

Network analysis in epidemiology and ecology

Created by Fidisoa Rasambainarivo
and Michelle Evans

Presented by Michelle Evans

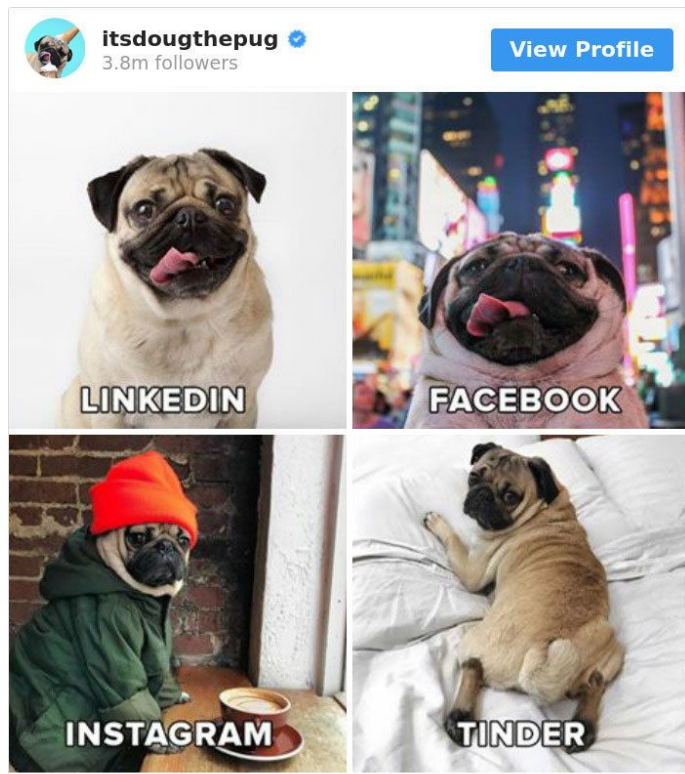
Lecture Outline

1. What are networks?
 - a. Terms and Concepts
2. How are networks used in the study of disease transmission?
 - a. Why do we need them in epidemiology?
 - b. Statistical analyses of network characteristics
 - i. Multiple Regression Quadratic Assignment Procedure (MRQAP)
3. Building a network in R: Interactions between researchers at ValBio

Lecture Outline

1. What are networks?
 - a. Terms and Concepts
2. How are networks used in the study of disease transmission?
 - a. Why do we need them in epidemiology?
 - b. Statistical analyses of network characteristics
 - i. Multiple Regression Quadratic Assignment Procedure (MRQAP)
3. Building a network in R: Interactions between researchers at ValBio

What is a network?

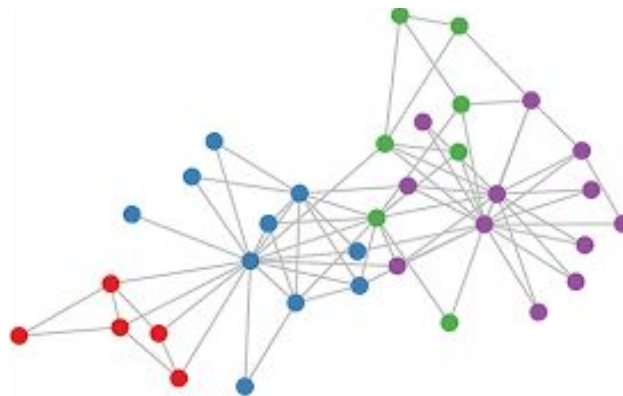


Represents a structure of interactions between individuals, places, or groups

Représente une structure des interactions entre des individus, des lieux, ou les groups

Also called a social network when representing individuals and their social contacts

Également appelé réseau social (social network) lorsqu'il représente des individus et leurs contacts sociaux



