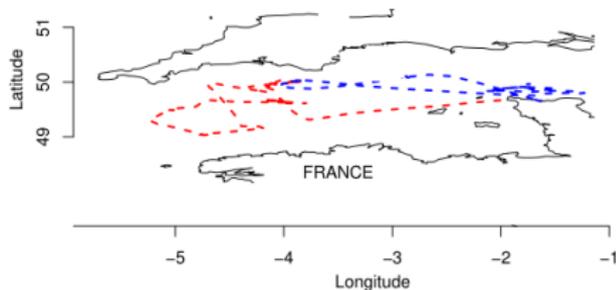
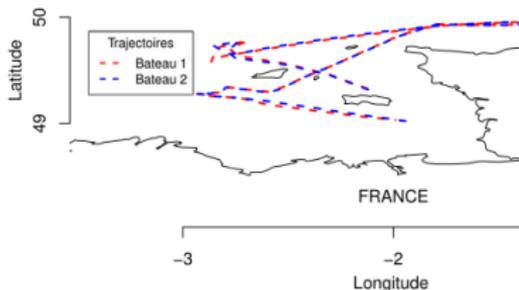
# Quelles relations entre les pêcheurs ?

## Quelles relations entre les pêcheurs ?

- Utilisation des **trajectoires (VMS)** pour identifier les "rencontres".  
→ Une rencontre = distance  $< 5$  km entre 2 bateaux

# Quelles relations entre les pêcheurs ?

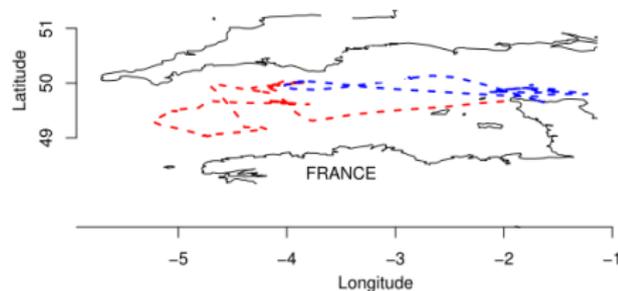
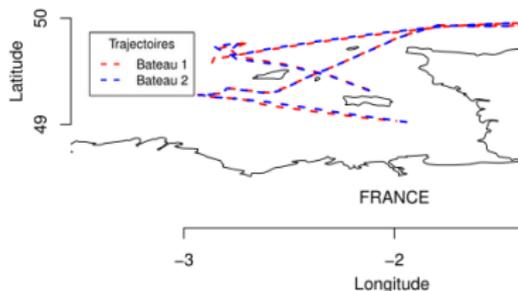
- Utilisation des **trajectoires (VMS)** pour identifier les "rencontres".  
→ Une rencontre = distance < 5 km entre 2 bateaux
- 2 exemples de rencontres ...



... mais 2 relations très différentes.

# Quelles relations entre les pêcheurs ?

- Utilisation des **trajectoires (VMS)** pour identifier les "rencontres".  
→ Une rencontre = distance  $< 5$  km entre 2 bateaux
- 2 exemples de rencontres ...



... mais 2 relations très différentes.

→ Nécessité de **hiérarchiser** les relations

## Quelle hiérarchisation des relations ?

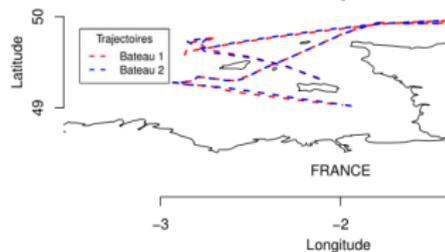
- **Evaluation** de l'intensité de la relation à l'aide de **3 métriques** (Joo et al, 2020) :

## Quelle hiérarchisation des relations ?

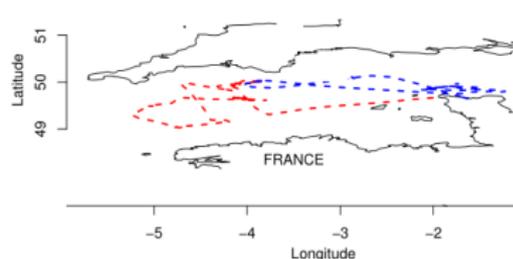
- **Evaluation** de l'intensité de la relation à l'aide de **3 métriques** (Joo et al, 2020) :
  - $Prox_5$  : Métrique de proximité
  - $Di_\theta$  : Métrique de coordination angulaire
  - $Di_D$  : Métrique de coordination de vitesse

