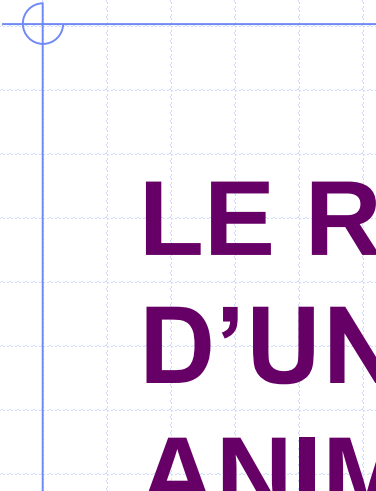




LE R_0 ET L'ÉMERGENCE D'UNE MALADIE HUMAINE OU ANIMALE

Karine Chalvet-Monfray

Avant propos

- ◆ De formation vétérinaire, ayant travaillé sur des maladies humaines, animales et communes aux hommes et aux animaux (zoonoses),
 - > concept « One Health » une approche intégrée de la santé Humaine, Animale et Environnementale dans le but de résoudre les problèmes de santé dans leur ensemble

Introduction

Les siècles derniers ont été ceux de la médecine conquérante: asepsie, vaccination, antibiotiques...

⇒ effondrement de la mortalité par maladies infectieuses chez l'homme

⇒ éradication de la variole

⇒ La fin des microbes pour l'an 2000?

Mais...

Les dernières décennies sont celles de la désillusion:

- Persistance de certaines maladies dans certains pays

Exemple: Coqueluche, fièvre aphteuse

- Apparition de « nouvelles maladies »

Exemple: la grippe et les grippes

- Extension de l'aire géographique

Exemple: fièvre catarrhale ovine

- Réapparition dans certaines régions indemnes

Exemple: tuberculose humaine et animale

On assiste à l'émergence ou à la réémergence de maladies humaines ou animales

Notion d'émergence

Une notion proposée récemment en médecine humaine:

Infections apparues récemment dans une population, ou qui existaient précédemment mais dont l'incidence ou l'aire géographique augmentent rapidement

Stephen Morse, 1989, 1993, 1995.... 2012

- extension aux maladies animales
- notion réservée aux maladies infectieuses, extension non reconnue aux maladies non infectieuses (d'origine toxique, nutritionnelle, métabolique ou immunologique)

Un enjeu majeur

En santé publique

- 73% des maladies infectieuses émergentes chez l'homme sont des zoonoses.
- Bien qu'économiquement peu importante mais il existe le risque d'être économiquement très élevé (e.g., 3 000 milliards de dollars dans le cas d'une pandémie grippale).

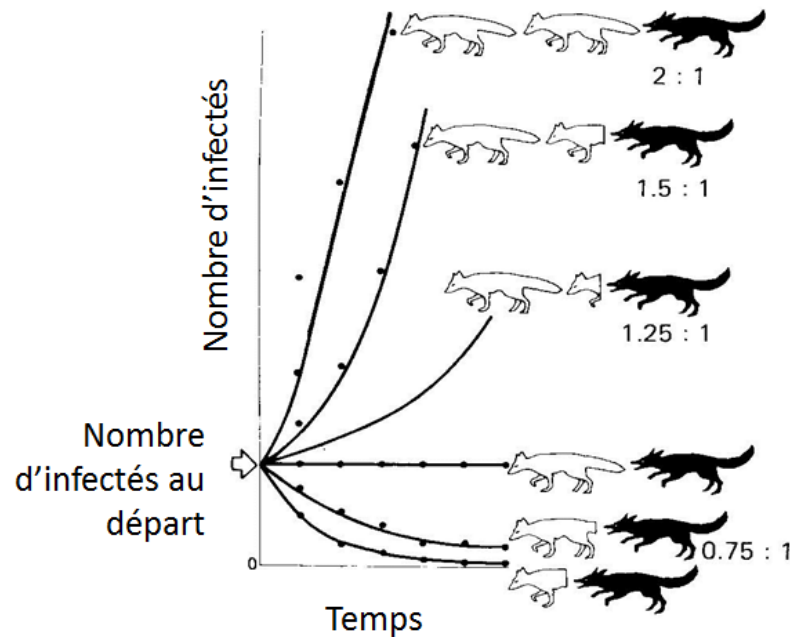
En santé animale

- Coûts directs: mortalité, abattage, restriction de mouvements, tests
- Coûts indirects: diminution de consommation des produits animaux, impact sur le tourisme
- Remise en cause des modes de vie

R_0 qu'est-ce que c'est ?

Taux de reproduction de base

Définition: nombre **moyen** de **cas secondaires** issus d'un unique cas primaire dans une population entièrement saine



Objectifs pédagogiques

- ◆ Connaître la signification du R_0
- ◆ Comprendre son intérêt et ses limites dans le cadre d'une émergence
- ◆ Découvrir des applications pratiques en santé publique

Plan

1. Emergence d'une maladie humaine ou animale

- a. Causes d'émergence
- b. Chronologie d'une émergence

2. R_0 , le taux de reproduction de base

- a. Modélisation de la transmission
- b. Analyse du modèle par R_0
- c. du R_0 et la propagation de la maladie

3. Estimation du R_0 et applications

- a. Estimation à partir de données d'épidémie
- b. Applications
- c. Limites du R_0