Example networks: A Flight Network

Un exemple: le réseau du transport aérien

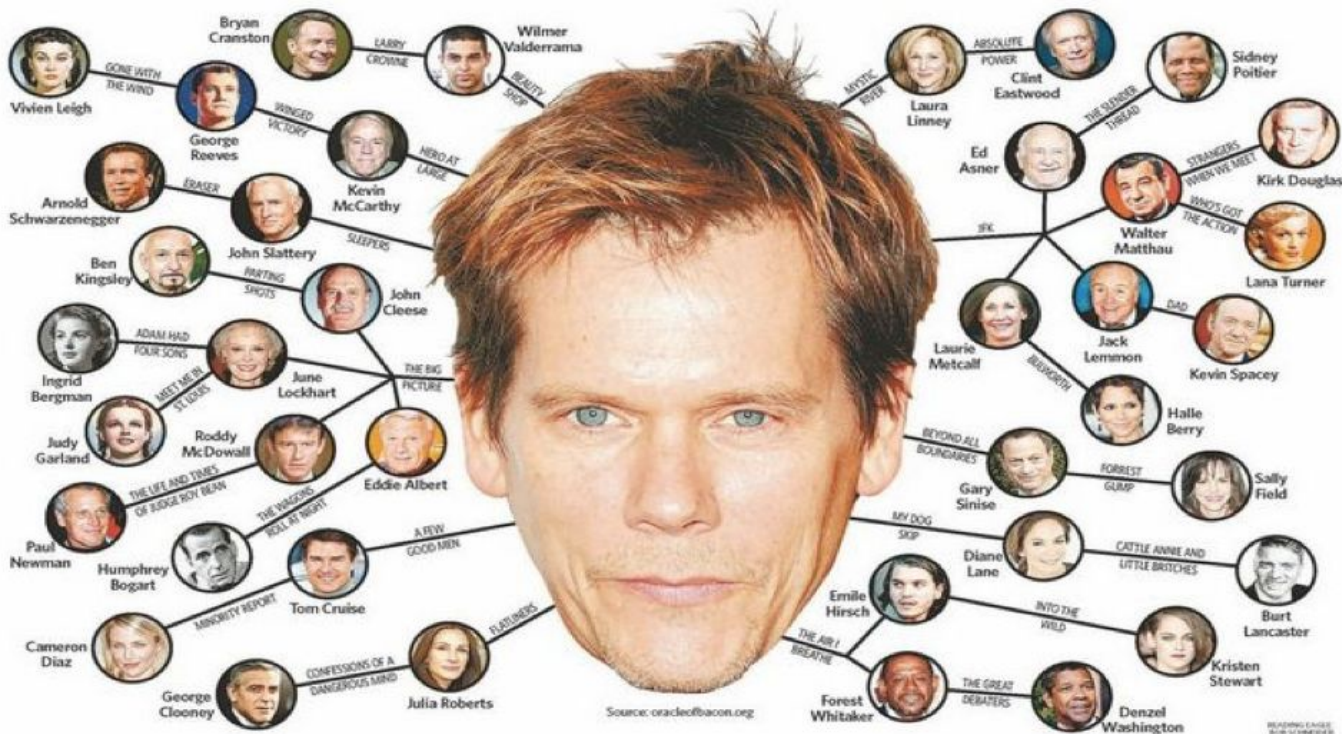


Each line represents a flight from NYC to another city in the US

Chaque ligne représente un vol entre New York City et une autre ville aux USA

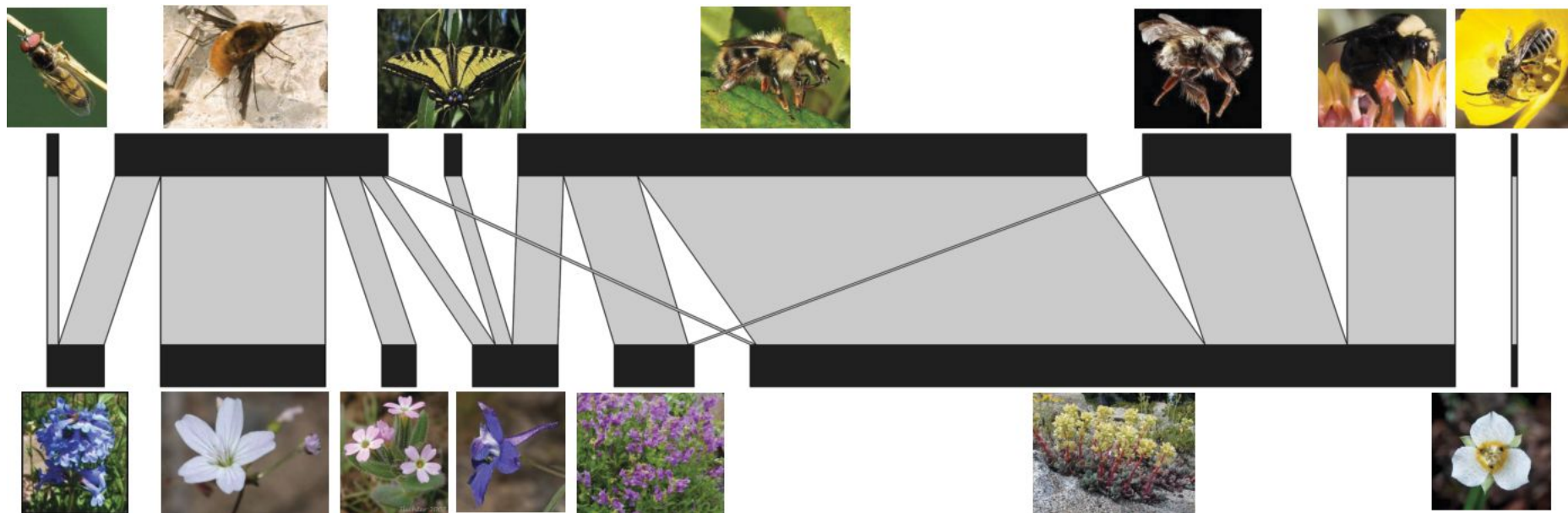
Example Network: Six Degrees of Kevin Bacon