# Quelle hiérarchisation des relations ?

- **Evaluation** de l'intensité de la relation à l'aide de **3 métriques** (Joo et al, 2020) :
  - $Prox_5$  : Métrique de proximité
  - $Di_\theta$  : Métrique de coordination angulaire
  - $Di_D$  : Métrique de coordination de vitesse



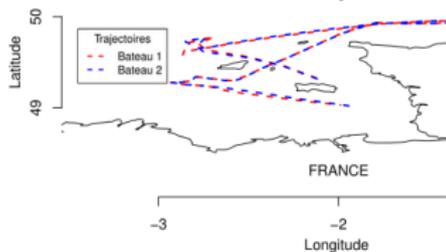
$Prox_5$	0.860
$Di_\theta$	0.984
$Di_D$	0.934



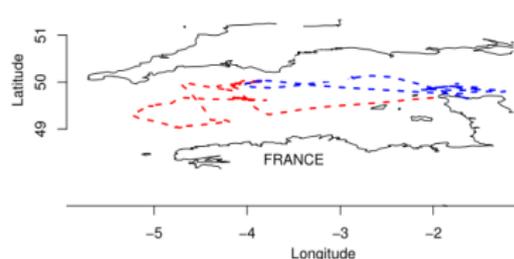
$Prox_5$	0.037
$Di_\theta$	0.004
$Di_D$	0.637

## Quelle hiérarchisation des relations ?

- **Evaluation** de l'intensité de la relation à l'aide de 3 métriques (Joo et al, 2020) :
  - $Prox_5$  : Métrique de proximité
  - $Di_\theta$  : Métrique de coordination angulaire
  - $Di_D$  : Métrique de coordination de vitesse



$Prox_5$	0.860
$Di_\theta$	0.984
$Di_D$	0.934



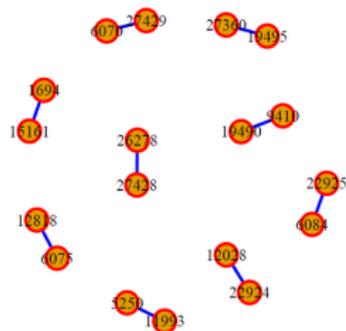
$Prox_5$	0.037
$Di_\theta$	0.004
$Di_D$	0.637

- **Classification** des rencontres en 3 groupes :
  - Groupe 1 : Relations fortes (**collaboration**)
  - Groupe 2 : Relations intermédiaires (**compétition ?**)
  - Groupe 3 : Relations faibles (**évitement/rencontres fortuites**)

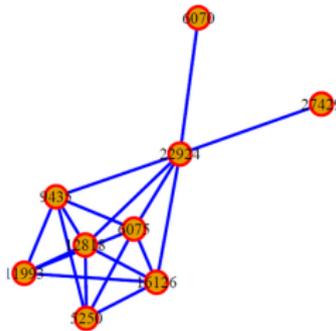
# Et après ?

- Exemple de graphes :

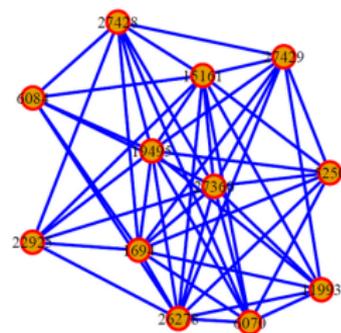
### Cluster n°1



### Cluster n°2



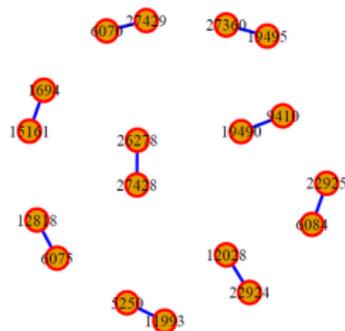
### Cluster n°3



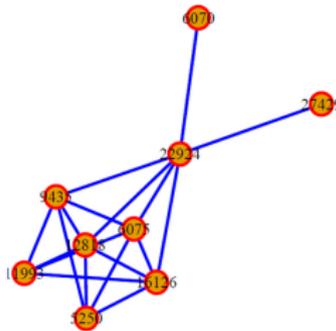
# Et après ?