Plan

1. Emergence d'une maladie humaine ou animale

- a. Causes d'émergence
- b. Chronologie d'une émergence

2. R_0 , le taux de reproduction de base

3. Estimation du R_0 et applications

Exemple du virus de West-Nile aux USA

Incidence annuelle de forme nerveuse de la maladie de West-Nile en 1999



Exemple du virus de West-Nile aux USA

Incidence annuelle de forme nerveuse de la maladie de West-Nile en 2000



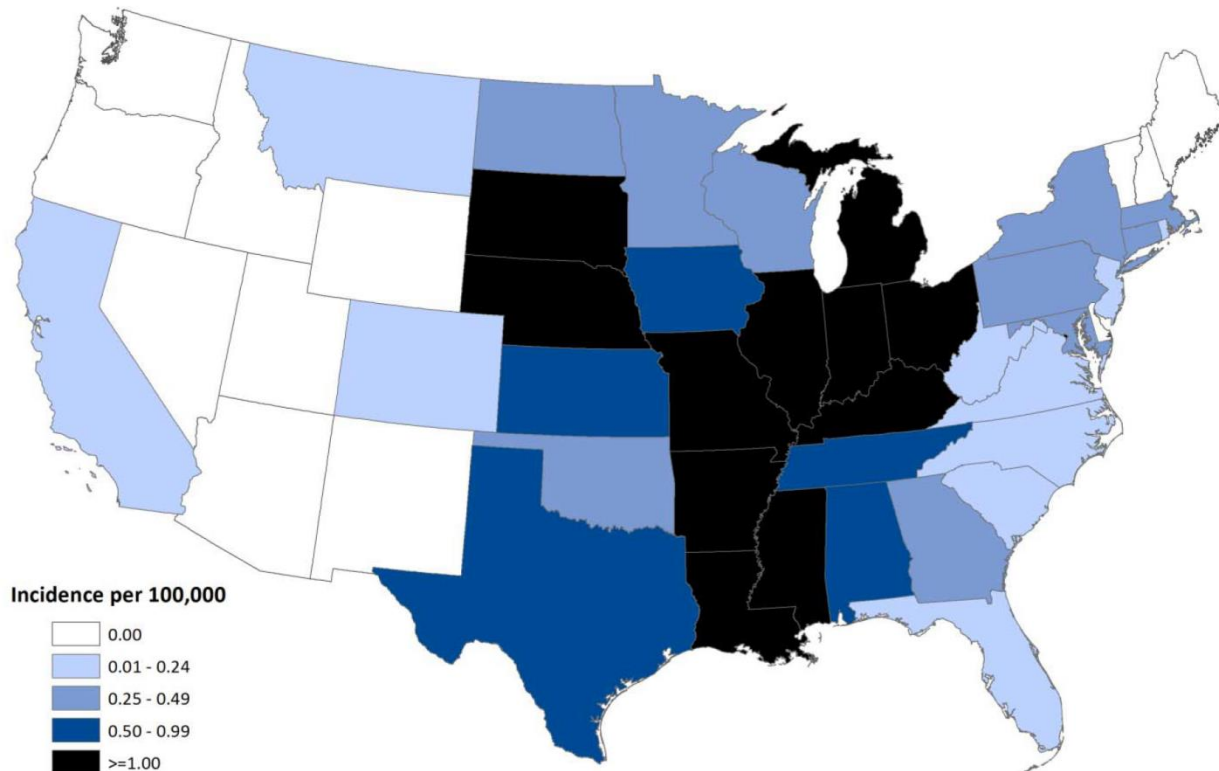
Exemple du virus de West-Nile aux USA

Incidence annuelle de forme nerveuse de la maladie de West-Nile en 2001



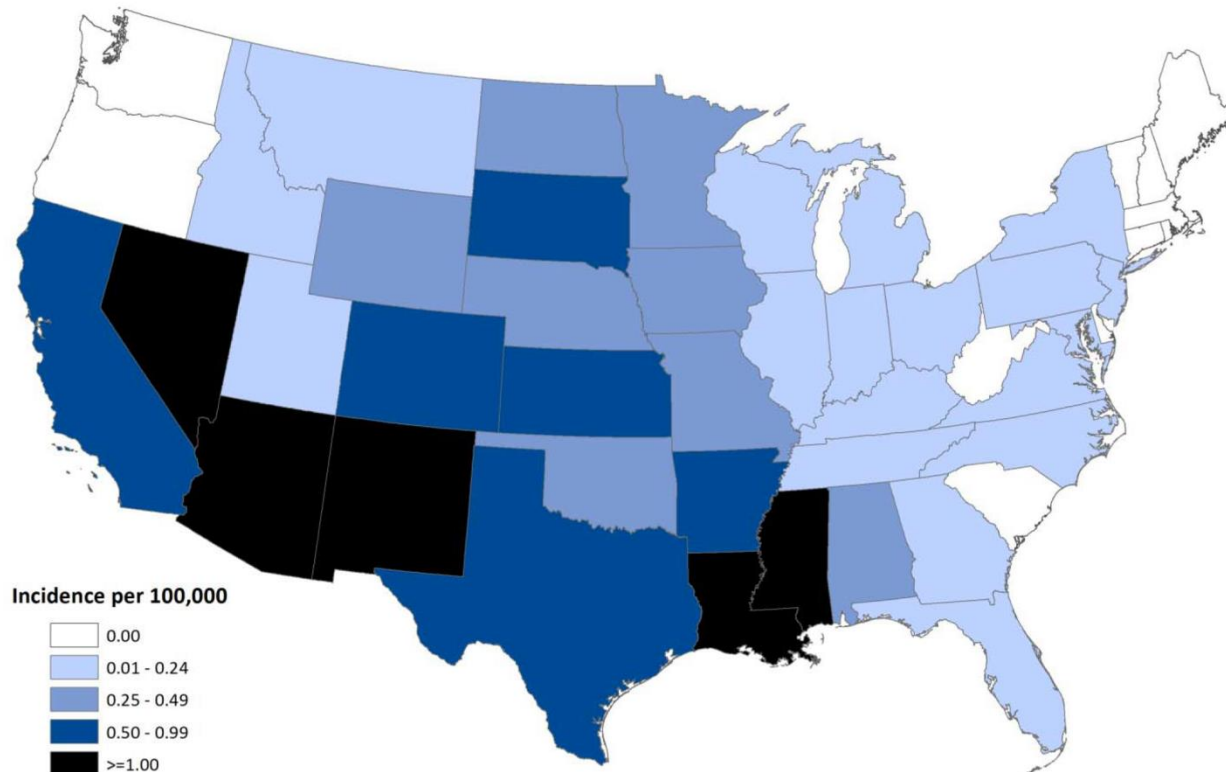
Exemple du virus de West-Nile aux USA

Incidence annuelle de forme nerveuse de la maladie de West-Nile en 2002



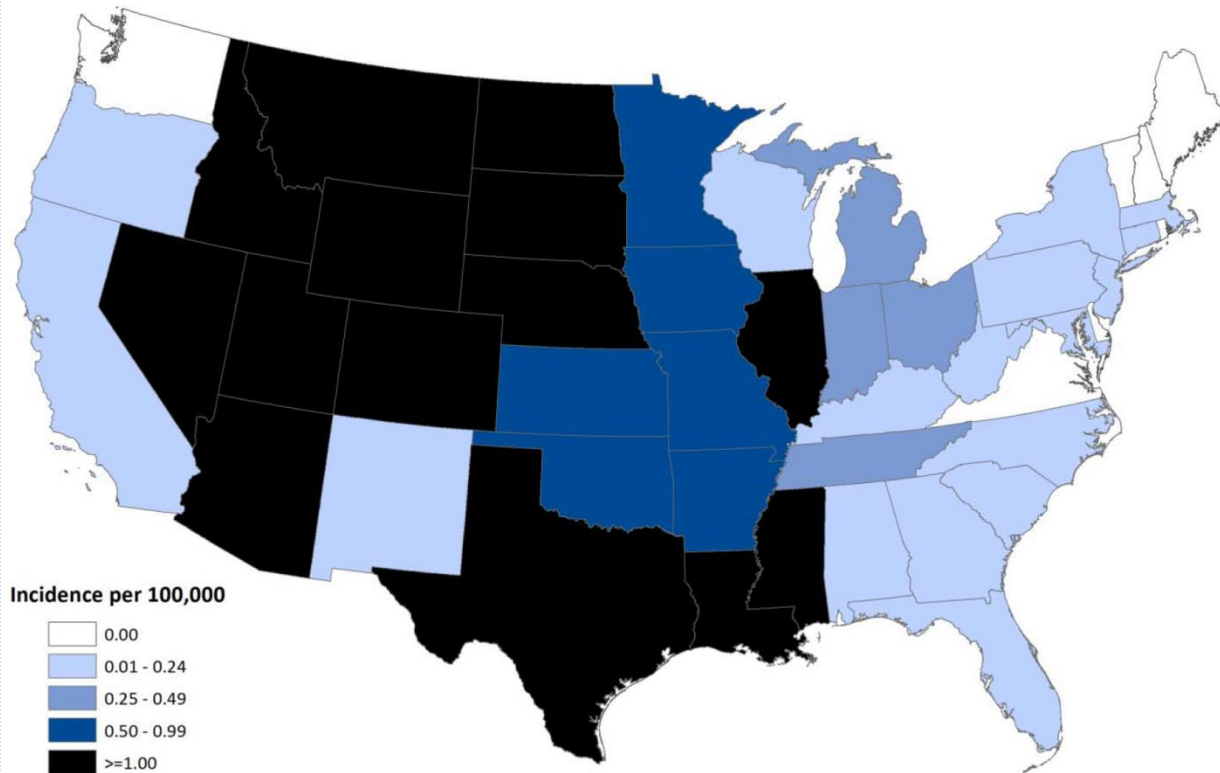
Exemple du virus de West-Nile aux USA

Incidence annuelle de forme nerveuse de la maladie de West-Nile en 2004



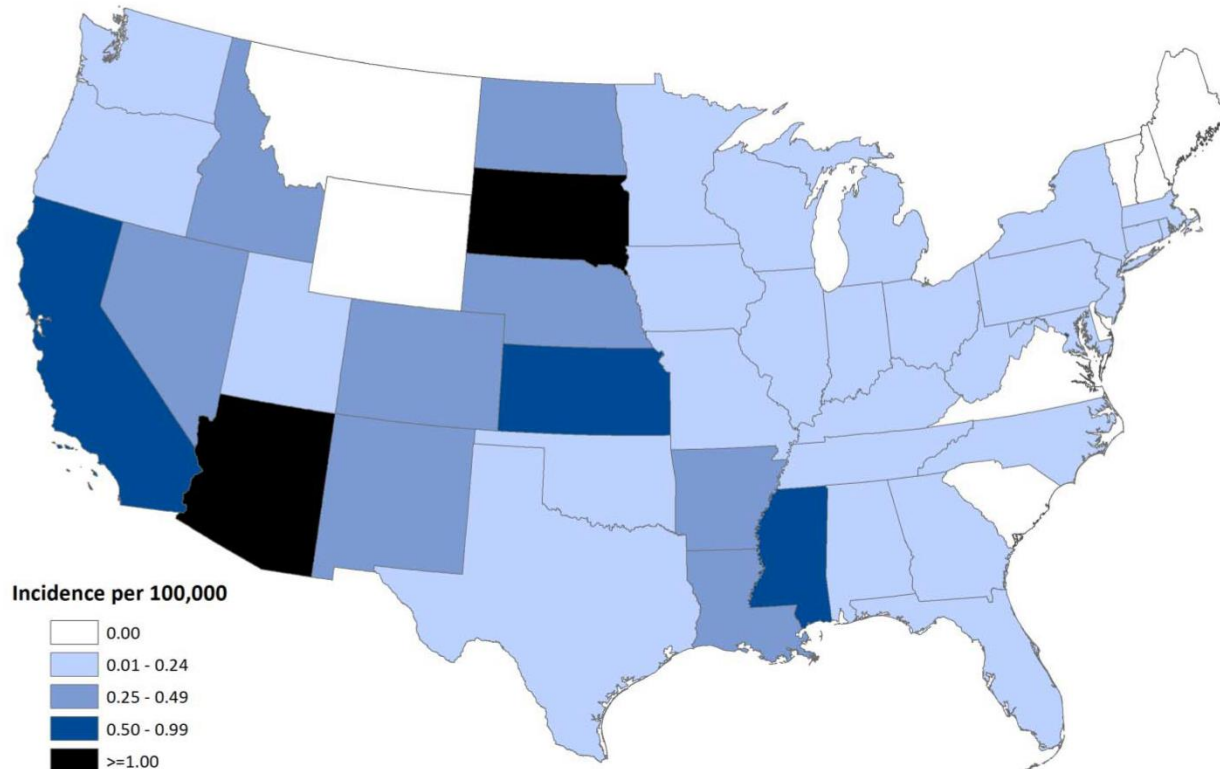
Exemple du virus de West-Nile aux USA

Incidence annuelle de forme nerveuse de la maladie de West-Nile en 2006



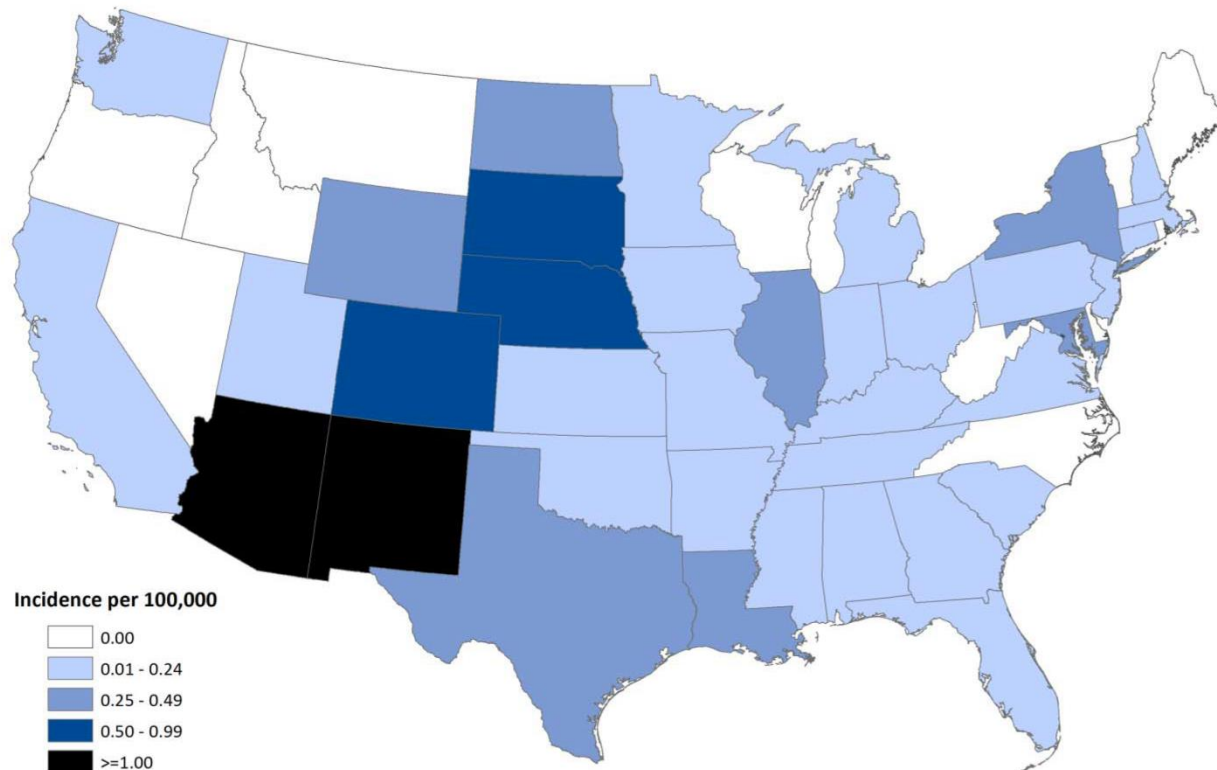
Exemple du virus de West-Nile aux USA

Incidence annuelle de forme nerveuse de la maladie de West-Nile en 2008



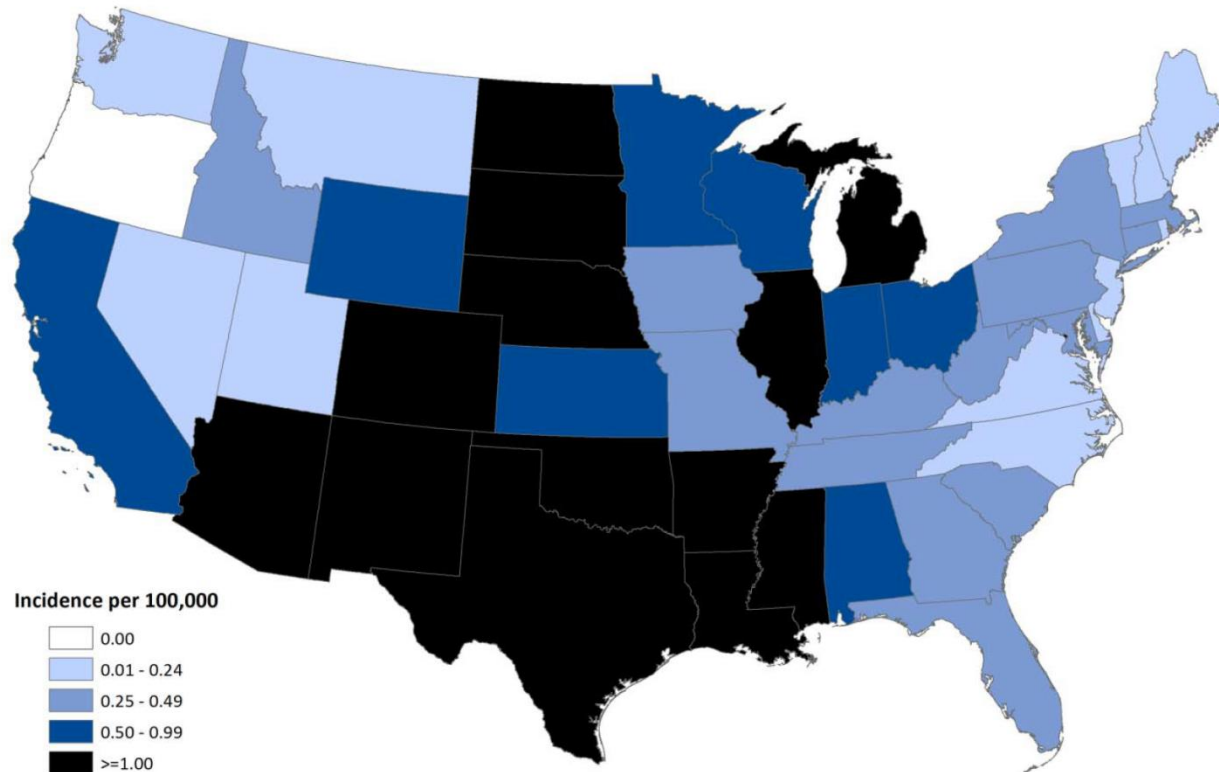
Exemple du virus de West-Nile aux USA

Incidence annuelle de forme nerveuse de la maladie de West-Nile en 2010



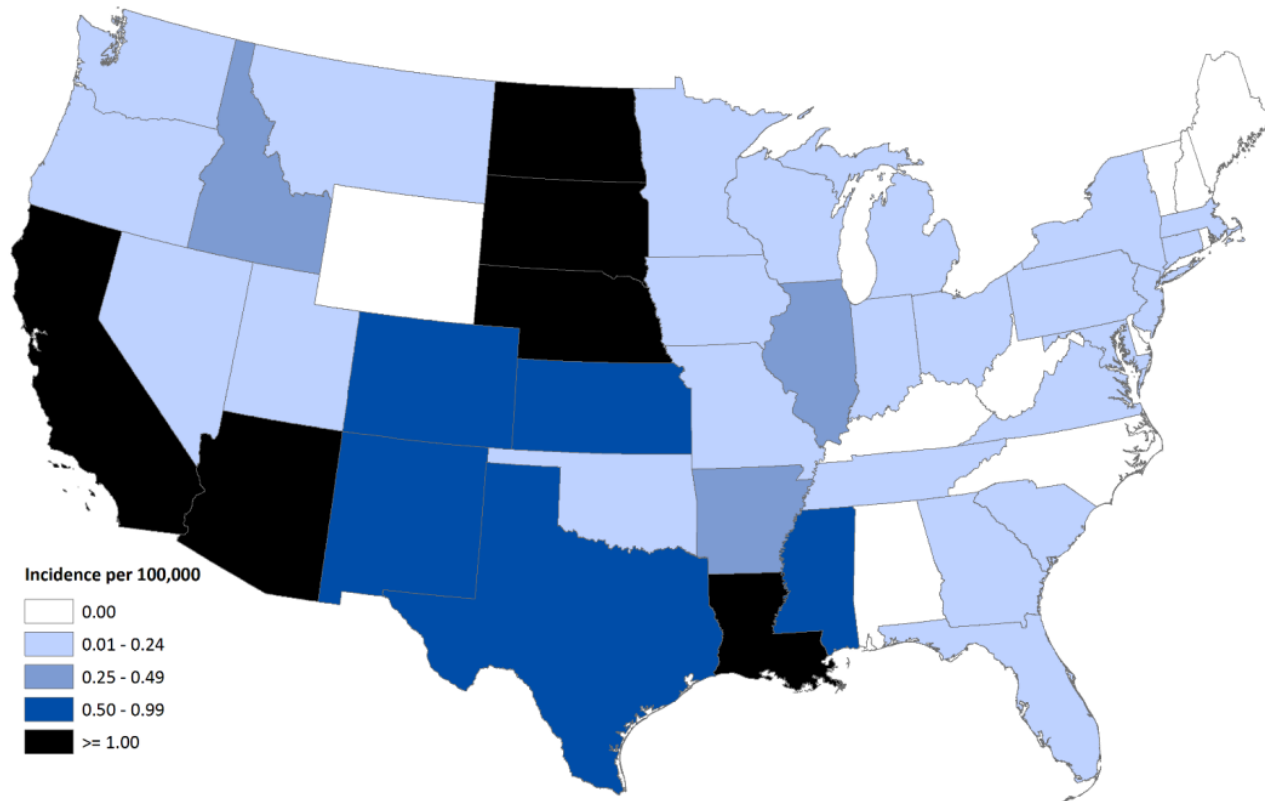
Exemple du virus de West-Nile aux USA

Incidence annuelle de forme nerveuse de la maladie de West-Nile en 2012



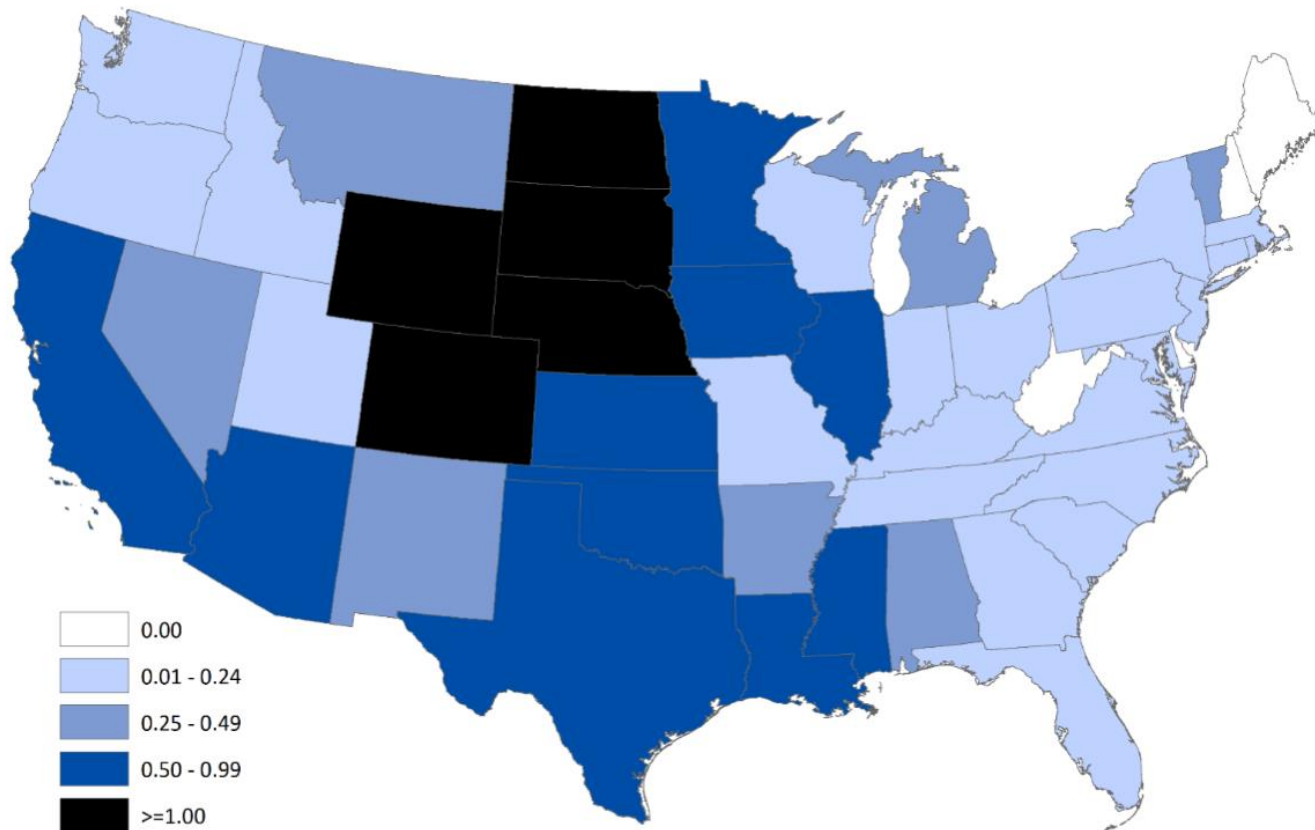
Exemple du virus de West-Nile aux USA

Incidence annuelle de forme nerveuse de la maladie de West-Nile en 2014



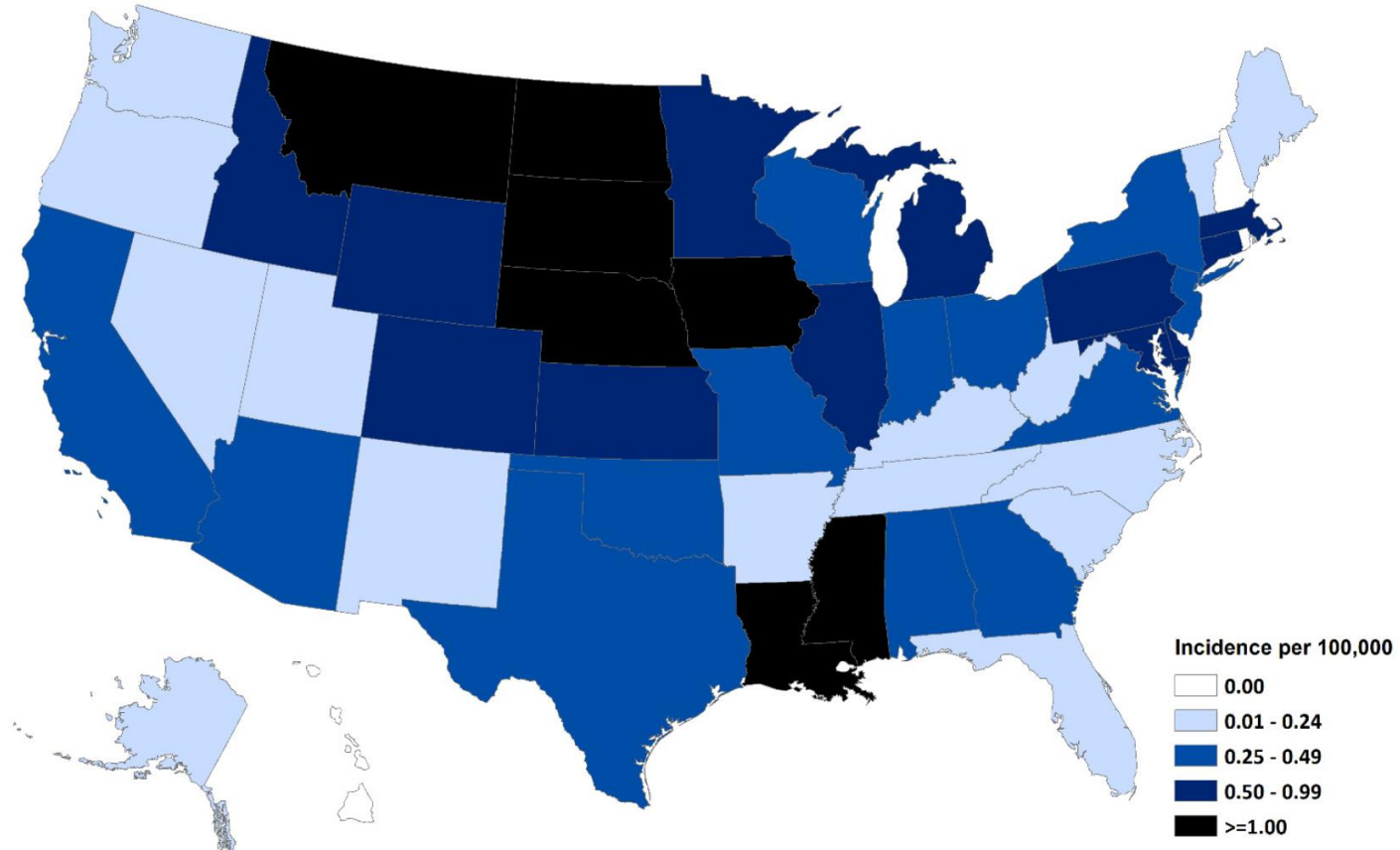
Exemple du virus de West-Nile aux USA

Incidence annuelle de forme nerveuse de la maladie de West-Nile en 2016



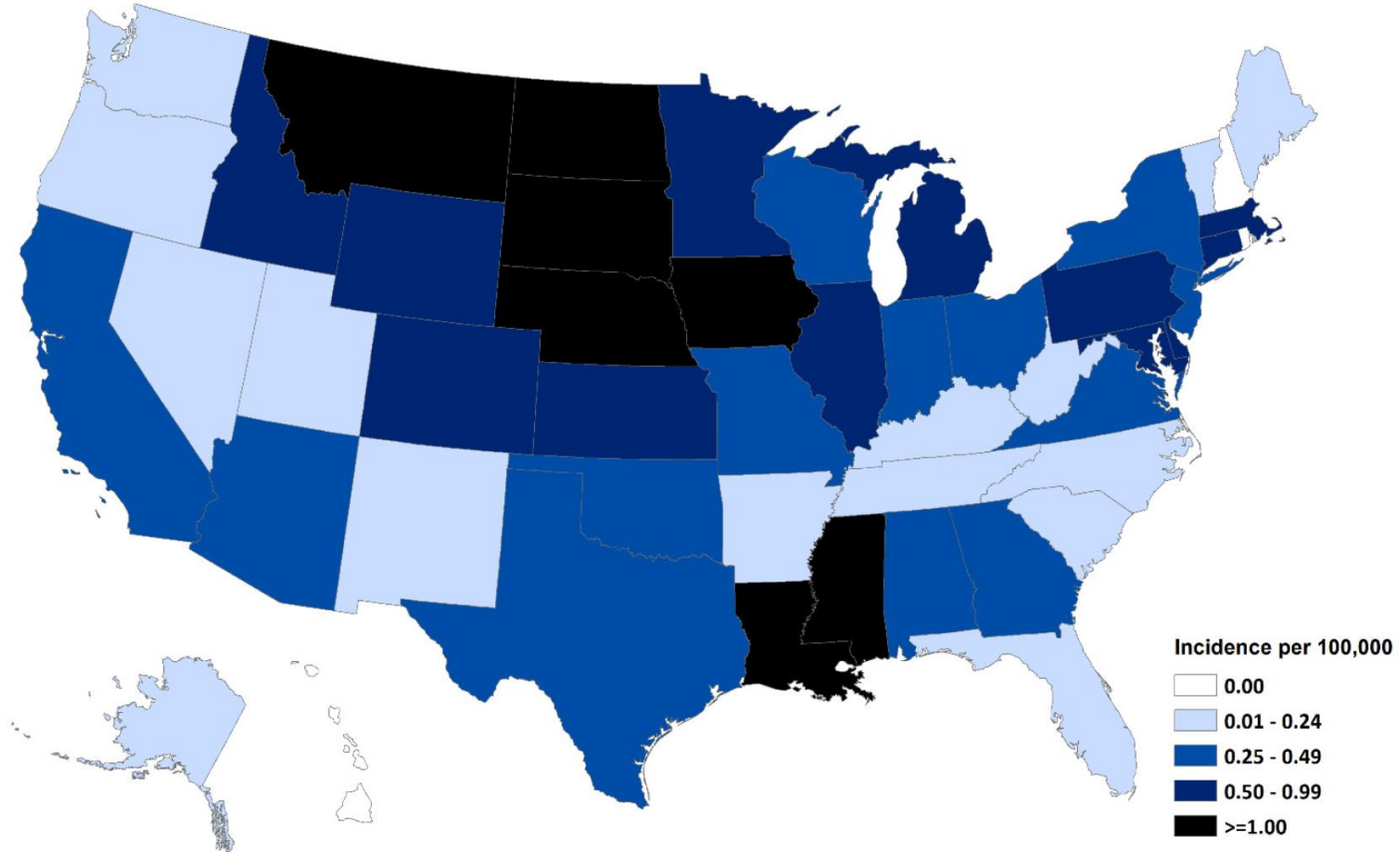
Exemple du virus de West-Nile aux USA

Incidence annuelle de forme nerveuse de la maladie de West-Nile en 2018



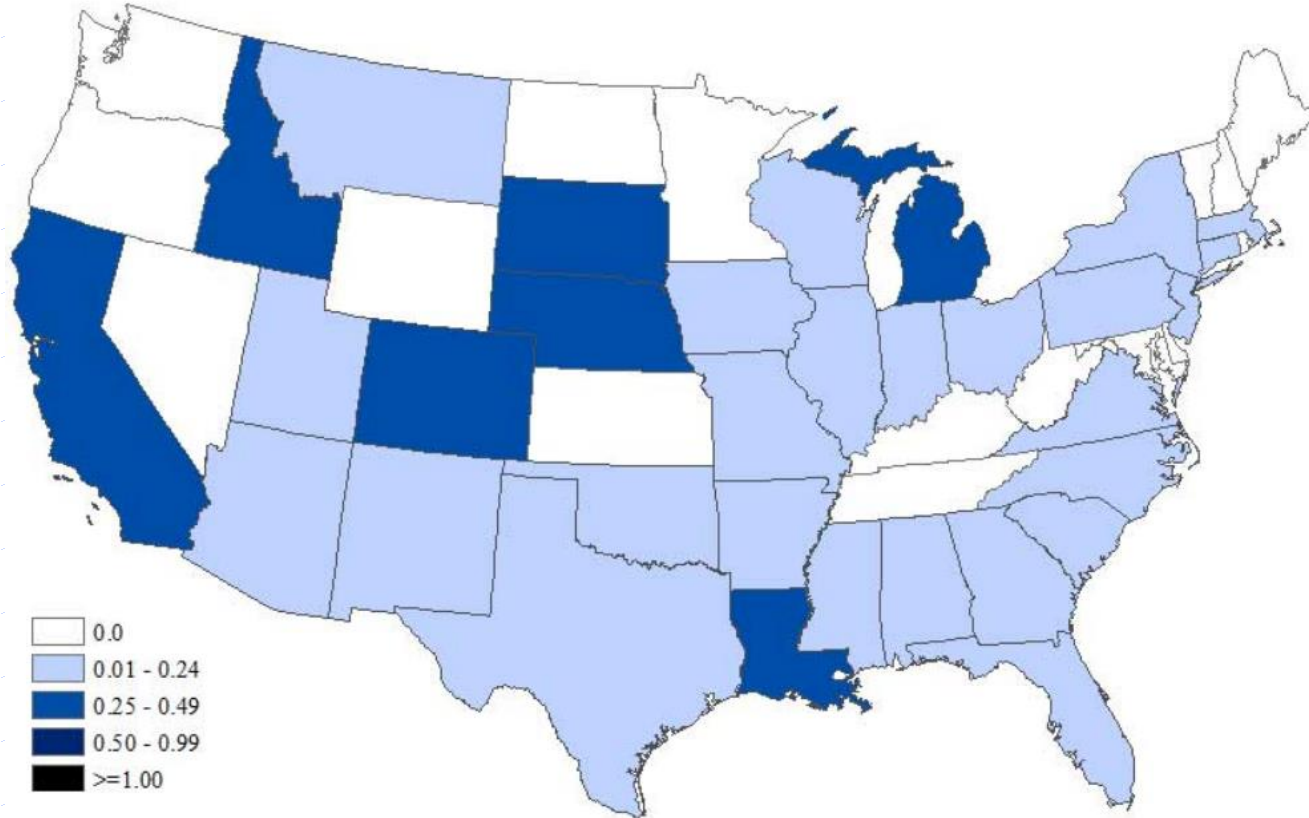