Un exemple: le réseau de Kevin Bacon



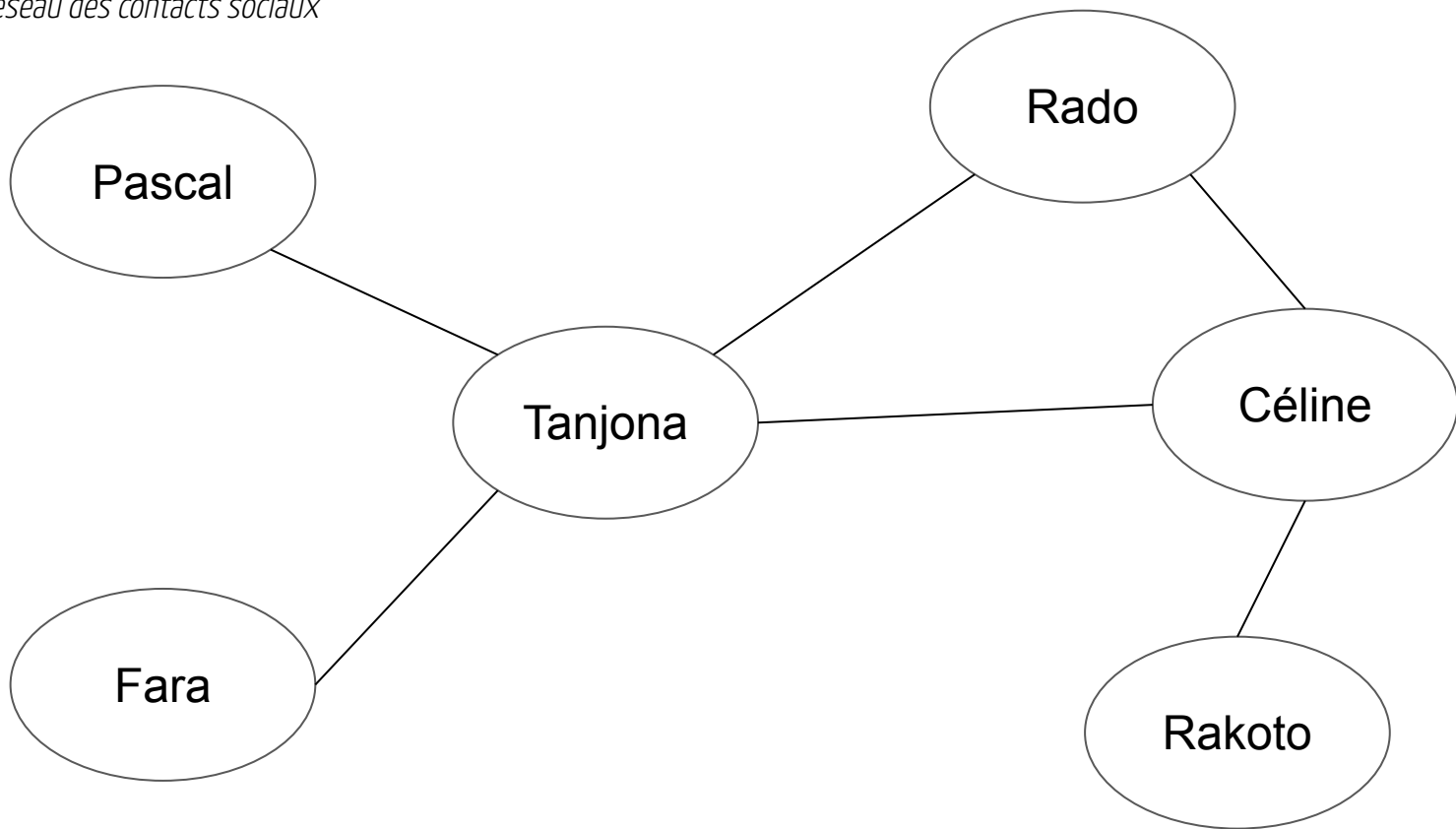
Example Network: Plant-Pollinator Network