- Exemple de graphes :

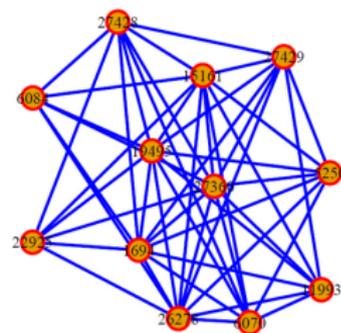
### Cluster n°1



### Cluster n°2



### Cluster n°3

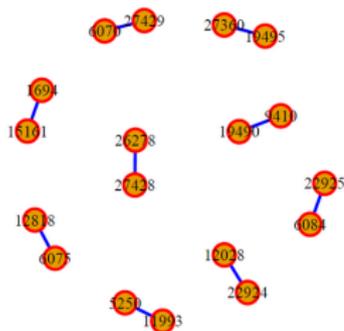


→ Ces graphes sont des réalisations d'un **processus inconnu**

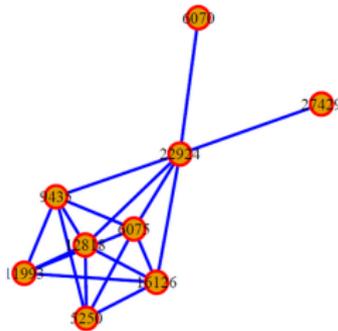
# Et après ?

- Exemple de graphes :

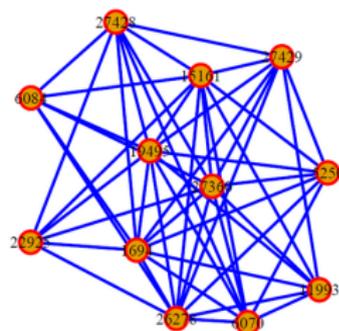
### Cluster n°1



### Cluster n°2



### Cluster n°3



→ Ces graphes sont des réalisations d'un **processus inconnu**

→ Comparaison avec des graphes issus de **processus connus**

## Le modèle d'Erdős-Rényi :

- Pour un nombre de nœuds  $\mathcal{N}$  fixé
- Et pour un nombre d'arêtes  $\mathcal{M}$  fixé
- $\frac{\mathcal{N}(\mathcal{N}-1)}{2}$  couples possibles.

## Le modèle d'Erdős-Rényi :

- Pour un nombre de nœuds  $\mathcal{N}$  fixé
  - Et pour un nombre d'arêtes  $\mathcal{M}$  fixé
  - $\frac{\mathcal{N}(\mathcal{N}-1)}{2}$  couples possibles.
- **Tirage uniforme** d'un sous ensemble de  $\mathcal{M}$  arêtes parmi les  $\frac{\mathcal{N}(\mathcal{N}-1)}{2}$  couples possibles.

## Le modèle d'Erdős-Rényi :

- Pour un nombre de nœuds  $\mathcal{N}$  fixé
- Et pour un nombre d'arêtes  $\mathcal{M}$  fixé
- $\frac{\mathcal{N}(\mathcal{N}-1)}{2}$  couples possibles.
  - **Tirage uniforme** d'un sous ensemble de  $\mathcal{M}$  arêtes parmi les  $\frac{\mathcal{N}(\mathcal{N}-1)}{2}$  couples possibles.
  - Graphes d'**indépendance** des arêtes par construction.

## Le modèle d'Erdős-Rényi :

- Pour un nombre de nœuds  $\mathcal{N}$  fixé
- Et pour un nombre d'arêtes  $\mathcal{M}$  fixé
- $\frac{\mathcal{N}(\mathcal{N}-1)}{2}$  couples possibles.

→ **Tirage uniforme** d'un sous ensemble de  $\mathcal{M}$  arêtes parmi les  $\frac{\mathcal{N}(\mathcal{N}-1)}{2}$  couples possibles.

→ Graphes d'**indépendance** des arêtes par construction.

→ Évaluation du niveau d'indépendance des graphes de flottilles en les comparant aux Erdős-Rényi.