Exemple du virus de West-Nile aux USA

Incidence annuelle de forme nerveuse de la maladie de West-Nile en 2019 (provisoire)



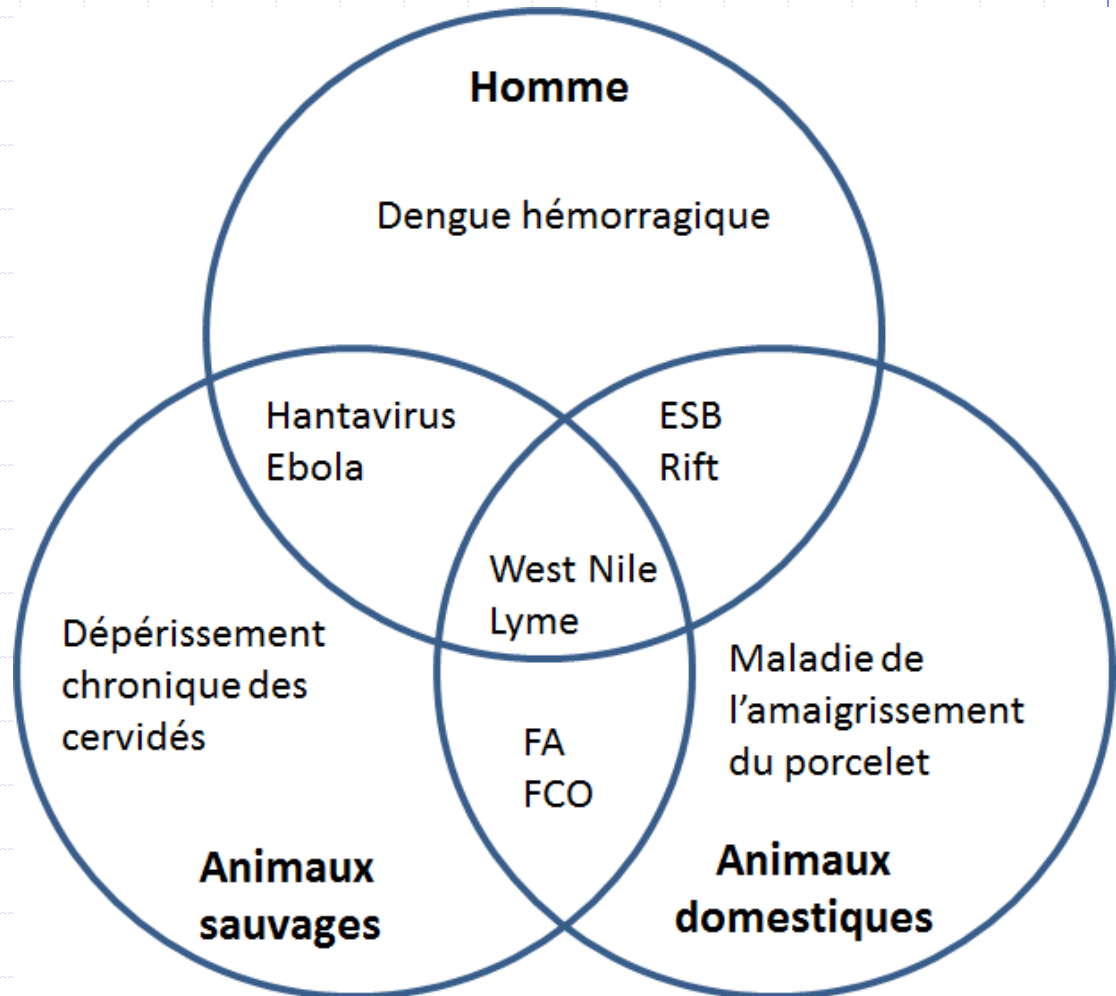
Exemple du virus de West-Nile aux USA

Incidence annuelle de forme nerveuse de la maladie de West-Nile en 2020 (provisoire)

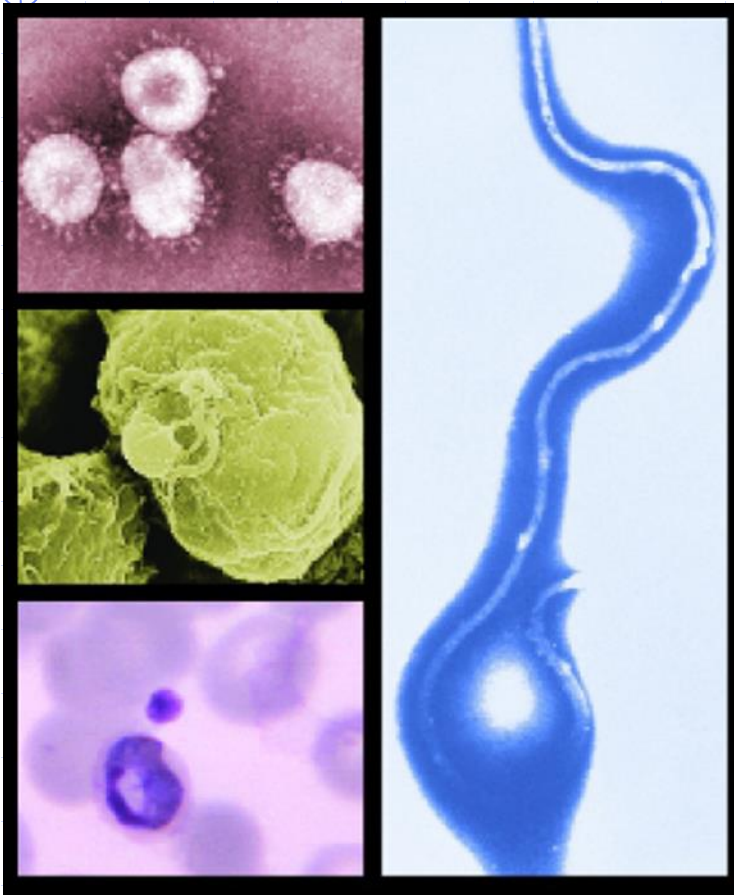


1.a. Causes de l'émergence

A l'interface
entre animaux
sauvages,
animaux
domestiques et
homme



Les agents pathogènes évoluent



Virus, bactéries,
arthropodes: génération
rapide d'une grande
variabilité génétique

Recombinaisons,
réarrangements génomiques

Exemple: virus grippaux

Les milieux changent

Modifications d'usage des sols: déforestation, mise en place de cultures, reforestation...

Changement climatique



=> Modification du drainage, de l'ensoleillement, contacts avec la faune locale, pullulation d'espèces, modification de distribution d'espèces vectrices...

Exemple: maladie de Lyme

Les échanges s'intensifient



Augmentation des vitesses et des distances des échanges, commerce d'espèces exotiques et sauvages
=> Risque d'introduction d'agents infectieux, de vecteurs, de réservoirs

Exemple: Fièvre catarrhale ovine (2006), Maladie de Schmallenberg (2011)

Les systèmes d'élevage évoluent

Intensification de la production agricole et des densités animales, contacts intra- et inter-espèces plus fréquents

Exemple: grippes

Sélection de lignées: faible variabilité génétique, critères de production privilégiés au détriment des critères de résistance/rusticité

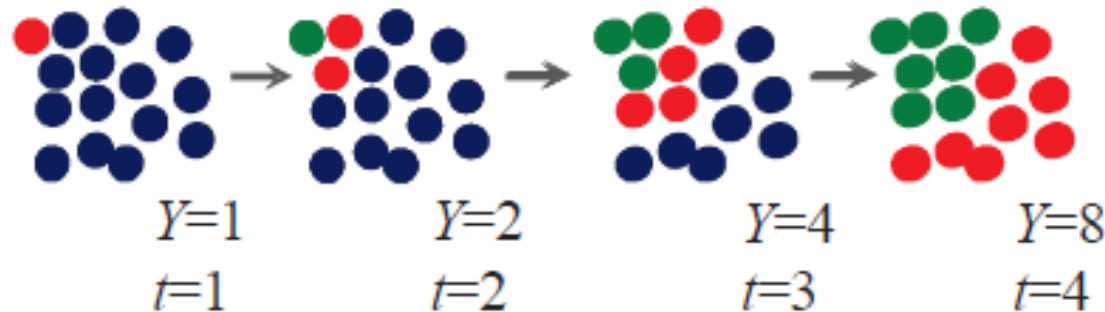


Bilan: la phase de préémergence

Ces causes peuvent favoriser **3 processus**:

- Apparition d'un nouvel agent... à partir de souches existantes, dans la faune sauvage notamment
- Adaptation d'un agent existant à une nouvelle espèce hôte
- Augmentation d'incidence ou d'aire géographique

1.b. Chronologie d'une émergence



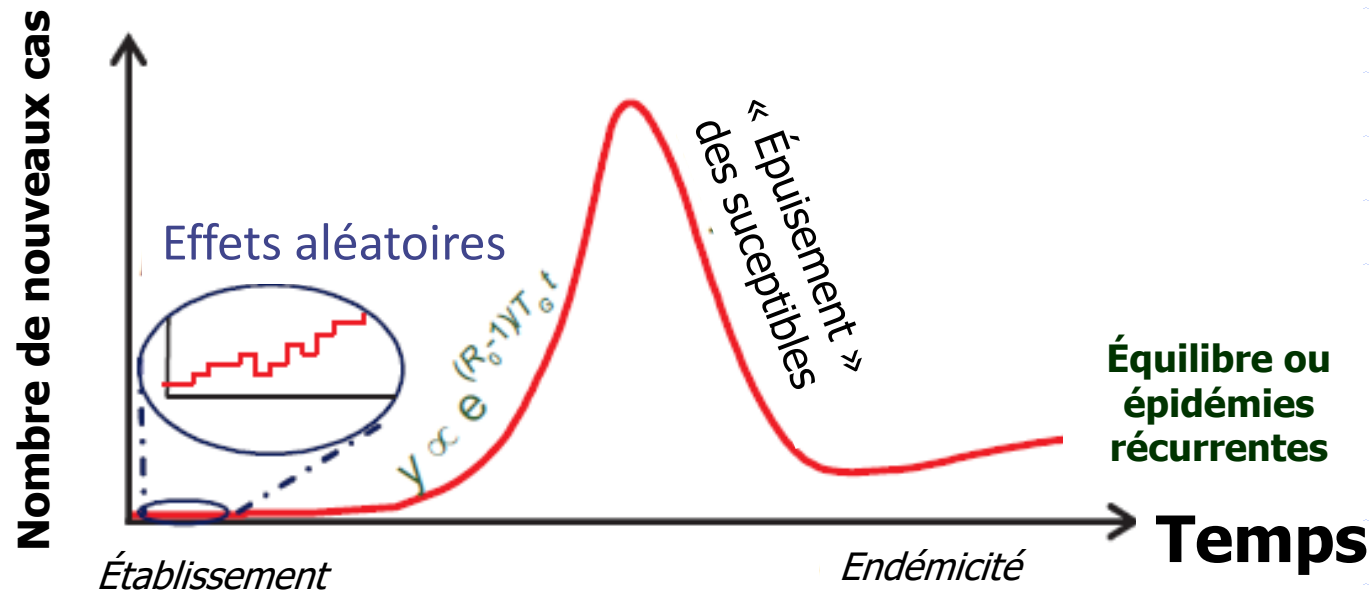
À $t = 1$, un premier cas d'infection
dans une population saine