Un exemple: un réseau des plants et leur pollinisateurs



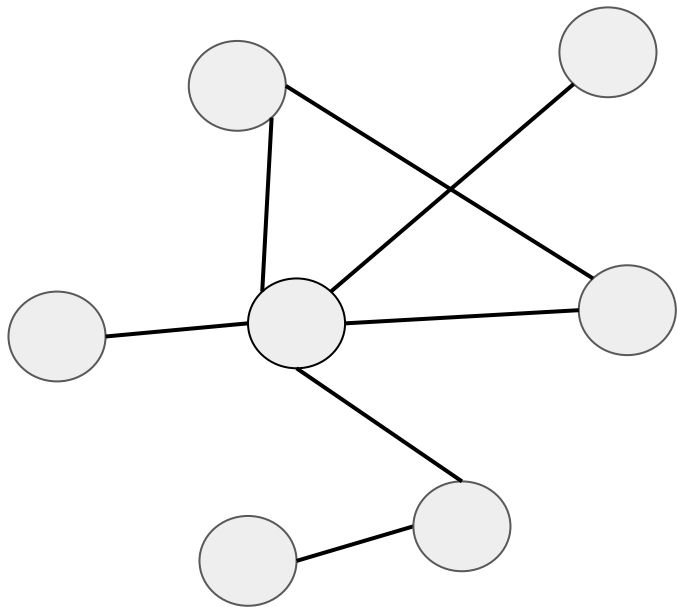
Example Network: Social Contacts

Un exemple: un réseau des contacts sociaux



Network Terms and Concepts

Les vocabulaires et concepts

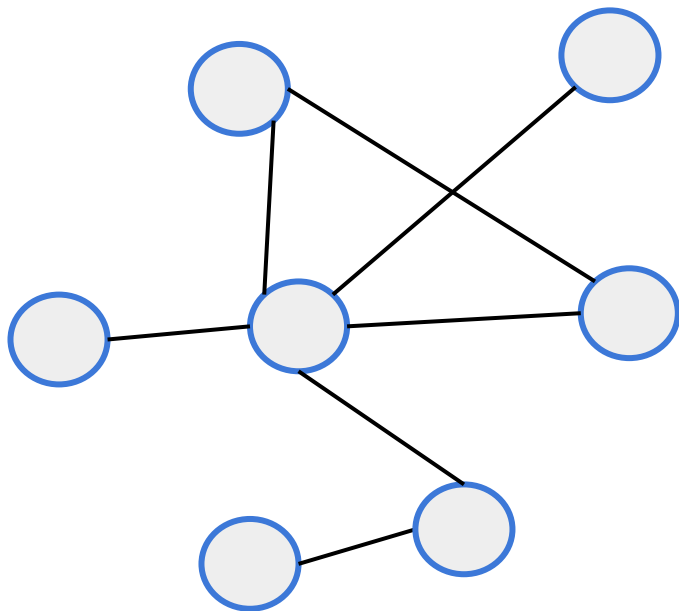


Network: structure made up of (social) actors that are interacting

Réseau: Une structure consistant des acteurs (sociaux) qui interagissent

Network Terms and Concepts

Les vocabulaires et concepts



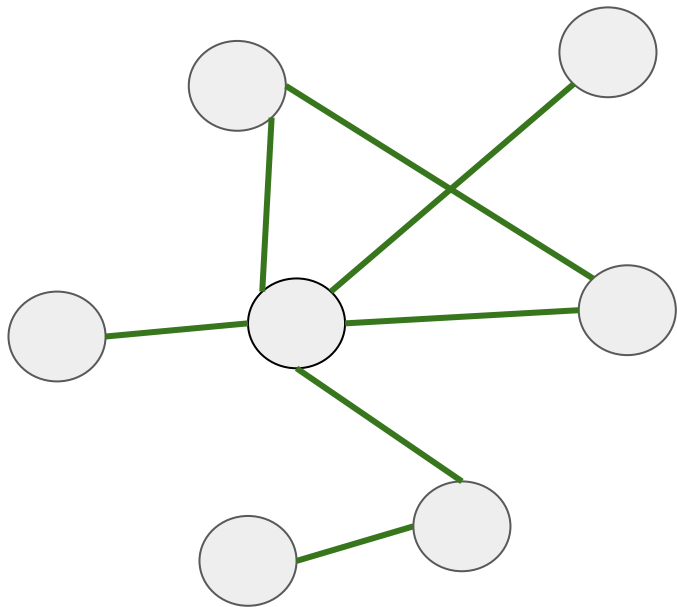
Network: structure made up of (social) actors that are interacting

Node/Vertex: each actor in the network (individual, village, species, etc.)

Nœud: un agent dans le réseau (individus, village, espèces, etc.)

Network Terms and Concepts

Les vocabulaires et concepts



Network: structure made up of (social) actors that are interacting

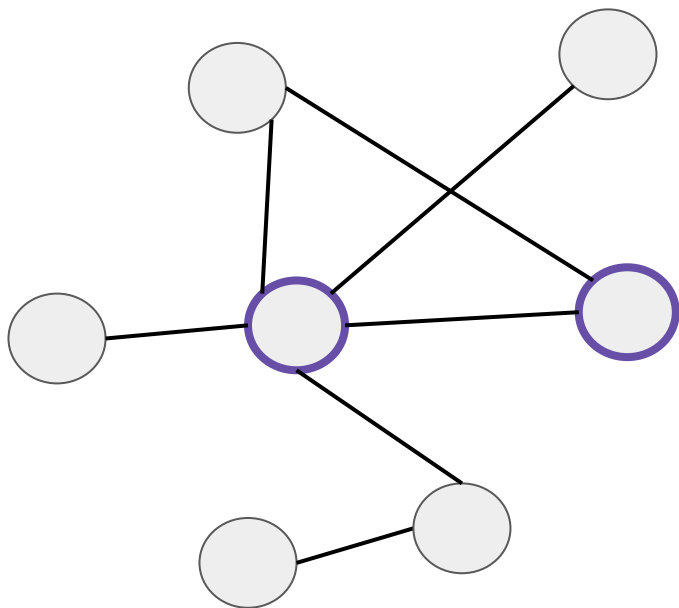
Node/Vertex: each actor in the network (individual, village, species, etc.)

Edge: the link or connection between two nodes. Can represent sharing information, space, pathogens, resources, anything

Lien: un lien ou une connection entre deux nœuds

Network Terms and Concepts

Les vocabulaires et concepts



Network: structure made up of (social) actors that are interacting

Node/Vertex: each actor in the network (individual, village, species, etc.)

Edge: the link or connection between two nodes. Can represent sharing information, space, pathogens, resources, anything

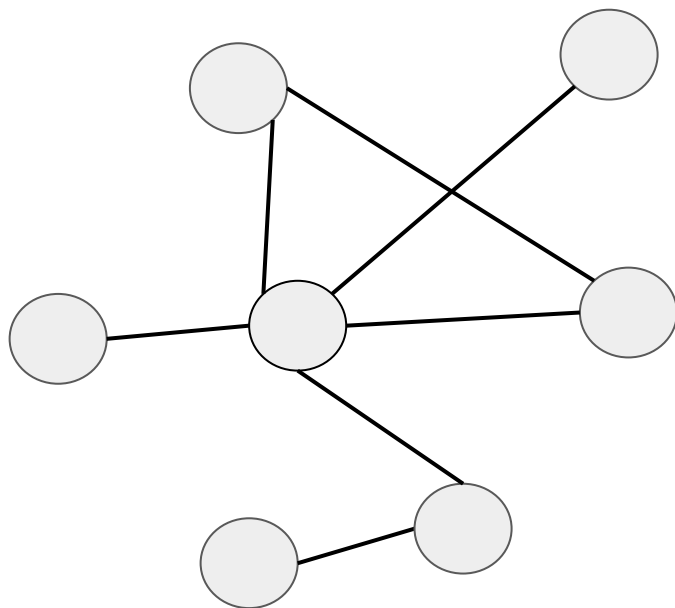
Dyad: two nodes or vertices connected by an edge