# Plan

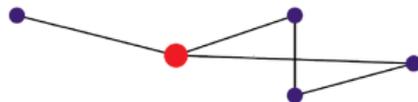
- 1 Introduction
- 2 Le graphe, l'objet des relations
- 3 Distance entre graphes**
- 4 Résultats

## Les Feature-based distances :

- Un graphe peut être résumé par un **ensemble de métriques** :

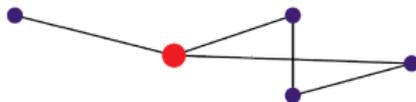
## Les Feature-based distances :

- Un graphe peut être résumé par un **ensemble de métriques** :
  - Le cas du degrés :
    - Métrique relative aux **nœuds** d'un graphes
    - Degrés d'un nœud = nombre de nœuds adjacent



## Les Feature-based distances :

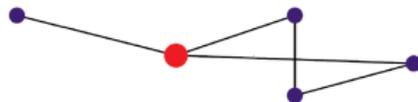
- Un graphe peut être résumé par un **ensemble de métriques** :
  - Le cas du degrés :
    - Métrique relative aux **nœuds** d'un graphes
    - Degrés d'un nœud = nombre de nœuds adjacent



→ Degrés du noeud rouge = 3

## Les Feature-based distances :

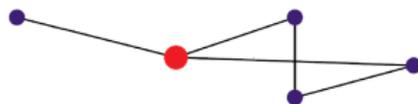
- Un graphe peut être résumé par un **ensemble de métriques** :
  - Le cas du degrés :
    - Métrique relative aux **noeuds** d'un graphes
    - Degrés d'un noeud = nombre de noeuds adjacent



- Degrés du noeud rouge = 3
- **Histogramme des degrés** = résume une partie de l'information contenue dans le graphe.

## Les Feature-based distances :

- Un graphe peut être résumé par un **ensemble de métriques** :
  - Le cas du degrés :
    - Métrique relative aux **nœuds** d'un graphes
    - Degrés d'un nœud = nombre de nœuds adjacent



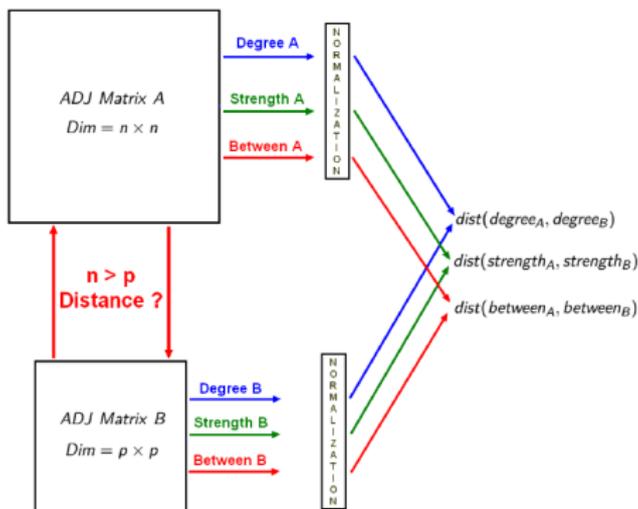
- Degrés du noeud rouge = 3
    - **Histogramme des degrés** = résume une partie de l'information contenue dans le graphe.
  - La distance entre 2 graphes = distance entre métriques :
    - Distance entre deux histogrammes.

## Les Feature-based distances :

→ **Limité** à la comparaison de graphes de **même ordre** (nombre de noeuds) et de **même densité** (nombre d'arêtes)

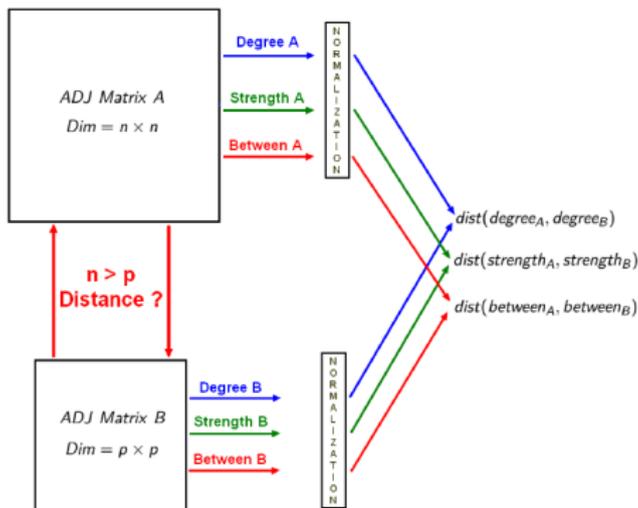
## Les Feature-based distances :

- **Limité** à la comparaison de graphes de **même ordre** (nombre de noeuds) et de **même densité** (nombre d'arêtes)
- Tentative de contournement des limites :