à $t = 2$, apparition de nouveaux cas
guérison ou disparition des infectés

... épidémie

Dans la population

Evolution du nombre de nouvelles infections au fil du temps:

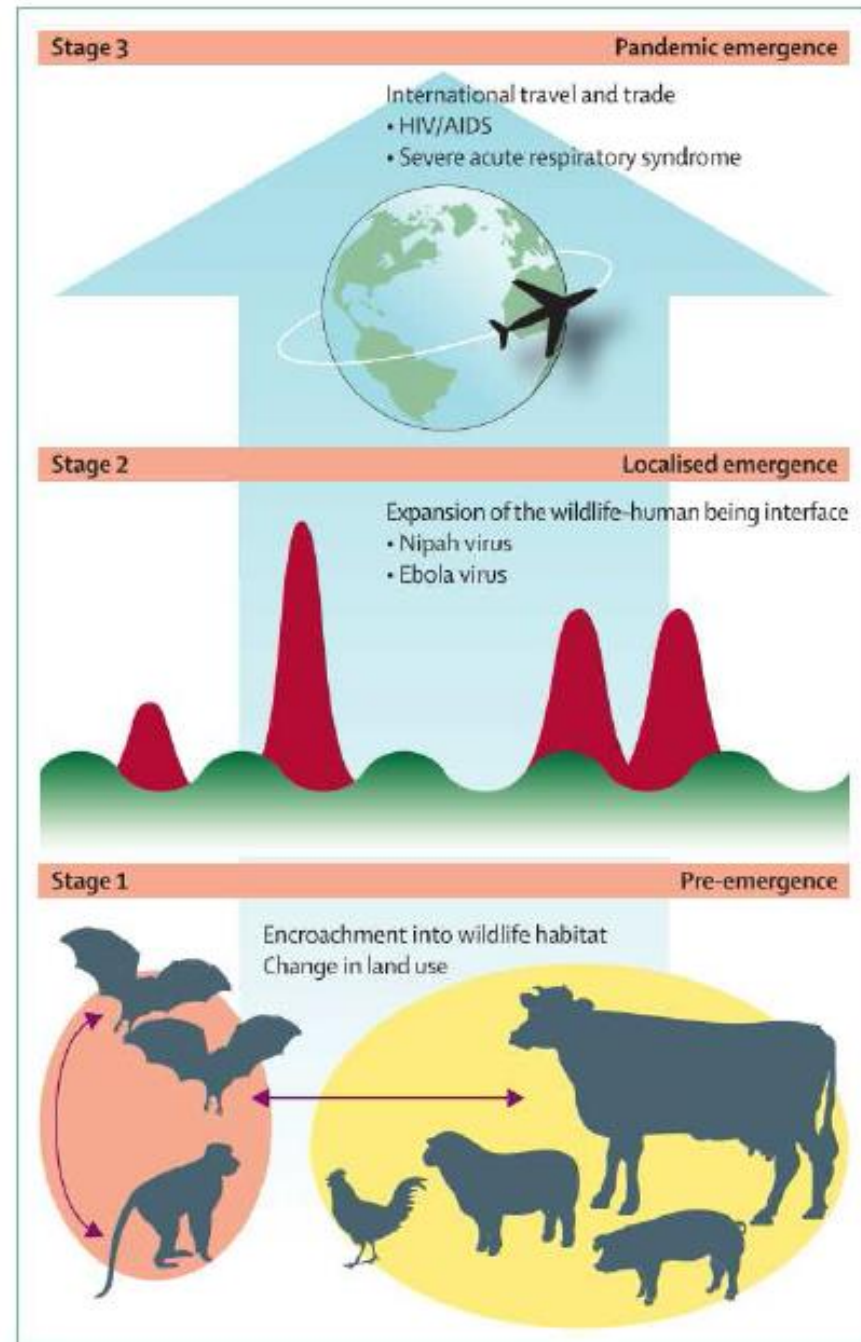


Changement d'échelle

3. Echelle nationale/mondiale:
Emergence globale

2. Echelle population:
Emergence(s) locale(s)

1. Echelle individu:
Préémergence



1. Emergence d'une maladie humaine ou animale

A retenir :

- (ré-)apparition, augmentation d'incidence ou extension de l'aire géographique de maladies infectieuses
- Causes: modification des agents pathogènes, de l'environnement, des échanges, des systèmes de production...
- Chronologie précise à l'échelle des individus, des populations puis entre populations → possibilité de formalisation

Plan

1. Emergence d'une maladie humaine ou animale

2. R_0 , le taux de reproduction de base

- a. Modélisation de la transmission
- b. Analyse du modèle
- c. Interprétation du R_0

3. Estimation du R_0 et applications

2.a. Modélisation de la transmission

- ◆ **Modèle :**

Représentation simplifiée de la réalité étudiée.

Doit être aussi fidèle que possible à l'élément modélisé

Doit répondre à un objectif préalablement défini.

- ◆ **Modèle dynamique :**

modèle représentant l'évolution d'un système ou d'un mécanisme dans le temps. A distinguer des modèles statistiques en Epidémiologie.

Intérêt des modèles dynamiques

- ◆ Permet de mieux comprendre les mécanismes en jeu.
- ◆ Permet de mieux prévoir et si besoin est de mieux prévenir les risques en étudiant plusieurs moyens de lutte
- ◆ Nombreux domaines d'applications :
 - En climatologie, en hydrologique,...
 - En économie, en médecine (épidémiologie, physio-pathologie,...)

L'utilisation de modèle dynamique en épidémiologie...

... n'est pas récente



- Ross (à partir de 1908) Modèle sur la propagation du paludisme, épidémiologie mathématique, introduit la notion de seuil



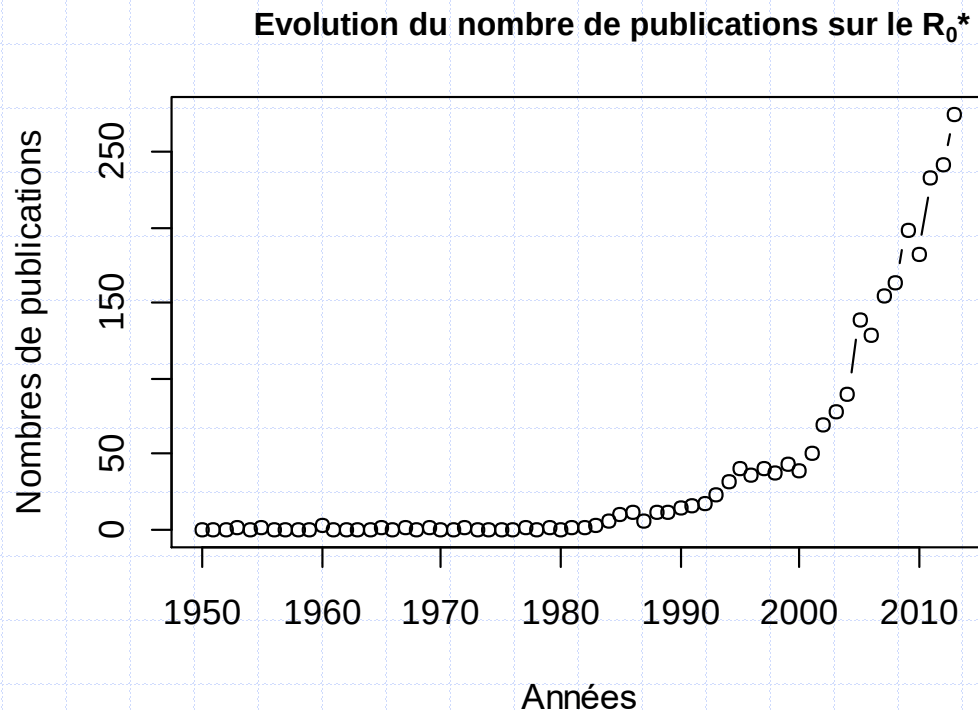
- Kermack & McKendrick (1927, 1932, 1933) Modèle sur la propagation de maladie à transmission directe développent le concept de seuil relié à l'infectivité



- MacDonald (1952) amélioration du concept de seuil. Le premier à introduire le terme de taux de reproduction de base (R_0).

Evolution récente :

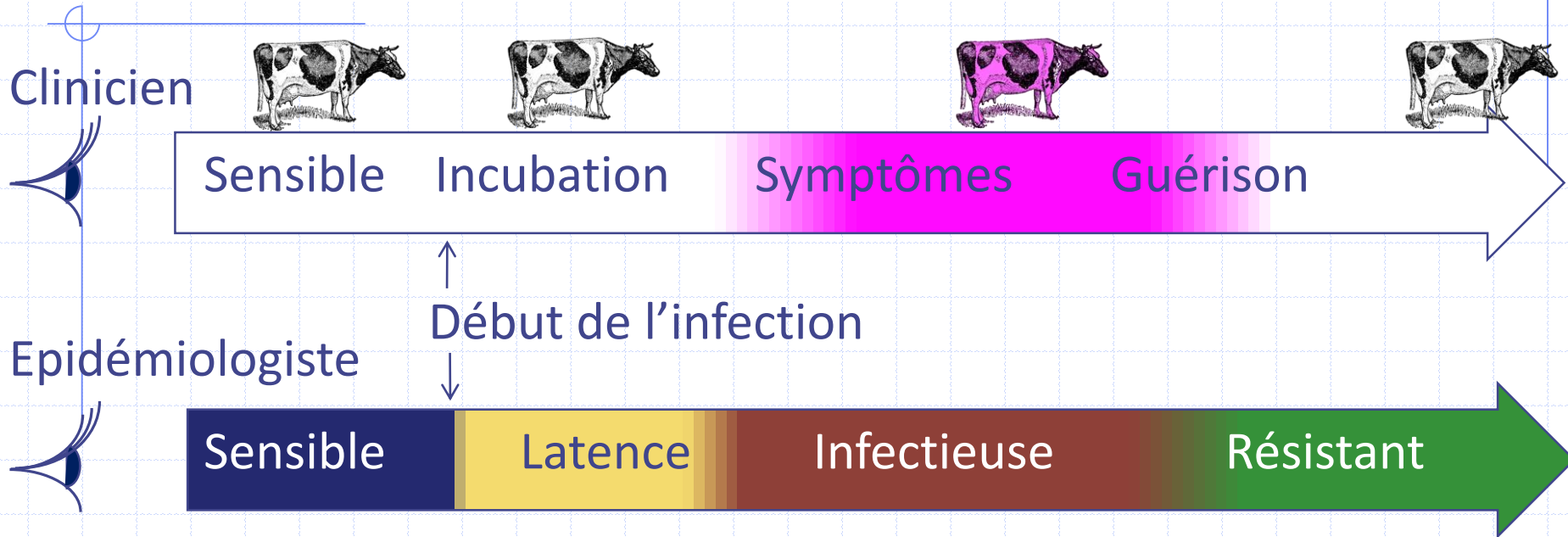
- ◆ Augmentation du nombre de travaux,



* "basic reproductive rate" ou "basic reproductive ratio" ou "basic reproductive number" ou "basic reproduction rate" ou "basic reproduction ratio" ou "basic reproduction number " dans Sciencedirect à début décembre 2013

- ◆ Elargissement de la palettes des outils et des domaines d'application

2.a. Modélisation de la transmission



Modélisateur: à l'échelle du troupeau



Hypothèses biologiques faites

- ◆ Individus soit sensibles, soit infectants, soit résistants
- ◆ Population fermée et effectif constant
- ◆ Nouveaux individus sensibles
- ◆ Tous identiques
- ◆ Nouveaux cas infectants par unité de temps proportionnel au nombre de contact entre sensibles et infectants
- ◆ Population suffisamment grande

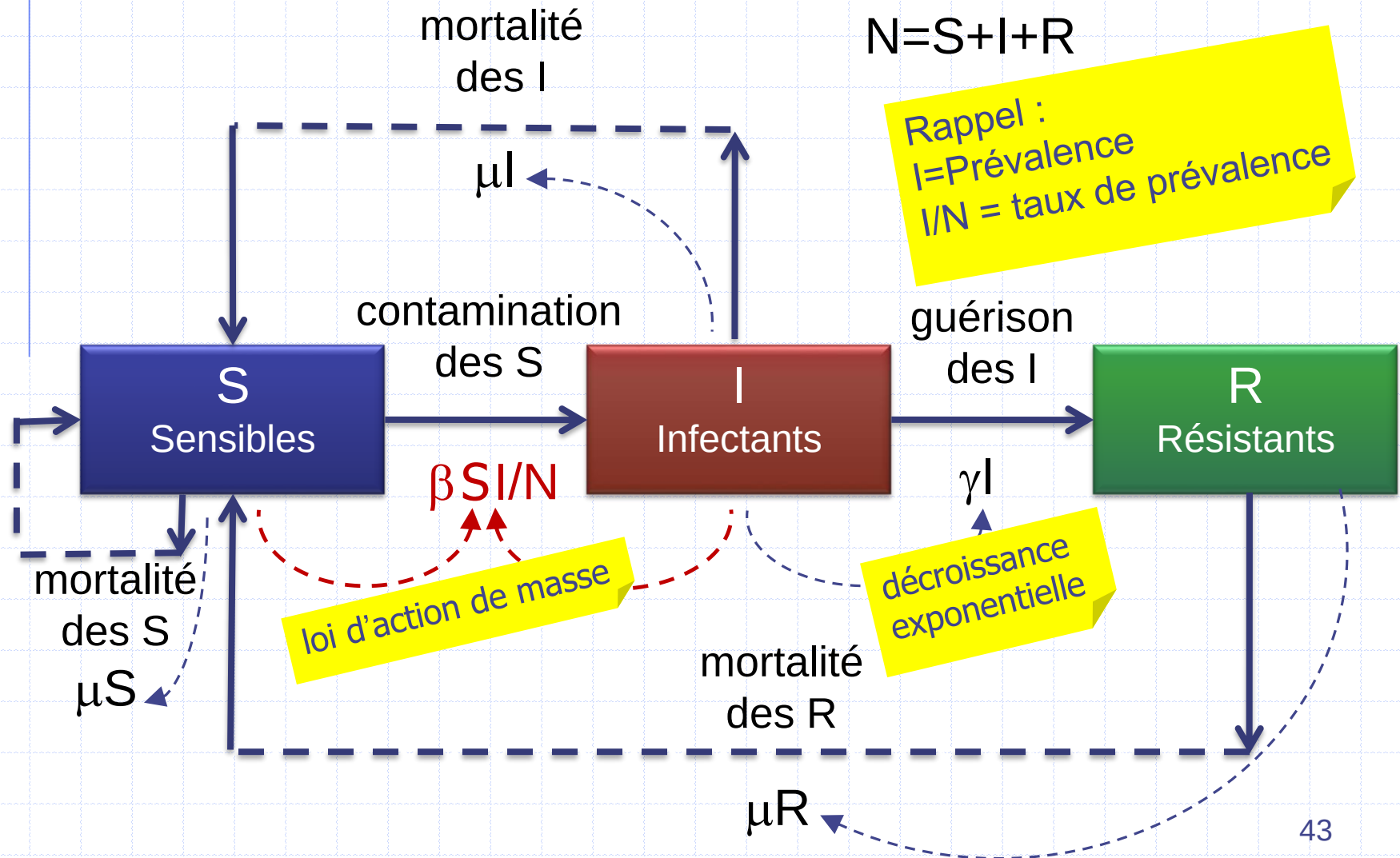
Face à ses hypothèses...

... Il y a une énormément de modèles envisageables.

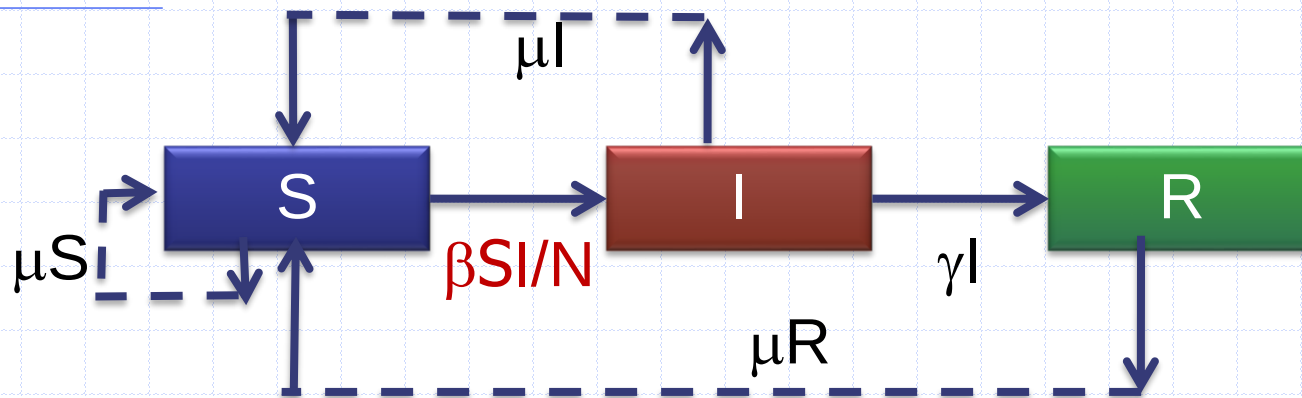
- ◆ Temps continu ou temps discret
- ◆ Stochastique ou Déterministe
- ◆ Système autonome ou non-autonome
- ◆ Avec ou sans dimension spatiale
- ◆ etc...