Dyades: deux nœuds connectés par leur lien

Network Terms and Concepts

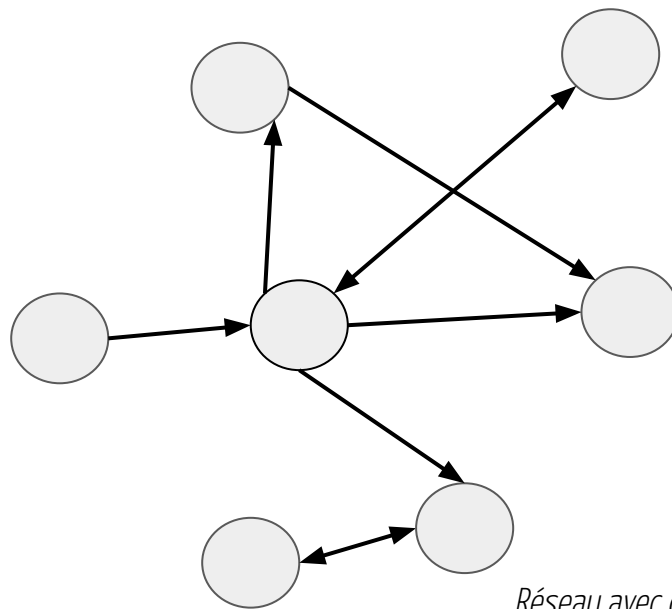
Les vocabulaires et concepts

Undirected network



Réseau sans direction

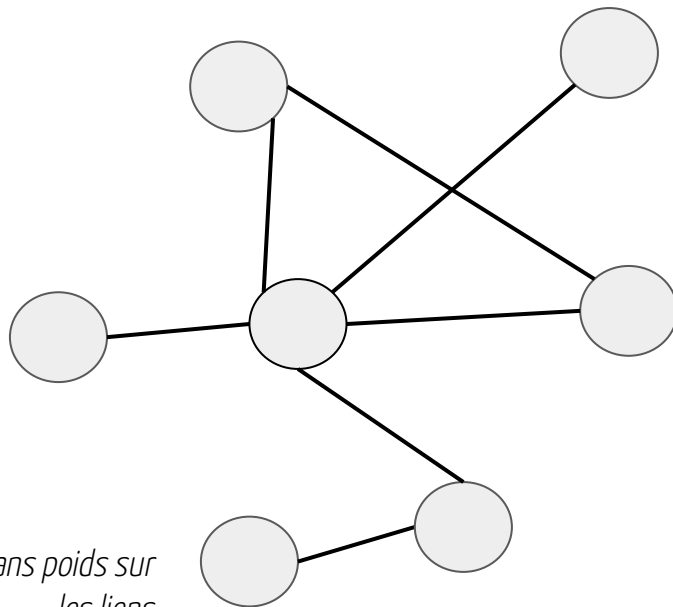
Directed network



Réseau avec direction

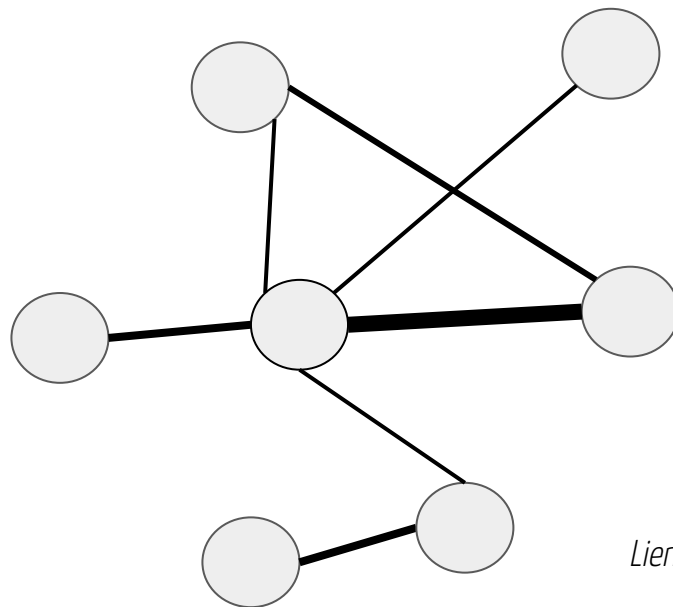
Network Terms and Concepts

**Unweighted
network**



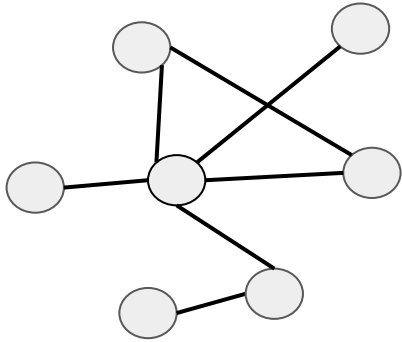
*Réseau sans poids sur
les liens*

Weighted network



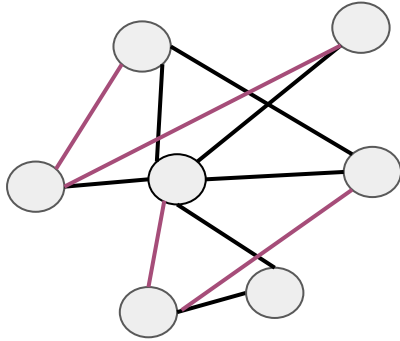
Liens avec poids

Network Terms and Concepts



Less dense network

Moins dense



More dense network

Plus dense

Network Density

Potential Connections:

$$PC = \frac{n * (n-1)}{2}$$

Network Density:

$$\frac{\text{Actual Connections}}{\text{Potential Connections}}$$

Examples:



Nodes (n): 2
Potential Connections: 1 $(2*1/2)$
Actual Connections: 1
Network Density: 100% $(1/1)$



Nodes (n): 3
Potential Connections: 3 $(3*2/2)$
Actual Connections: 3
Network Density: 100% $(3/3)$

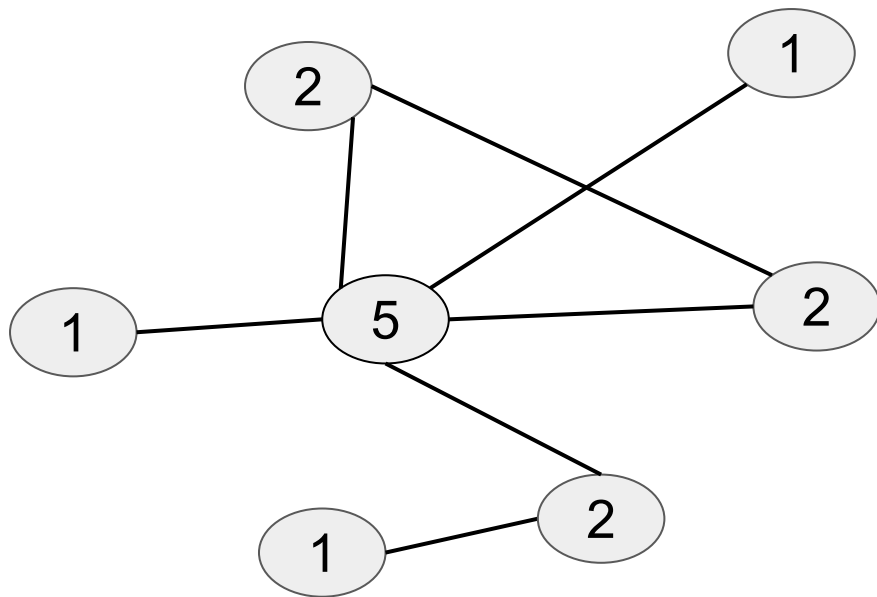


Nodes (n): 3
Potential Connections: 3 $(3*2/2)$
Actual Connections: 2
Network Density: 66.7% $(2/3)$