## Les Feature-based distances :

- **Limité** à la comparaison de graphes de **même ordre** (nombre de noeuds) et de **même densité** (nombre d'arêtes)
- Tentative de contournement des limites :



- "Je ne dirais pas que c'est un échec, mais ça n'a pas marché"

## Graphlet Correlation Distance (GCD) :

- Distance récente (Yaveroglu, Przulj et al 2014) :  
→ Comparaison de graphes d'interactions protéine-protéine

## Graphlet Correlation Distance (GCD) :

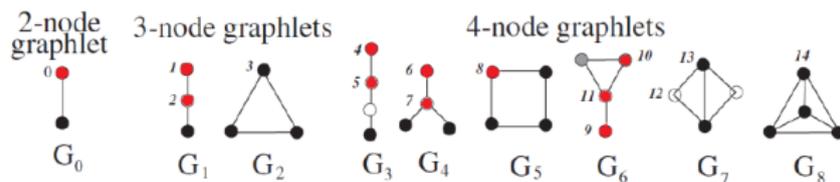
- Distance récente (Yaveroglu, Przulj et al 2014) :
  - Comparaison de graphes d'interactions protéine-protéine
  - Autorise la comparaison de graphes d'ordre et de densité différentes

## Graphlet Correlation Distance (GCD) :

- La  $GCD_{11}$  dans les grandes lignes :

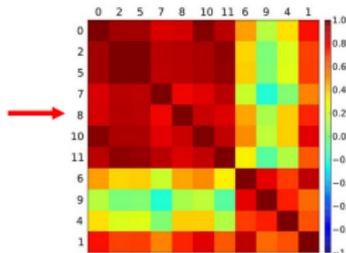
# Graphlet Correlation Distance (GCD) :

- La  $GCD_{11}$  dans les grandes lignes :  
 → Distance basée sur l'analyse **topologique** des graphes.



	Orbite 0	Orbite 1	Orbite 2	...	Orbite 11
Nœud 1	9	3	3	...	16
Nœud 2	3	8	2	...	21
...	...	...	...	...	...
Nœud n	6	11	4	...	1

$GCM[i,j]$   
 =  
 Corrélation entre  
 les "Orbites i" et "Orbite j"



Graphlet Correlation Matrix GCM

## Graphlet Correlation Distance (GCD) :

- Résumé d'un graphe sous la forme d'une GCM.  
→ Matrice symétrique  $11 \times 11$

## Graphlet Correlation Distance (GCD) :

- Résumé d'un graphe sous la forme d'une GCM.  
→ Matrice symétrique  $11 \times 11$
- $GCD_{11}$  entre 2 graphes :  
→ **Distance euclidienne entre les GCM** des 2 graphes

# Plan

- 1 Introduction
- 2 Le graphe, l'objet des relations
- 3 Distance entre graphes
- 4 Résultats

## Résumé de l'approche

- L'analyse des **trajectoires** permet d'identifier et d'"interpréter" des comportements 2 à 2.

## Résumé de l'approche

- L'analyse des **trajectoires** permet d'identifier et d'"interpréter" des comportements 2 à 2.
- Les modèles de **graphes aléatoires** permettent d'analyser les **propriétés** organisationnelles à l'échelle des flottilles.

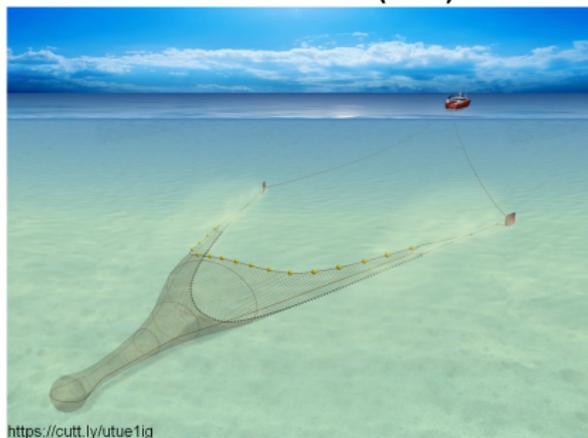
## Résumé de l'approche

- L'analyse des **trajectoires** permet d'identifier et d'"interpréter" des comportements 2 à 2.
- Les modèles de **graphes aléatoires** permettent d'analyser les **propriétés** organisationnelles à l'échelle des flottilles.
- Étendue de l'utilisation d'une distance innovante sur des **graphes rares** dans la littératures.