Modèle SIRS de Kermack & McKendrick

Représentation graphique



Représentation mathématique



$$S + I + R = N$$

$$dS/dt = \mu I + \mu S + \mu R - \mu S - \beta SI/N$$

$$dS/dt = \mu N - \mu S - \beta SI/N \quad S(0) = S_{in} \geq 0$$

$$dI/dt = \beta SI/N - \gamma I - \mu I \quad I(0) = I_{in} \geq 0$$

$$dR/dt = \gamma I - \mu R \quad R(0) = R_{in} \geq 0$$

Rappel :
 $\beta SI/N$: incidence
 instantanée

2.b. Analyse du modèle

Classiquement, différentes étapes:

- ◆ Recherche des points d'équilibre
- ◆ Etude de la stabilité des équilibres
- ◆ Conditions d'obtention des équilibres
- ◆ Dynamique transitoire

Ces étapes peuvent nécessiter des outils mathématiques complexes.

Nous nous focaliserons sur les conditions de l'émergence.

Conditions d'émergence d'une épidémie

il faut : $\frac{dI}{dt} = \beta SI / N - (\gamma + \mu)I > 0$

Au début d'une épidémie on a approximativement:

- un seul infecté: $I = 1$
- une population saine: $S \approx N$

Donc il faut: $\beta - (\gamma + \mu) > 0$

$$R_0 = \frac{\beta}{\gamma + \mu} > 1$$

Taux de reproduction de base

Notion fondamentale en épidémiologie
mathématique: R_0 est le nombre de cas secondaires
issus d'un unique cas primaire dans une population
entièrement sensible.

$$R_0 = \frac{\beta}{\gamma + \mu}$$

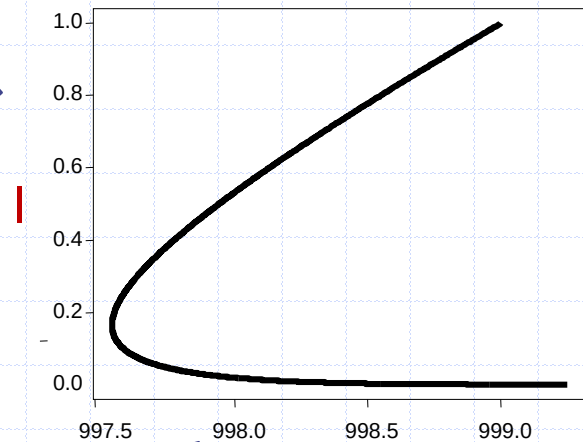
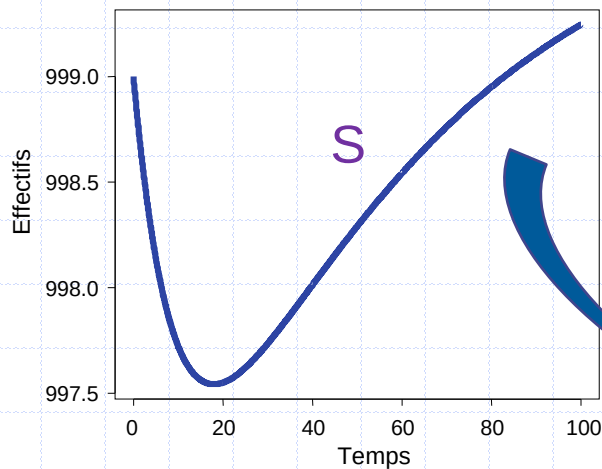
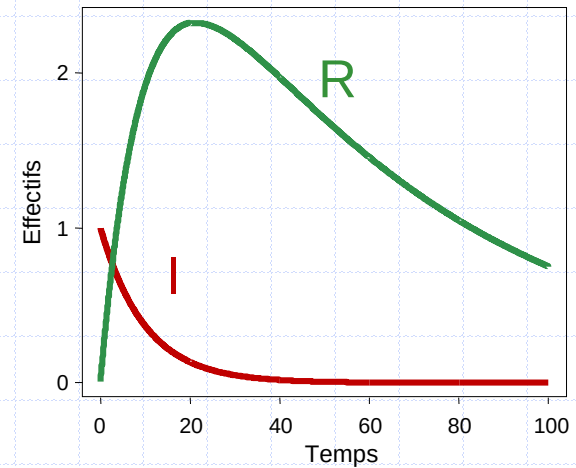
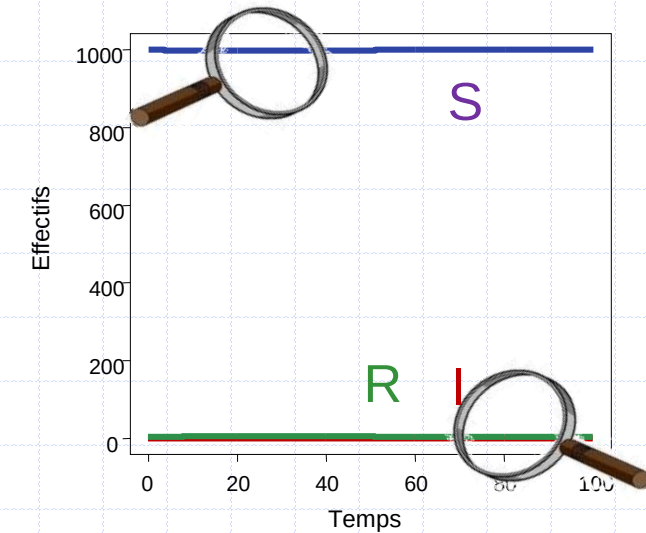
Taux de transmission =
nombre de cas
secondaires /cas primaire
/unité de temps

Taux de guérison ou de
sortie du stade infecté;
 $1/(\gamma + \mu)$ est le temps moyen
que reste un individu au
stade infectant

Simulations numériques

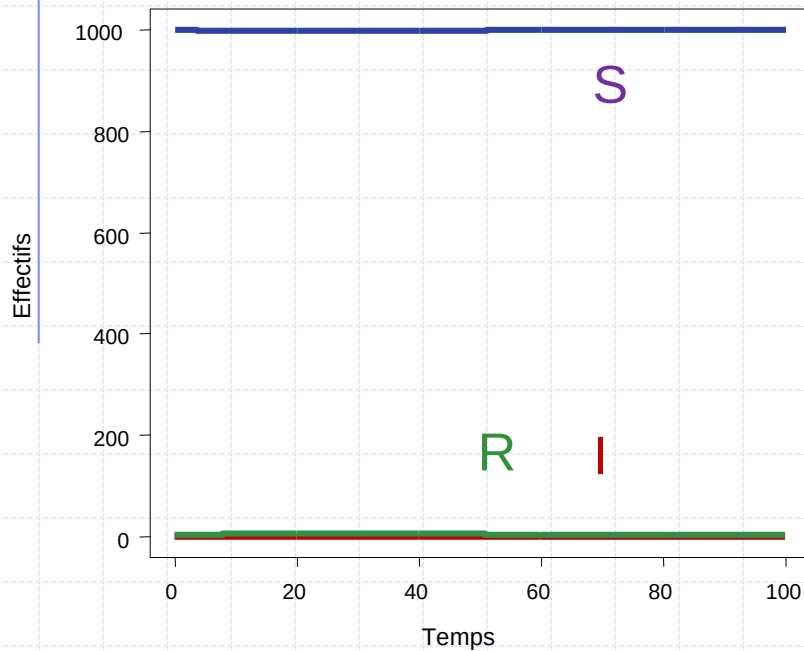
$\mu=1/60$, $\gamma=1/3$ et $S_{in} = 999$, $I_{in}=1$, $R_{in}=0$

$$\beta=1/4$$



Simulations

$\mu=1/60$, $\gamma=1/3$ et $S_{in} = 999$, $I_{in}=1$, $R_{in}=0$



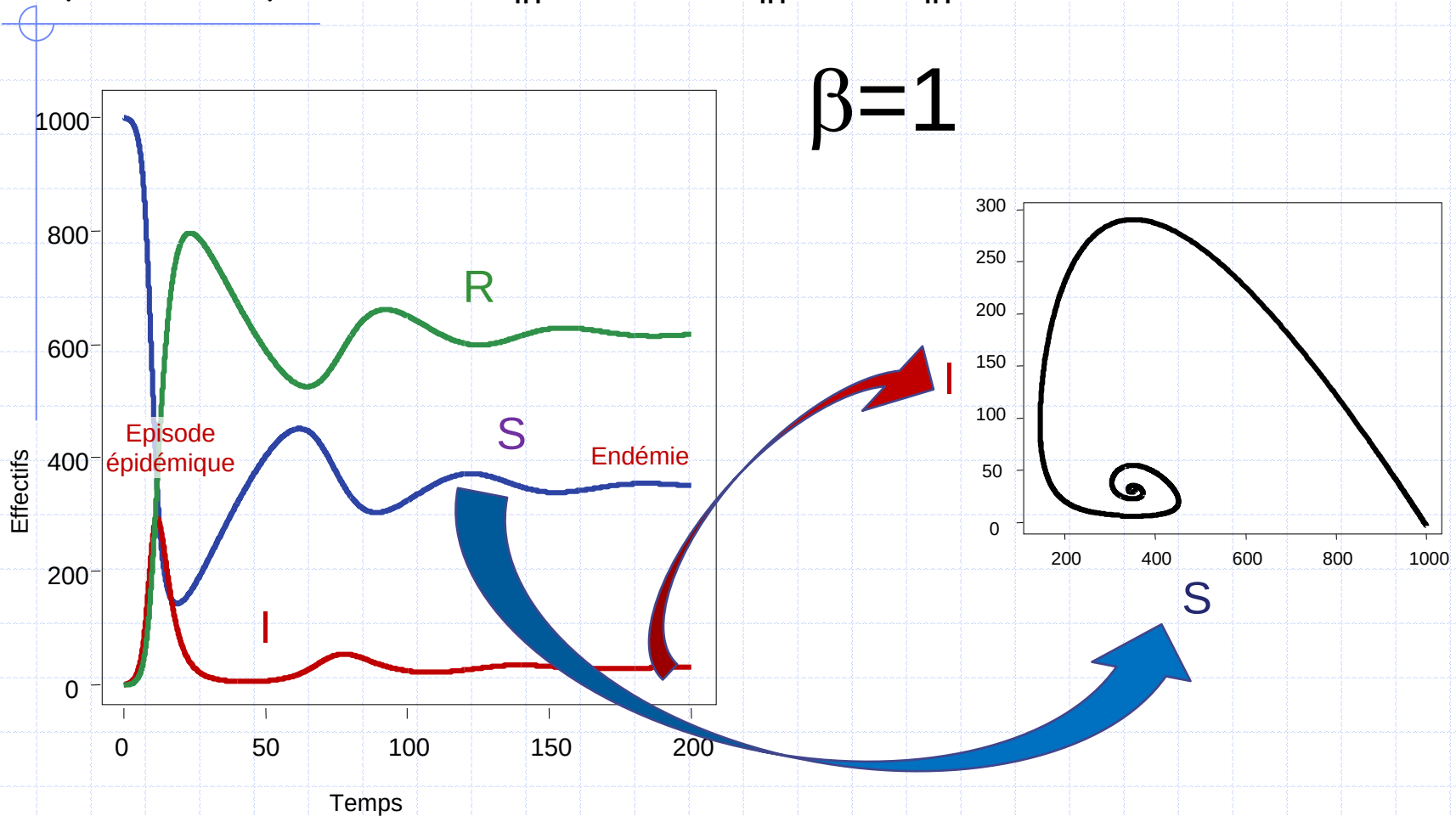
$$\beta=1/4$$

$$R_0 = \frac{1/4}{1/3 + 1/60} = 0.71$$

Pas d'épidémie

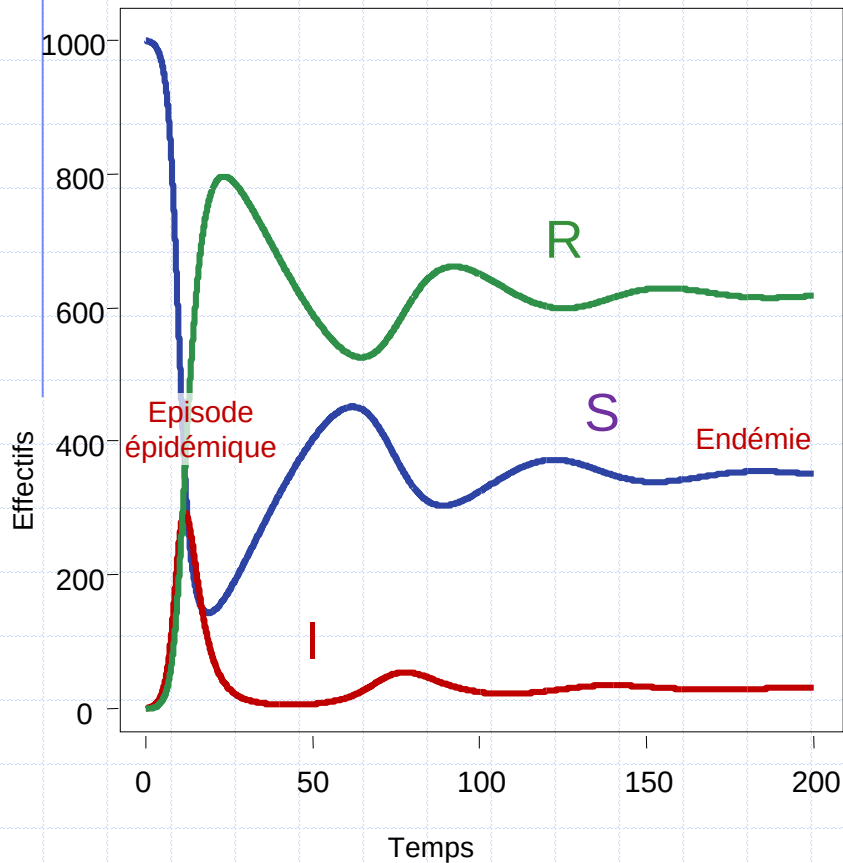
Simulations numériques

$\mu=1/60$, $\gamma=1/3$ et $S_{in} = 999$, $I_{in}=1$, $R_{in}=0$



Simulations

$\mu=1/60$, $\gamma=1/3$ et $S_{in} = 999$, $I_{in}=1$, $R_{in}=0$



$$\beta=1$$

$$R_0 = \frac{1}{1/3 + 1/60} = 2.86$$

Episode épidémique puis
endémie

Pourquoi cette différence ?

- ◆ Pour y répondre, il faut étudier les équilibres :

$$dS/dt = \mu N - \mu S - \cancel{\beta SI/N} = 0 \quad S = N$$

$$dI/dt = \beta SI/N - \gamma I - \mu I = 0 \quad I = 0$$

$$dR/dt = \cancel{\gamma I} - \mu R = 0 \quad R = 0$$

Premier équilibre : équilibre trivial (et)

$$S_{\text{et}} = N \text{ et } I_{\text{et}} = R_{\text{et}} = 0$$

Il n'y a que des sensibles.

Pourquoi cette différence ?

$$dS/dt = \mu N - \mu S - \beta SI/N = 0 \quad I = \mu N(N-S)/\beta S$$

$$dI/dt = \beta SI/N - \gamma I - \mu I = 0 \quad S = (\gamma + \mu)N/\beta$$

$$dR/dt = \gamma I - \mu R = 0 \quad R = N - I - S$$

Deuxième équilibre avec des infectants : équilibre endémique (ee)

$$S_{ee} = (\gamma + \mu)N/\beta, I_{ee} = \mu N(N - S_{ee})/\beta S_{ee} \text{ et } R_{ee} = N - S_{ee} - I_{ee}$$

L'équilibre endémique ne peut exister que dans le cas où :

$$I_{ee} = \mu N(N - S_{ee}) / (\beta S_{ee}) > 0$$

Ce qui revient à :

$$N - S_{ee} > 0 \quad \text{or} \quad S_{ee} = \frac{\gamma + \mu}{\beta} N$$

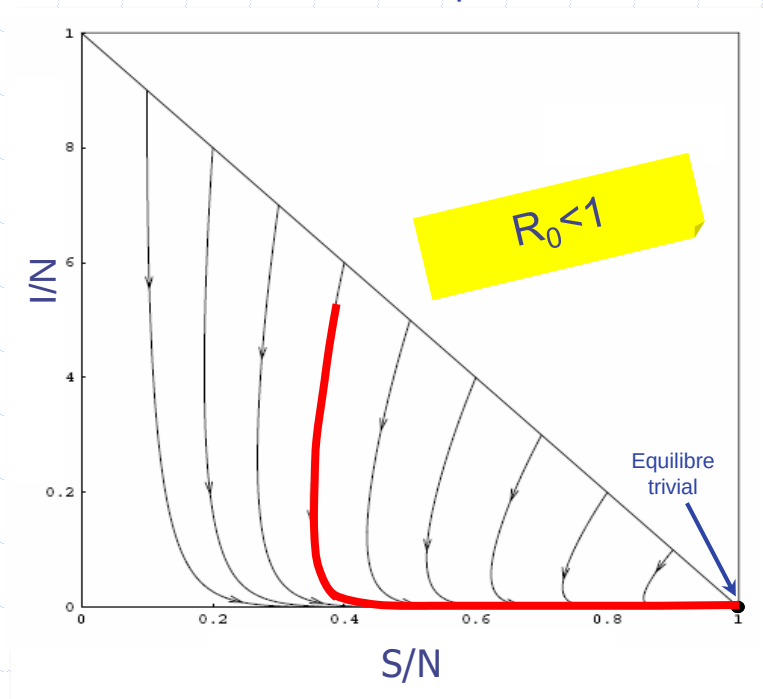
$$1 - \frac{\gamma + \mu}{\beta} > 0$$

$$R_0 = \frac{\beta}{\gamma + \mu} > 1$$

Résultat précédemment
trouvé

Récapitulatif de l'analyse du comportement du modèle

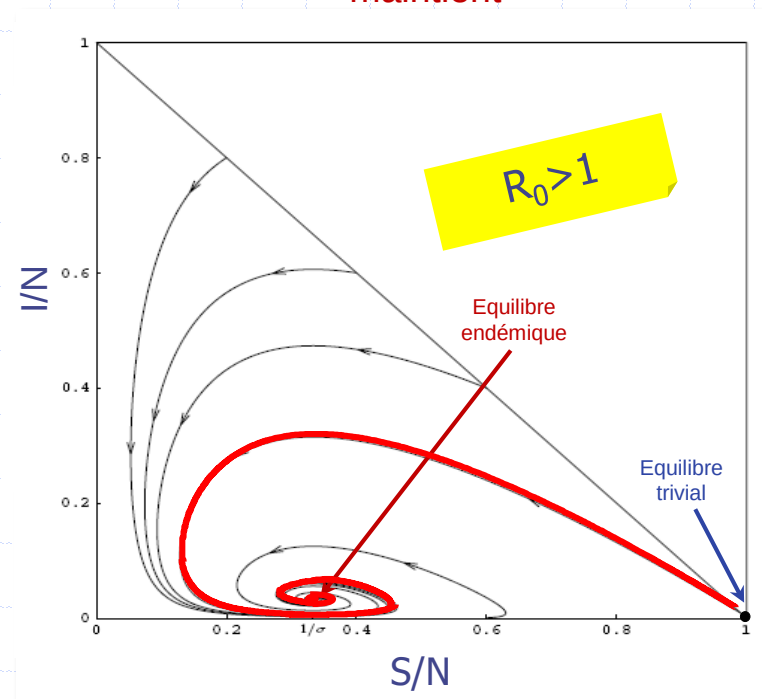
Soit la maladie ne se maintient pas



Equilibre trivial :
 $S_{et} = N$ et $I_{et} = R_{et} = 0$

Equilibre trivial stable

Soit la maladie se maintient



Equilibre endémique :
 $S_{ee} = (\gamma + \mu)N / \beta$, $I_{ee} = \mu N (N - S_{ee}) / \beta S_{ee}$
 et $R_{ee} = N - S_{ee} - I_{ee}$

Equilibre trivial instable
 Equilibre endémique stable

2.c. Interprétation du R_0

- ◆ Si $R_0 < 1$ la maladie disparaît.