Network Terms and Concepts

Degree centrality (k): number of nodes each node is connected to

Degré de centralité: le nombre de liens sortant du nœud



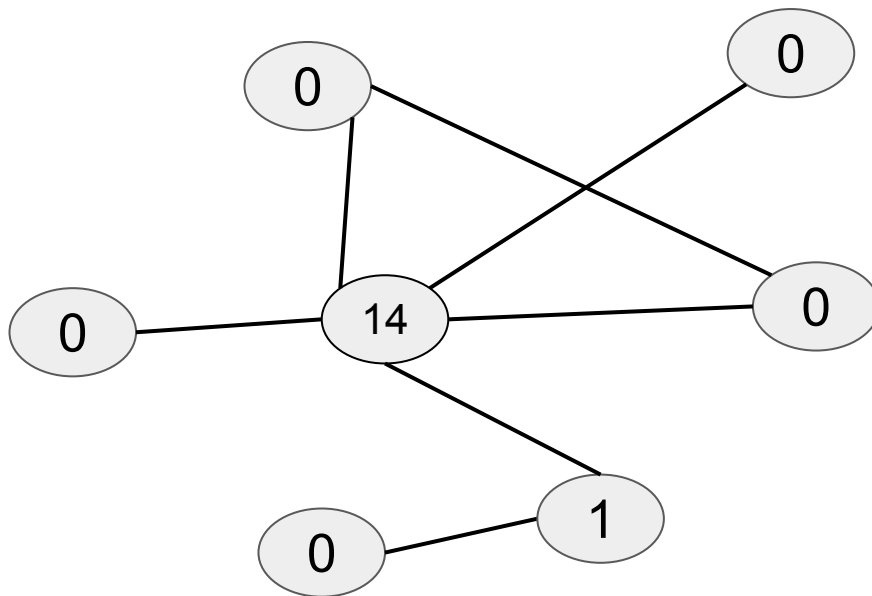
Network Terms and Concepts

Betweenness centrality : number of shortest paths that go through a node

"Betweenness centrality": le nombre de chemins les plus courts entre des autres dyades qui passe par un nœud

$$C_B(p_i) = \sum_{j=i}^N \sum_{k=1}^{j-1} \frac{g_{jk}(p_i)}{g_{jk}}$$

There are packages in R to calculate this, you don't have to do it by hand!



Lecture Outline

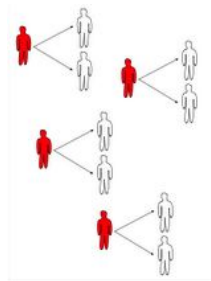
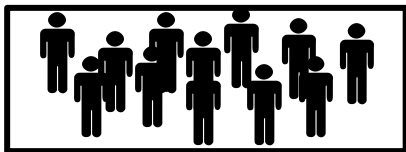
1. What are networks?
 - a. Terms and Concepts
2. How are networks used in the study of disease transmission?
 - a. Why do we need them in epidemiology?
 - b. Statistical analyses of network characteristics
 - i. Multiple Regression Quadratic Assignment Procedure (MRQAP)
3. Building a network in R: Interactions between researchers at ValBio

Why do we use networks in epidemiology?

Pourquoi utiliser les réseaux dans épidémiologie?

Classic epidemiological models assume full mixing (everyone can contact everyone)

Les modèles épidémiologiques classiques supposent un mélange complet (tout le monde peut contacter tout le monde)



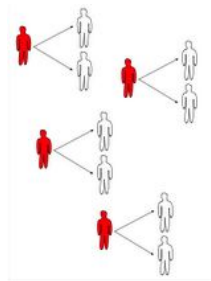
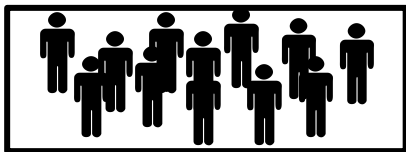
$$R_0 = 2$$

Why do we use networks in epidemiology?

Pourquoi utiliser les réseaux dans épidémiologie?

Classic epidemiological models assume full mixing (everyone can contact everyone)

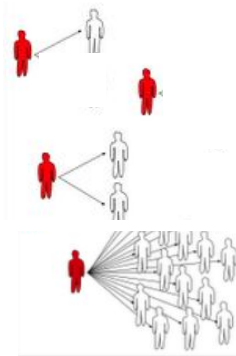
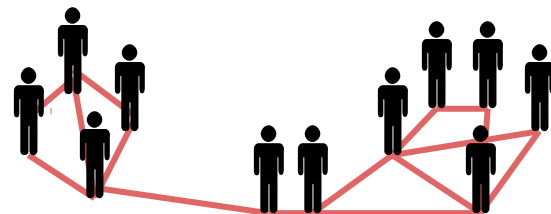
Les modèles épidémiologiques classiques supposent un mélange complet (tout le monde peut contacter tout le monde)