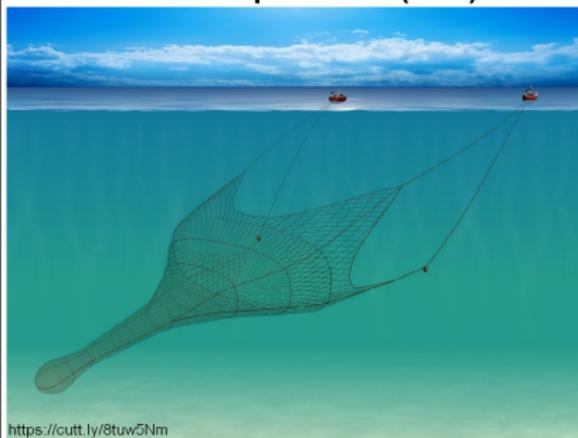
## Cas d'étude :

- 2 flottilles étudiées :
  - Midwater pair trawls (PTM) du port de Cherbourg.
  - Bottom otter trawl (OTB) du port de Boulogne-sur-Mer.
  - Années 2012 et 2013.

**Bottom otter trawl (OTB)**



**Midwater pair trawls (PTM)**



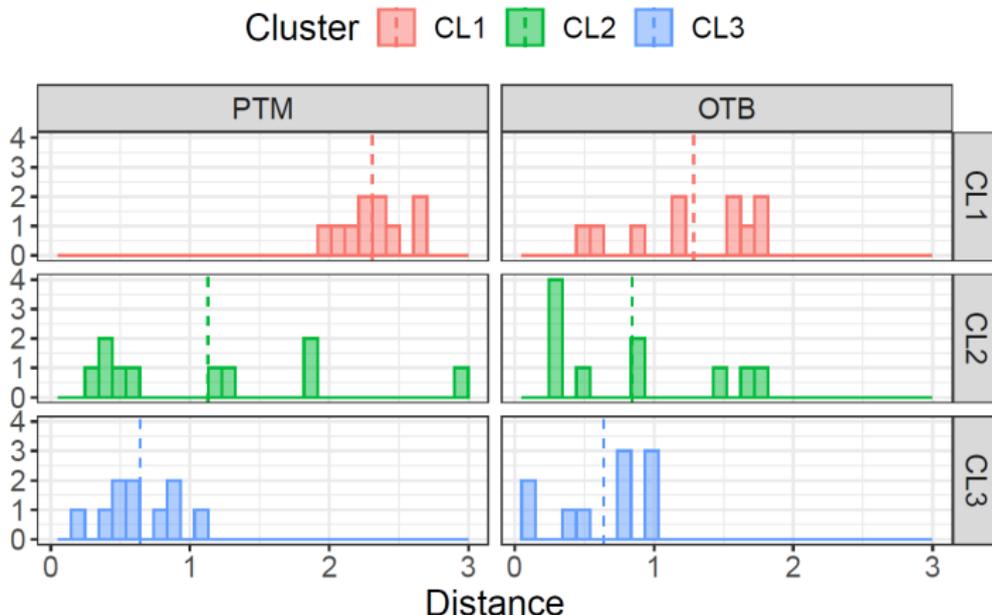
## Distance aux Erdős-Rényi :

- 60 graphes de flottilles :  
→ 10 graphes par cluster par flottilles.

## Distance aux Erdős-Rényi :

- 60 graphes de flottilles :
  - 10 graphes par cluster par flottilles.
- Pour chaque graphes :
  - Simulation de 100 graphes Erdős-Rényi.
  - Calcul de la distance  $GCD_{11}$  moyenne aux Erdős-Rényi
  - Et calcul de la probabilité qu'un graphe de Erdős-Rényi se trouve à cette distance (  $\sim$  pvalue)

# Distance aux Erdős-Rényi :



→ Les graphes des interactions fortes présentent la topologie la plus éloignée de celle attendue sous l'hypothèse d'indépendance.