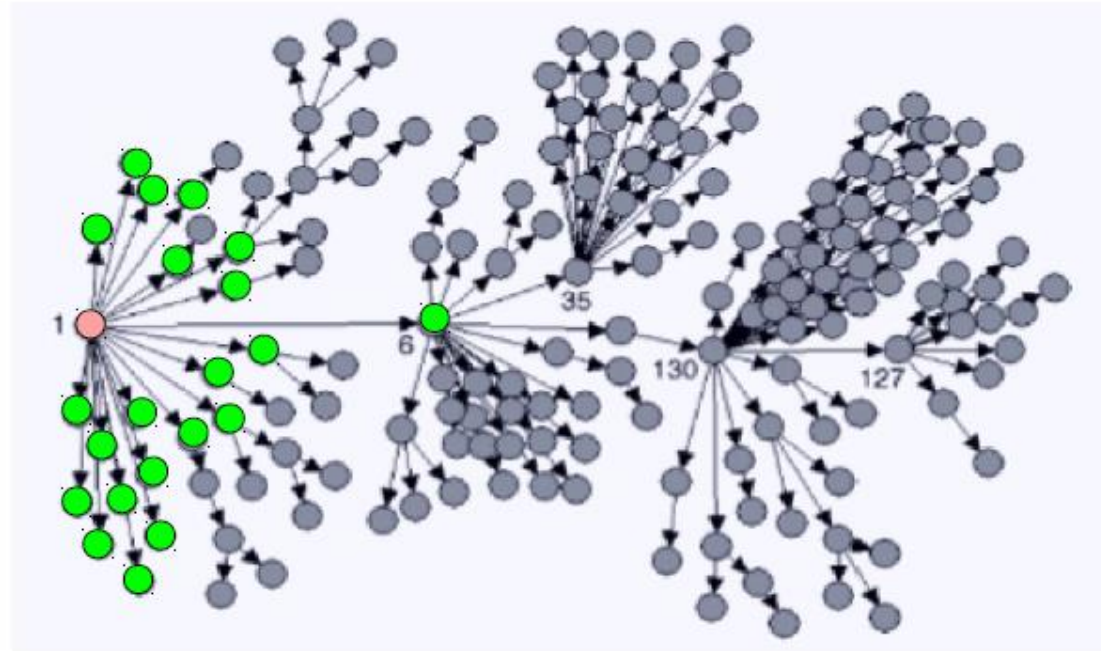
L'état d'équilibre sans maladie est stable: la population saine ne peut pas être envahie par la maladie

- ◆ Si $R_0 > 1$ la maladie se propage.

L'état d'équilibre sans maladie est instable: la population saine **peut** être envahie par la maladie

Retour à l'échelle des individus

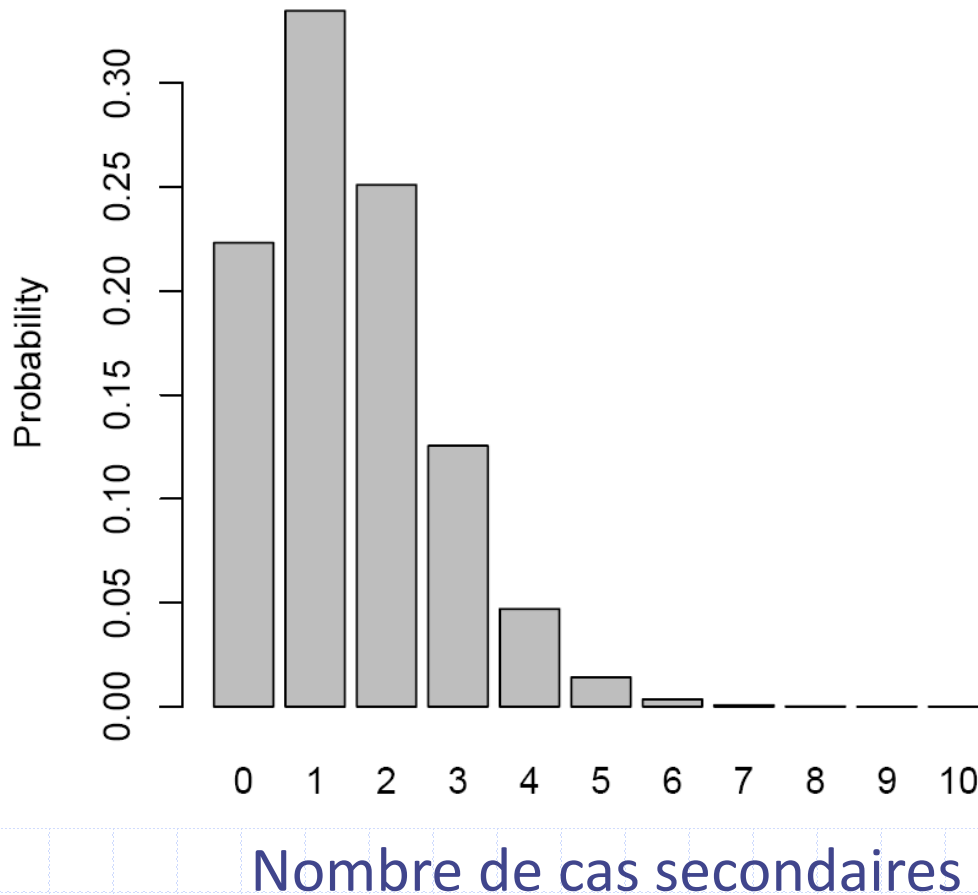
Exemple d'une chaîne de transmission



Un cas primaire ● engendre 21 cas secondaires ●

Les cas secondaires engendrent de 0 à 11 cas tertiaires ●
etc.

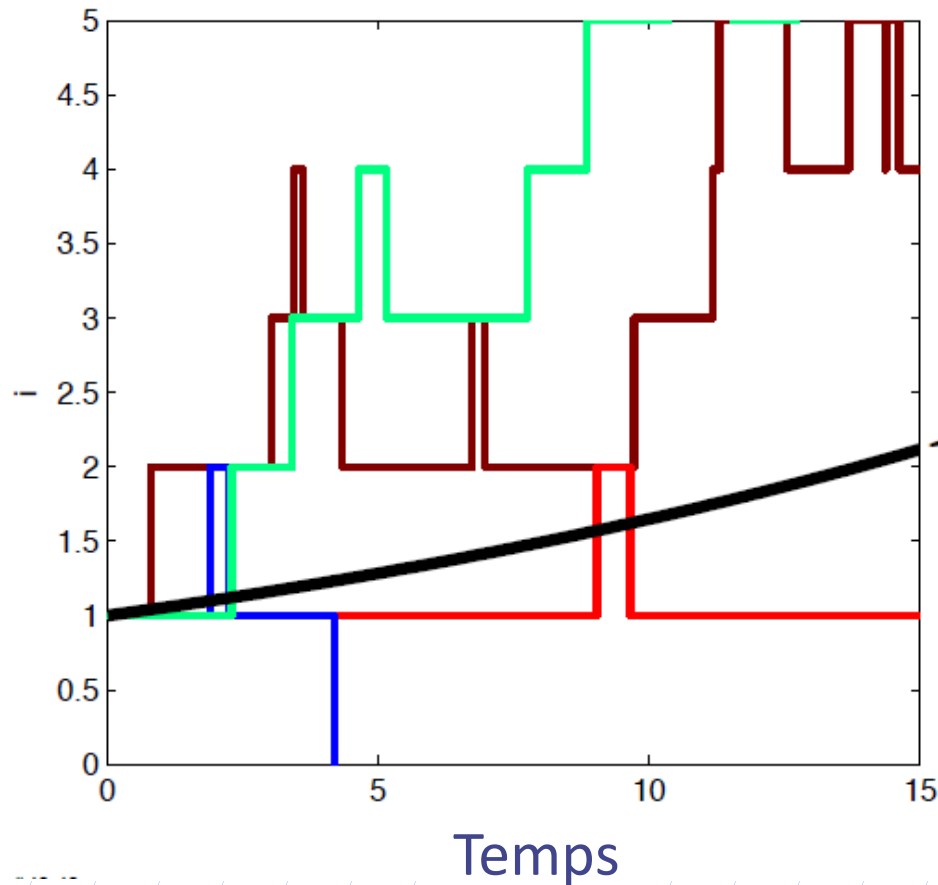
Conséquence: R_0 individuel



Le nombre de cas secondaires par cas primaire diffère d'un individu à l'autre, du fait du hasard des contacts

Ici $R_0 = 1.5$

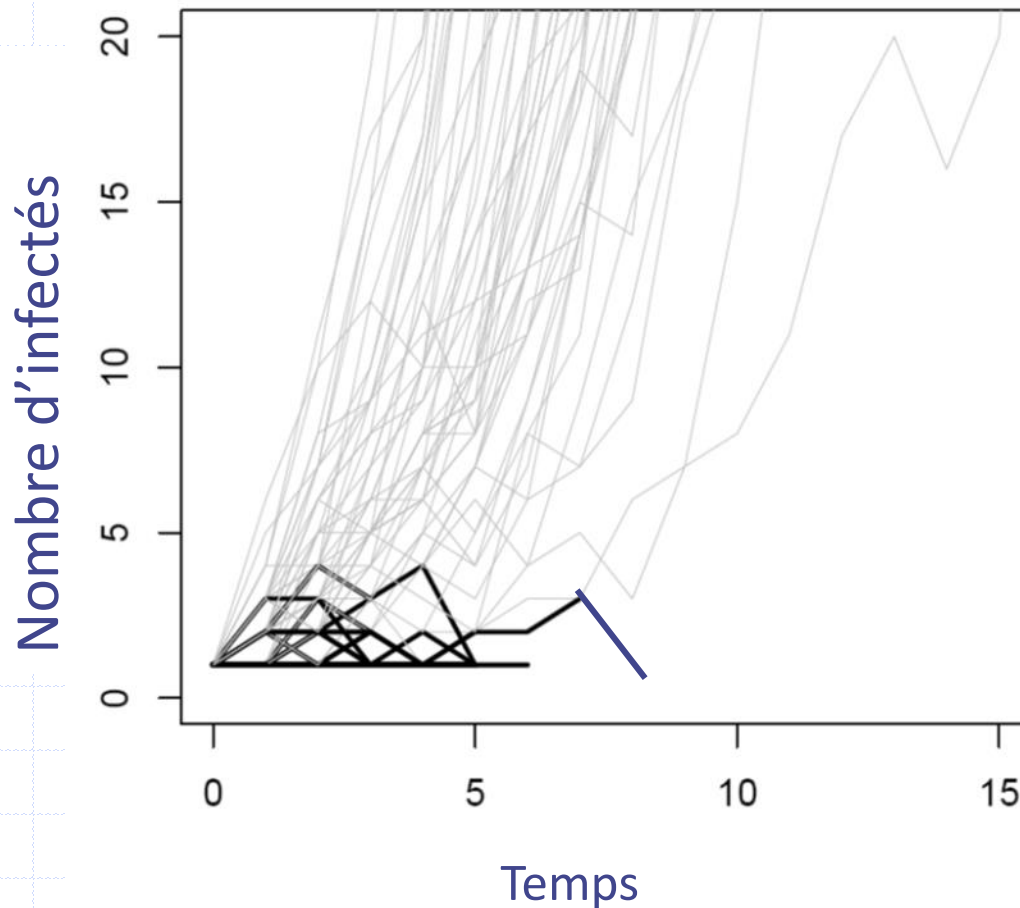
Conséquence sur la dynamique



Les modèles stochastiques permettent de prendre en compte les variations du R_0 individuel: la dynamique prédite (courbes couleurs) diffère de la dynamique moyenne prédite par le modèle déterministe (noir)

Extinction ou invasion possible... par hasard!

La maladie peut disparaître...



Différentes
réalisations d'un
modèle
stochastique pour
lequel
 $R_0 > 1$

1. Emergence d'une maladie humaine ou animale

2. R_0 , le taux de reproduction de base

A retenir :

- Notion fondamentale en épidémiologie: nombre de cas secondaires par cas primaire dans une population sensible.
 - Déterminants principaux = taux de transmission, taux de guérison
 - L'épidémie PEUT se propager lorsque $R_0 > 1$, mais le hasard des contacts et l'hétérogénéité des individus interfèrent dans le déroulement de chaque épidémie.
- => C'est la situation en début d'émergence

1. Emergence d'une maladie humaine ou animale

2. R_0 , le taux de reproduction de base

A retenir :

Accueil / Pays de la Loire / Vendée



Réservé
aux abonnés

Vendée. Covid : le taux d'incidence augmente

Les taux d'incidence et de positivité « évoluent de façon défavorable » dans le département, selon l'ARS. Des dépistages supplémentaires sont annoncés à La Roche-sur-Yon et dans le pays de Saint-Gilles.

Malgré la “progression exponentielle de la transmission du Sars-CoV-2” soulignée par Santé publique France dans son dernier **bilan épidémiologique hebdomadaire publié jeudi 3 septembre**, un des principaux indicateurs scrutés par les autorités sanitaires semble décroître. Il s'agit du **taux de reproduction de l'épidémie**.

Epidémie	
Nombre de cas ou de morts	Distance : nombre de kilomètres 
Taux d'incidence	Vitesse : nombre de kilomètres par heure 
Taux de reproduction R	Accélération : Si $R > 1$ pédale d'accélérateur Si $R < 1$ pédale de frein

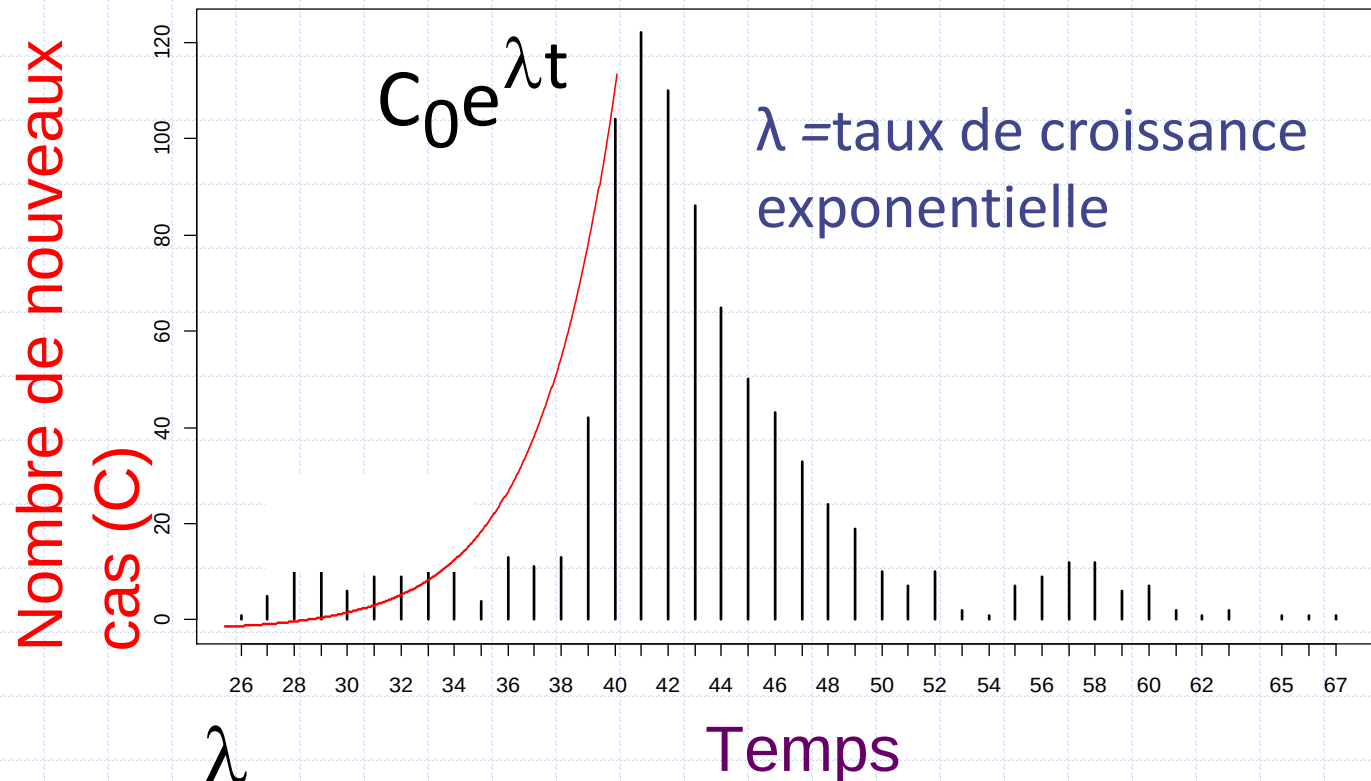
Plan

1. Emergence d'une maladie humaine ou animale
2. R_0 , le taux de reproduction de base
3. **Estimation du R_0 et applications**
 - a. Estimation à partir de données d'épidémie
 - b. Applications
 - c. Limites du R_0