$$R_0 = 2$$

Reality is better represented by a network

La réalité est mieux représentée par un réseau



Average $R_0 = 2$,

But more realistic
heterogeneity

Most diseases are characterized by the Pareto principle

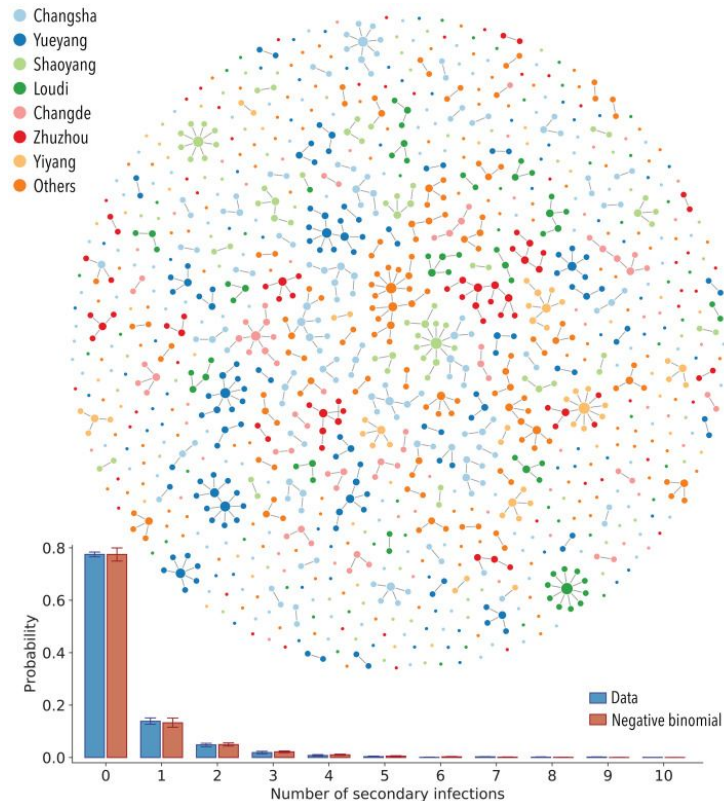
Les pluarts des maladies sont caractérisé par le théorie 'Pareto'

20% of individuals are responsible for 80% of transmission

20% des gens sont responsable pour 80% de transmission

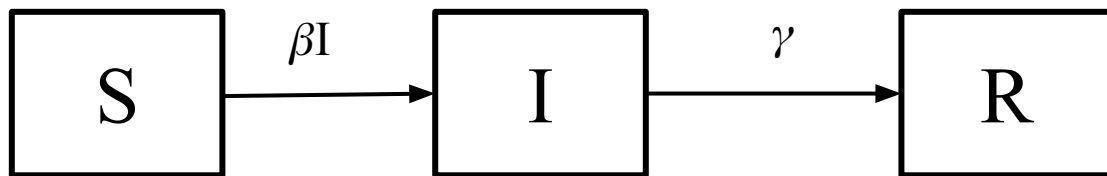
Can lead to superspreading

Peut conduire à 'superspreading'



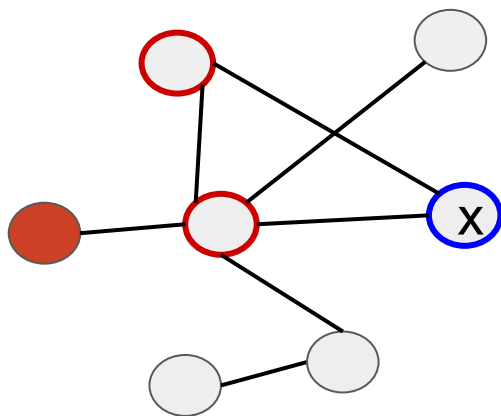
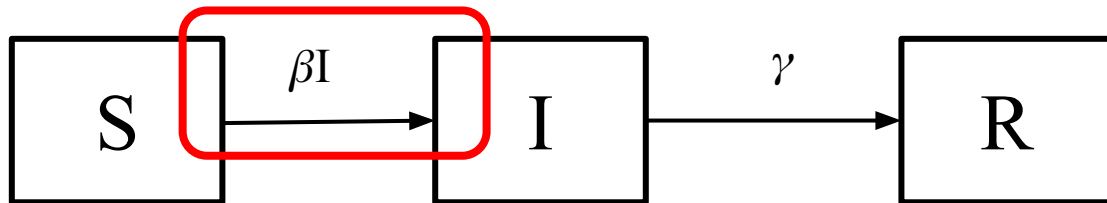
How does disease spread on a network?

Comment la transmission marche sur un réseau?



How does disease spread on a network?

Comment la transmission marche sur un réseau?



Node X can only be exposed if its neighboring nodes are infected

Nœud X peut être exposé seulement par ses voisins

Often modeled with simulations or individual based models

Souvent modéliser avec les simulations ou avec "individual based models"

Analyzing and comparing networks with statistics

Analyses et comparaison avec statistiques

Ex: Are two individuals that share an edge more likely to share another characteristic?

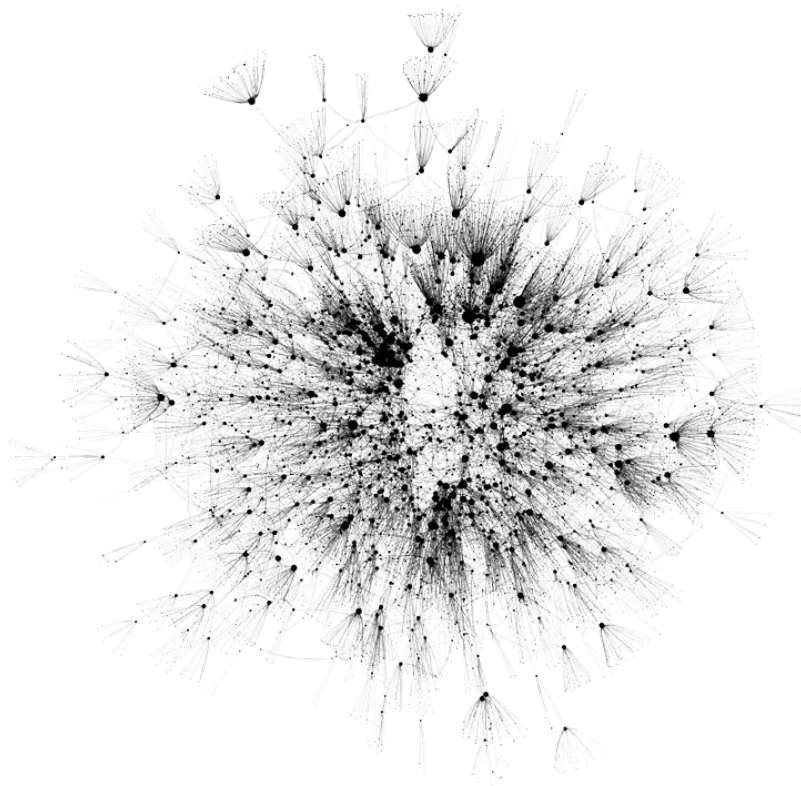
Est-ce que deux nœuds qui sont en contact sur un réseau plus probable d'avoir un autre caractéristique en commun?