# P-value

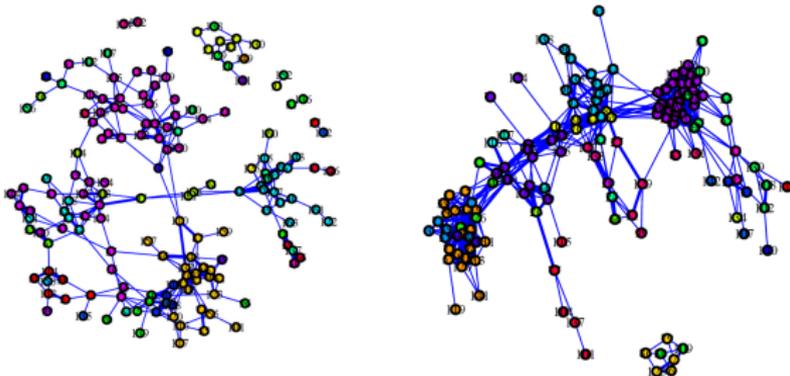
PTM			OTB		
Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
0.000***	0.000***	0.000***	0.000***	0.000***	0.042**
0.000***	0.000***	0.024**	0.000***	0.000***	0.055*
0.000***	0.036**	0.032**	0.000***	0.018**	0.062*
0.000***	0.041**	0.076*	0.000***	0.086*	0.070*
0.000***	0.095*	0.089*	0.000***	0.126	0.090*
0.000***	0.350	0.192	0.005***	0.377	0.197
0.000***	0.457	0.361	0.025**	0.719	0.265
0.000***	0.625	0.508	0.065*	0.726	0.705
0.000***	0.789	0.548	0.395	0.813	0.909
0.005***	0.801	0.821	0.615	0.833	0.957

## Conclusion :

- Les pêcheurs sont des prédateurs au **comportement collectif** encore opaque.
- Évaluation de l'**indépendance** entre les pêcheurs = **première étape** de compréhension du comportement collectif.
- Mais étape utile = aide au **filtrage** des données les plus indépendantes.

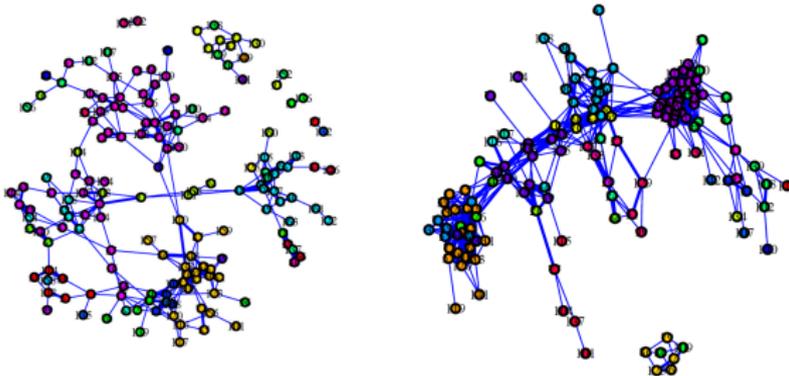
## Conclusion :

- Perspectives, plusieurs pistes :
  - **Changement d'échelle** = application à l'ensemble des flottilles de la Manche ?



## Conclusion :

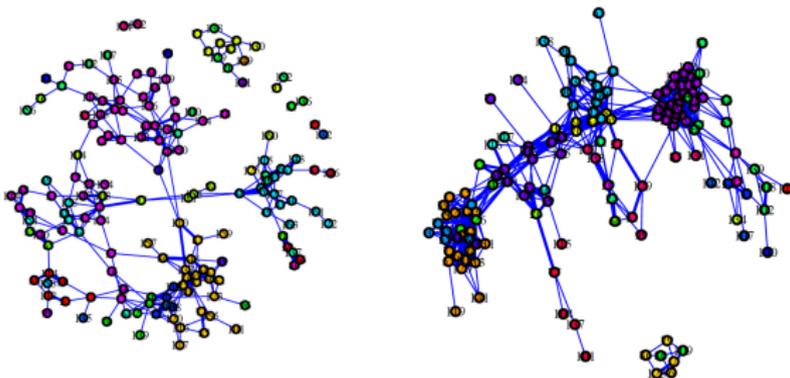
- Perspectives, plusieurs pistes :
  - **Changement d'échelle** = application à l'ensemble des flottilles de la Manche ?



- Passage à des graphes **dynamique** = variabilité temporelle du comportement ?

## Conclusion :

- Perspectives, plusieurs pistes :
  - **Changement d'échelle** = application à l'ensemble des flottilles de la Manche ?



- Passage à des graphes **dynamique** = variabilité temporelle du comportement ?
- Effet de la prise en compte de l'indépendance sur les **CPUE** = standardisation ?