3.a. Estimation à partir de données d'épidémies

- ◆ Plusieurs méthodes possibles:
 - en considérant le début de l'épidémie
 - en considérant la fin
 - en considérant l'ensemble

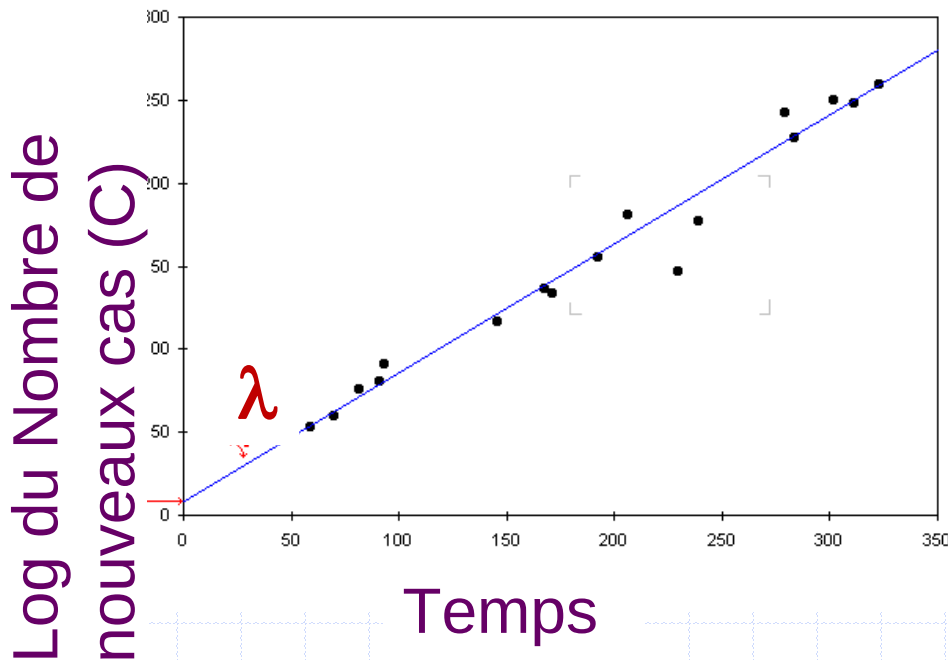
Estimation à partir du début de l'épidémie



$$R_0 = 1 + \frac{\lambda}{\gamma}$$

le taux de guérison γ est considéré connu = inverse du temps moyen au stade infectant

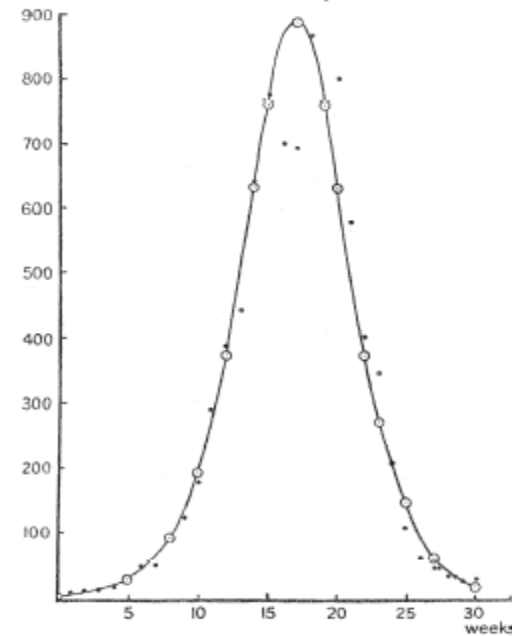
Estimation à partir du début de l'épidémie



Utilisation de la régression linéaire simple puis estimation de λ (avec une certaine incertitude) puis R_0

Estimation à partir de la fin de l'épidémie

Si population avec mort et sans naissance, pas de perte d'immunité, on peut utiliser la situation à la fin de l'épidémie



Exemple: Epidémie de peste

$$R_0 = \frac{\ln(s_\infty)}{s_\infty - 1}$$

s_∞ Proportion de sensibles au temps final

Estimation aussi possible dans le cas de situation endémique

◆ Equilibre endémique

$$R_0 \frac{S_{ee}}{N} = 1$$

$$R_0 = \frac{N}{S_{ee}}$$

Inverse de la proportion de sensible à l'équilibre endémique.

Si à l'équilibre endémique, il y a 50% de sensible,
 $R_0 = 2$

Estimation aussi possible dans le cas de situation endémique

- Equilibre endémique

Si population homogène, né sensible, pas de perte d'immunité,...

$$R_0 = \frac{L}{A}$$

← Durée de vie moyenne
← Age moyen à l'infection

Durée de vie moyenne de 80 ans et âge moyen de l'infection de 10 ans, $R_0=8$

$$\lambda = \frac{1}{A}$$

Rappel :
Force d'infection

Autres méthodes d'estimation de R_0

- À partir de l'ensemble du suivi des S, I, R au fil du temps: méthodes complexes !
- Incertitude sur l'estimation

R_0 estimé pour des zoonoses et des maladies animales récentes

Maladie	R_0
SARS (2003)	2.2 à 3.6
Influenza aviaire (2003 au Pays-bas)	Jusqu'à 6.5
ESB (1986 au RU)	14
Tremblante (1970-1982 au RU)	3.9
Fièvre Aphteuse (2001 au RU)	4.5

Estimation des autres paramètres

- ◆ Paramètre facilement estimable : taux de mortalité, de guérison, ...
 - Inverse du temps moyens de séjours

$$\gamma = \frac{1}{T_g} \quad \text{— Temps moyen au stade infectant}$$

- ◆ Taux de contact β est plus difficile à estimer. Possibilité de l'obtenir à partir de R_0 .

$$\beta = R_0 (\gamma + \mu)$$

3.b. Applications

Lorsqu'on connaît les déterminants

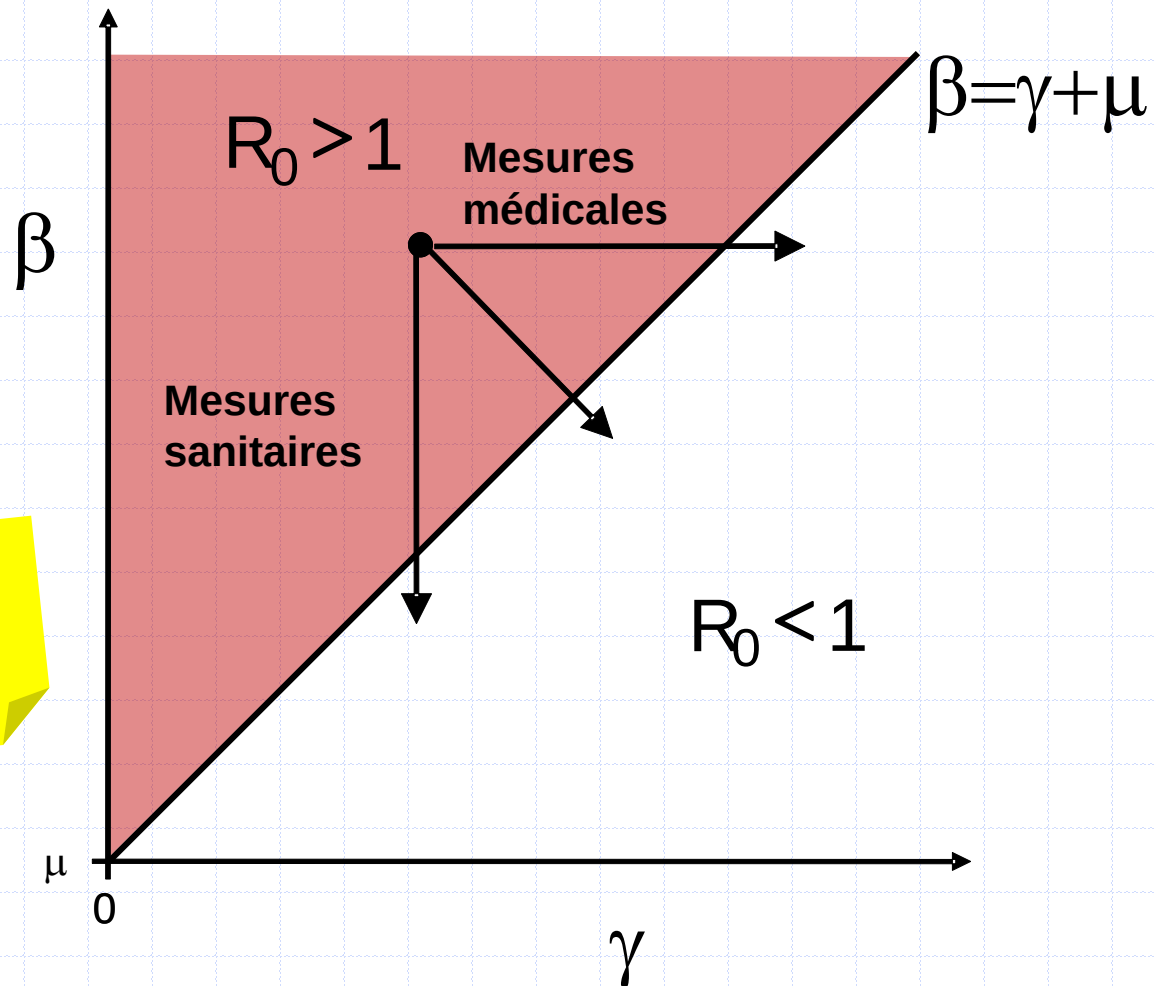
- du taux de transmission β : densité d'animaux, réseaux de contacts, présence et densité des vecteurs, réservoirs, vaccination...
- Du taux de guérison (ou de disparition) γ : traitement, abattage...

Possibilité de prédire l'évolution de la maladie au fil du temps et dans l'espace, sous différents scénarios

Taux de reproduction de base R_0 et moyen de lutte

$$R_0 = \frac{\beta}{\gamma + \mu}$$

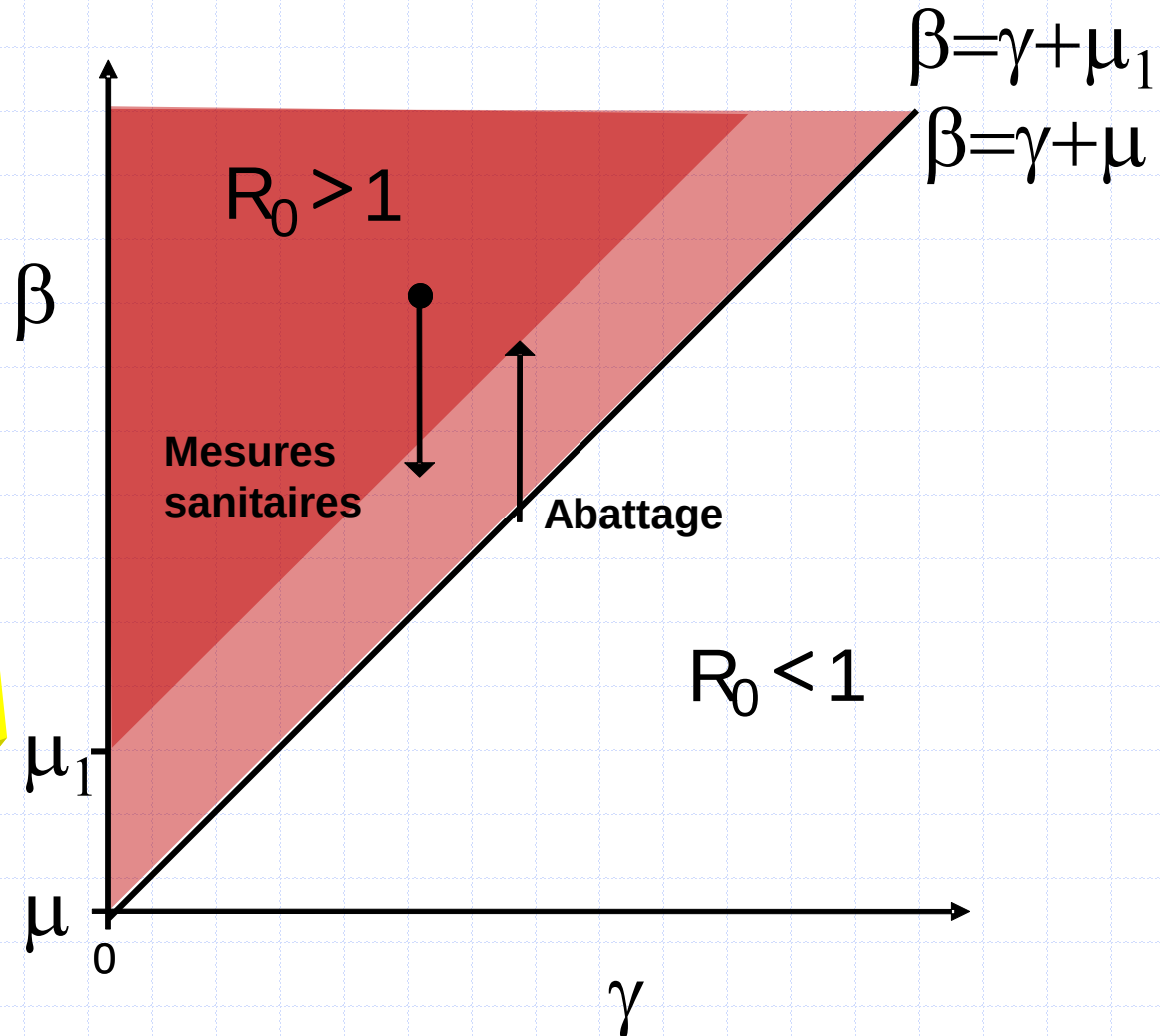
Point de vue
des médecins



Taux de reproduction de base R_0 et moyen de lutte

$$R_0 = \frac{\beta}{\gamma + \mu}$$

Point de vue
des vétérinaires



Taux de reproduction de base R_0 et moyen de lutte

◆ Cas des maladies vectorielles

$$R_0 = \frac{a^2 V c b e^{-uT}}{H u r}$$

Diminution du taux de contact a

Augmentation de la mortalité vectorielle u

Diminution de la population de vecteur V

H : population d'hôtes

V : population de vecteurs

a : taux de contact hôte/vecteur

b : probabilité d'un contact contaminé conduise à une infestation de l'hôte

r : taux de mortalité ou de guérison des hôtes infestés

c : probabilité d'un contact contaminé conduise à une infestation du vecteur

u : taux de mortalité des vecteurs

T : période d'incubation chez les vecteurs

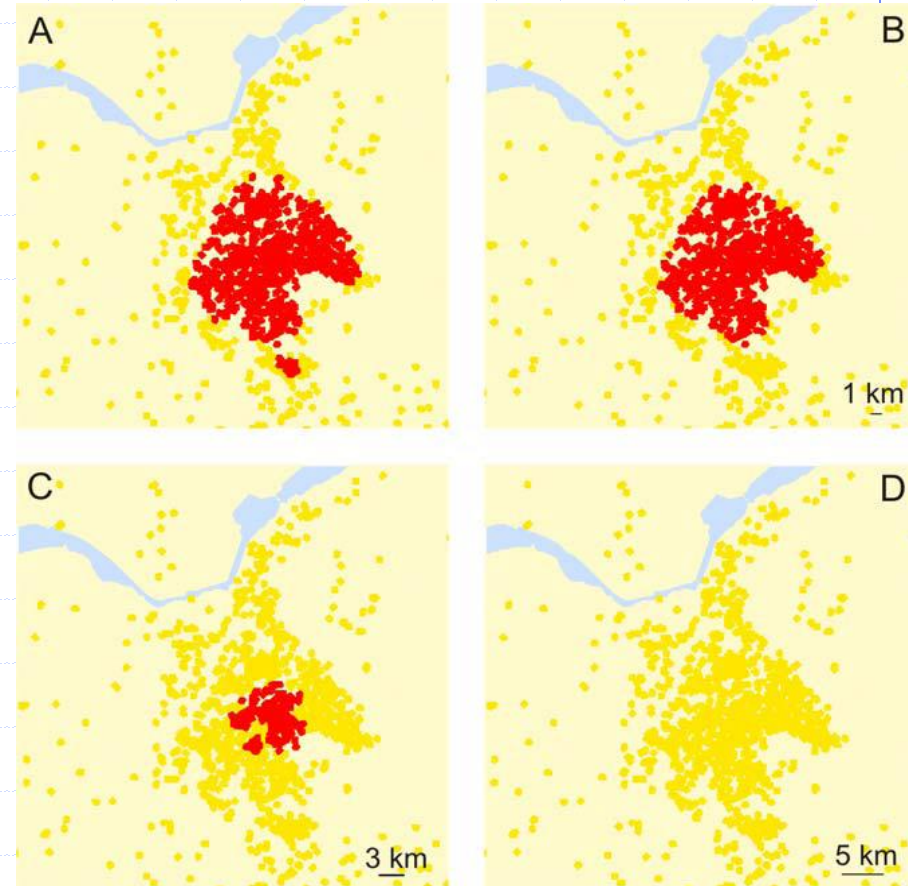
R_0 et mesures de gestion ex. en médecine vétérinaire