Normally, we would use a form of regression to test this, but, network data is **non-independent**, a requirement of regression

Normalement, on utilise la régression pour ce questions, mais les données de réseaux sont pas indépendants, qui est obligatoire pour les regression standards

The Quadratic Assignment Procedure Regression (QAPR) controls for this using permutation methods

Le 'Quadratic Assignment Procedure Regression (QAPR) contrôle pour ce biais avec un méthode de permutation



MRQAP (Quadratic Assignment Procedure)

A regression that uses matrices for response and explanatory variables

Une type de régression qui utilisent les matrices pour les variables dépendantes (Y) et les variables indépendance (X)

Controls for other variables by comparing observed dataset to a “null model” created by permuting the node characteristics or edges of a social network

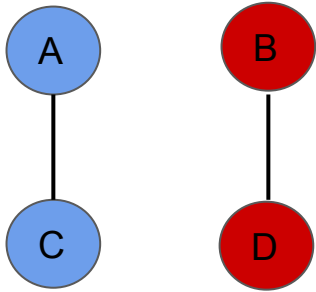
Contrôle d'autres variables en comparant les données observées à un "modèle nul" créé en permutant les caractéristiques des nœuds ou des liens d'un réseau social

Example: Can a matrix of social contacts be predicted by a matrix of football fandom?

Exemple: Est-ce qu'une matrice de contacts sociaux peut être prédite par une matrice de fans de football ?

Ex: Can a matrix of social contacts be predicted by a matrix of football fandom?

Exemple: Est-ce qu'une matrice de contacts sociaux peut être prédite par une matrice de fans de football ?



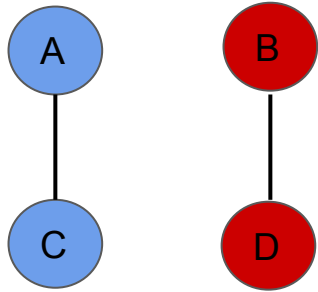
Barcelona Fans



Real Madrid Fans

Ex: Can a matrix of social contacts be predicted by a matrix of football fandom?

Exemple: Est-ce qu'une matrice de contacts sociaux peut être prédite par une matrice de fans de football ?



Barcelona Fans



Real Madrid Fans

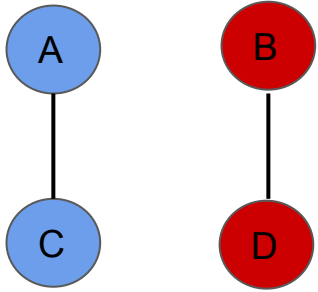
	A	B	C	D
A	-	0	1	0
B	0	-	0	1
C	1	0	-	0
D	0	1	0	-

Social Contact Matrix

Matrice de réseau social

Ex: Can a matrix of social contacts be predicted by a matrix of football fandom?

Exemple: Est-ce qu'une matrice de contacts sociaux peut être prédite par une matrice de fans de football ?



Barcelona Fans



Real Madrid Fans

	A	B	C	D
A	-	0	1	0
B	0	-	0	1
C	1	0	-	0
D	0	1	0	-

Social Contact Matrix

Matrice de réseau social

	A	B	C	D
A	-	0	1	0
B	0	-	0	1
C	1	0	-	0
D	0	1	0	-

Football Matrix

Matrice des fans du foot

A working example in R

Cases of an unknown pathogen are threatening the Great Republic of E2M2. Public health officials launch an investigation to evaluate the risks of spread of the disease in the community and help mitigate risks

Their Questions:

- Dr. Anonymous would like to know if there is a group of individuals in this community that have more (or less) interactions with other individuals?
- Because of the apparent social structure in the community, Dr. Anonymous is interested in knowing are individuals from the same institution (“students”, “mentors”, “instructors”) or individuals of the same gender more likely to interact with each other?

The Data: 79 E2M2 citizens record whether they spent time with another individual of the Republic in the previous 3 days

Une exemple en R

Une épidémie d'un agent pathogène inconnu menace la Grande République d'E2M2. Les responsables de la santé publique lancent une enquête pour évaluer les risques de propagation de la maladie dans la communauté et aider à atténuer les risques.

Leurs questions :

- Le Dr. Anonyme aimerait savoir s'il existe un groupe d'individus dans cette communauté qui a plus (ou moins) d'interactions avec les autres individus ?
- En raison de la structure sociale apparente de la communauté, le Dr. Anonyme aimerait savoir si les individus de la même institution (" étudiants ", " menteurs ", " instructeurs ") ou les individus du même sexe sont plus probables d'interagir les uns avec les autres ?

Les données : 79 citoyens d'E2M2 indiquent s'ils ont passé du temps avec un autre individu de la République au cours des trois jours précédents.

Let's investigate!



But first,
5 minute break!