Exemple: influenza aviaire aux
Pays-Bas

Estimation de R_0 à l'échelle
élevage

Fermes à risque ($R_0 > 1$) avec
aucun abattage (A), abattage
dans un rayon de 1 (B), 3 (C)
ou 5 km (D),

Compromis entre bénéfice et
coût de l'abattage



R₀ et mesures de gestion

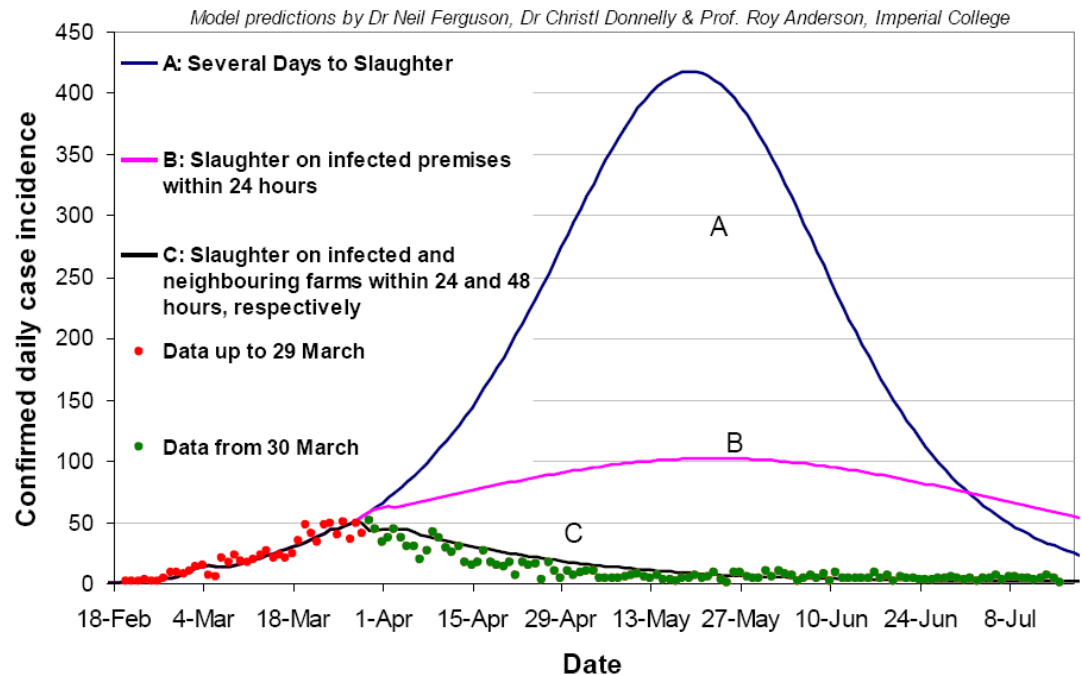
Programme de Vaccination

Infection	Localisation et période	Couverture vaccinale de p%	
		R ₀	Valeur approximative de p (%)
Variole	Pays développés	3-5	70-80
Rougeole	GB 1956-68	13	92
	USA 1910-30	12-13	92
Coqueluche	GB 1942-50	17	94
	USA 1908-17	13	92
Rubeole	GB 1979	6	83
	RFA 1972	7	86
Varicelle	USA 1913-21	9-10	90
Diphtérie	USA 1910-47	4-6	~80
Scarlatine	USA 1910-20	5-7	~80
Oreillons	USA 1912-16	4-7	~80
Poliomyélite	Holland 1960	6	83

$$R'_0 = (1 - p)R_0 \quad R'_0 < 1 \Rightarrow (1 - p)R_0 < 1 \Rightarrow p > 1 - \frac{1}{R_0}$$

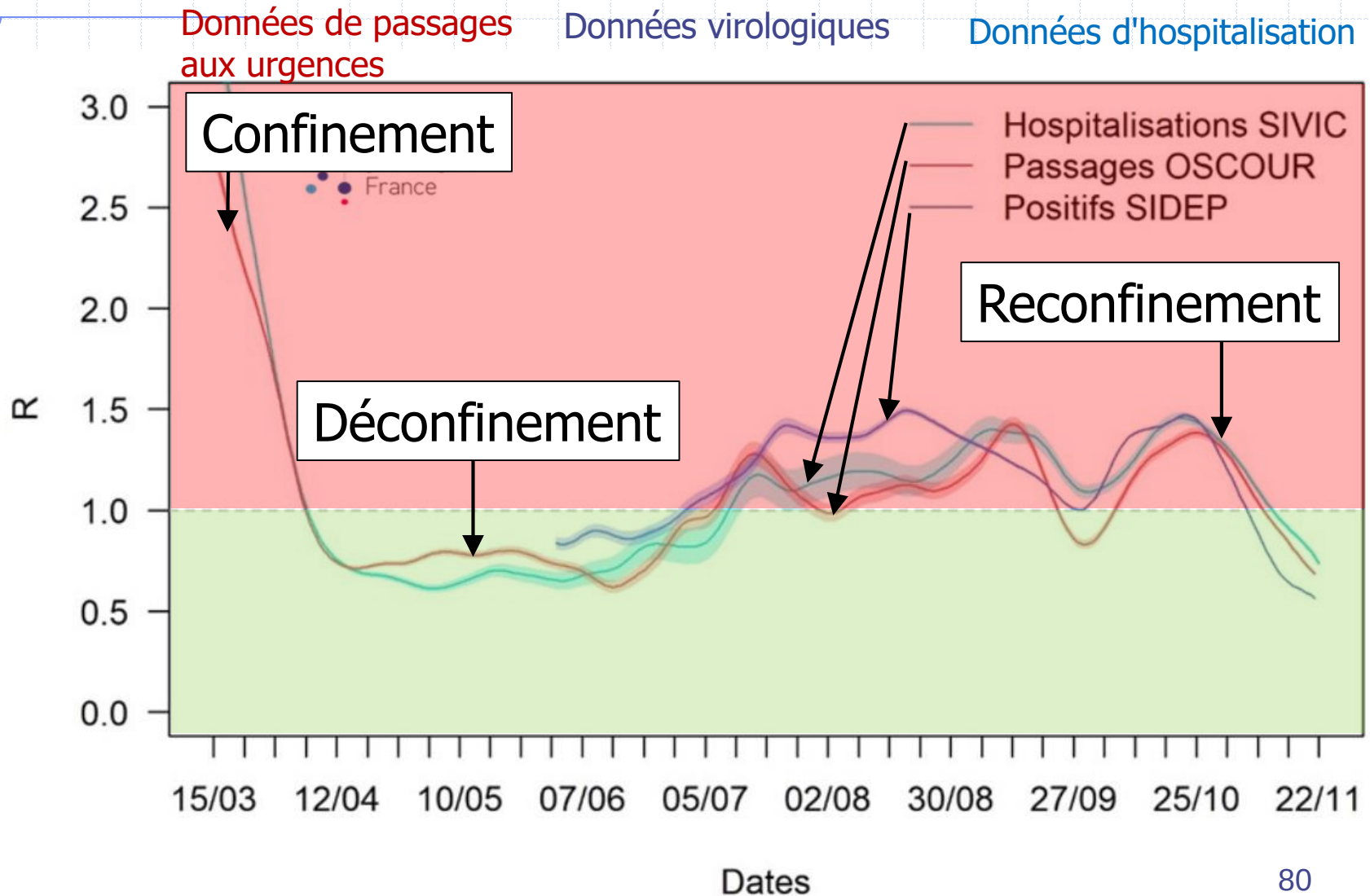
R_0 et gestion en temps réel

Exemple: Fièvre aphteuse en Grande-Bretagne, 2001: à partir des données prises avant le 30 mars, évaluation de 3 scénarios de gestion



- A: Plusieurs jours avant abattage du foyer
- B: Abattage dans les 24h
- C: Abattage des foyers dans les 24h et abattage des élevages voisins dans les 48h

Estimation du taux de reproduction de base en temps réel $R_0 \rightarrow R(t)$ ex. Covid-19



Sites qui permettent de suivre l'épidémie de Covid 19

Dans le monde :

- <https://gisanddata.maps.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/bda7594740fd40299423467b48e9ecf6>

En France :

- <https://www.gouvernement.fr/info-coronavirus/carte-et-donnees>
- <https://geodes.santepubliquefrance.fr>

R_0 et retour sur les moyens de lutte utilisés

Exemple de lutte contre les cestodes en Australie (zoonoses)

- ◆ Programme de contrôle basé sur la chimiothérapie des chiens :
 - *Echinococcus granulosus* éradiqué
 - *Taenia ovis* pas éradiqué
- ◆ Estimation de R_0
 - *E. granulosus* juste au dessus de 1
 - *Taenia ovis* entre 2.5 et 4.3
- ◆ Programme de lutte estimé pouvoir réduire de 31% le R_0
- ◆ Pas suffisant pour éradiquer *Taenia ovis*

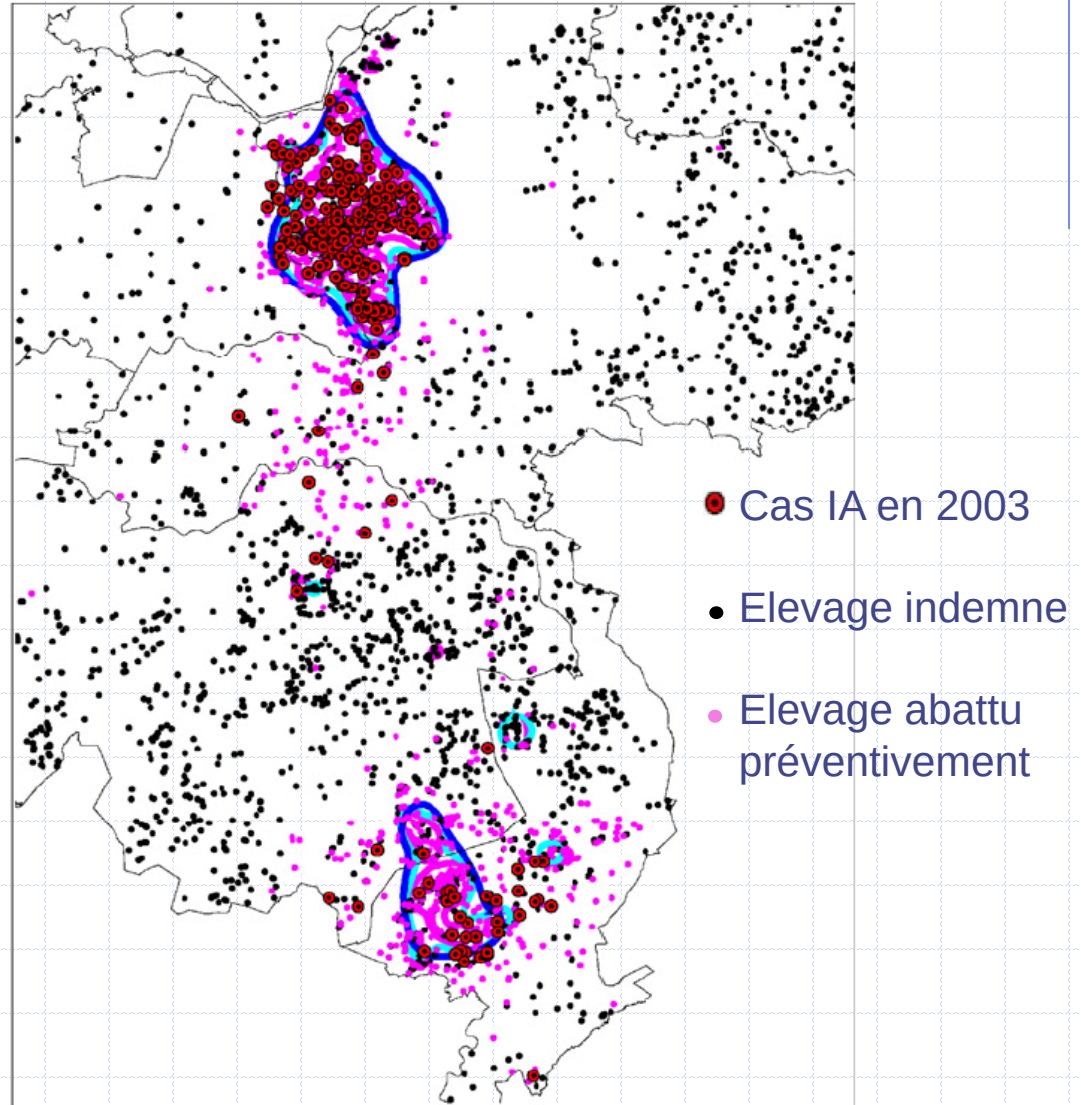
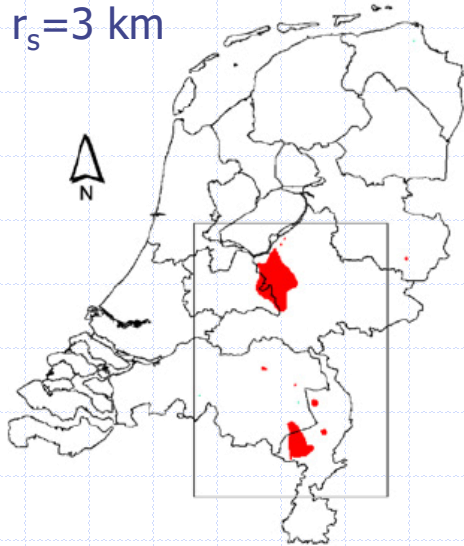
R_0 et retour sur les moyens de lutte utilisés

Ex. Influenza Aviaire
aux Pays-Bas

Zone à haut risque
($R_{hi} > R_c$)

- $p_0=0.026$, $r_s=7$ km
- $p_0=0.05$, $r_s=5$ km
- $p_0=0.14$, $r_s=3$ km

D'après Boender *et al.* 2007



R_0 et prédiction du risque

Possibilité de cartographier R_0 ...

... y compris en l'absence de maladie!

Car les déterminants de R_0 sont mesurables même si la maladie n'est pas présente

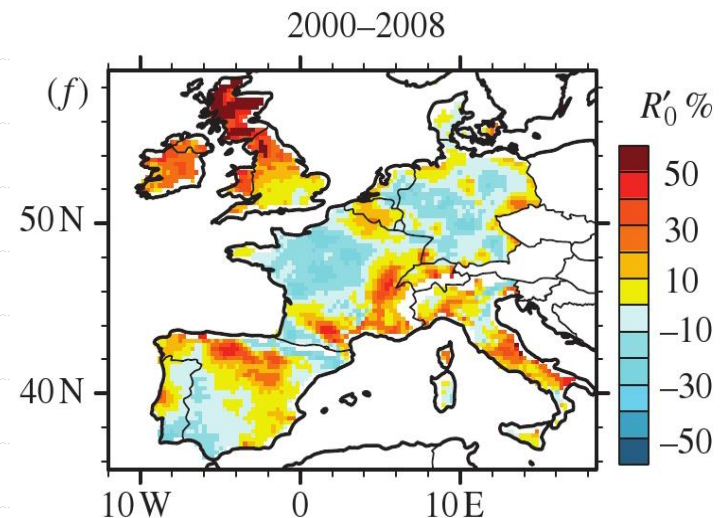
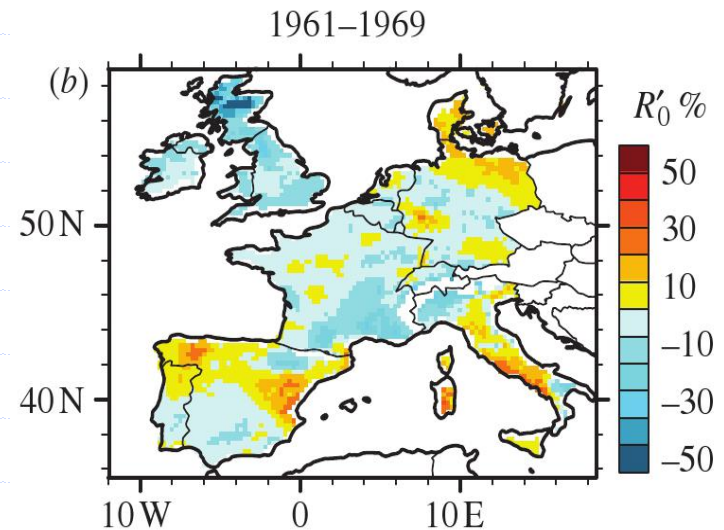
Identification des zones/périodes à risque,
contribution à l'alerte préventive

Prédiction du risque

Exemple: fièvre catarrhale ovine en Europe de l'Ouest, anomalies locales du R_0 pour différentes périodes

1961-1969: variations spatiales de R_0 liées au climat local

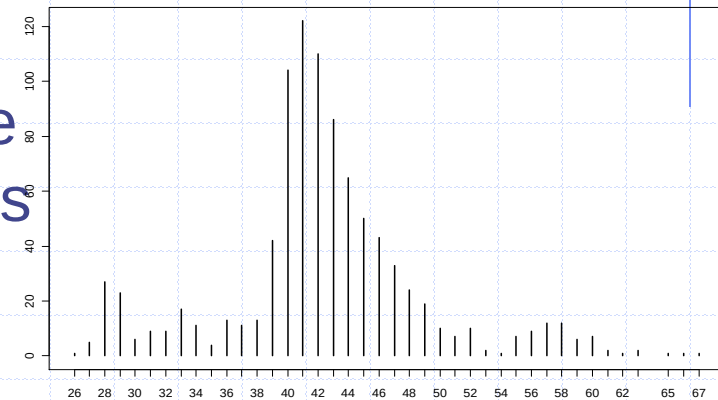
2000 – 2008: modifications de la carte liées au changement climatique : au nord, allongement de la période favorable aux vecteurs; au sud, intensification des contacts hôte-vecteur



3.c. Limites de R_0

Pour estimer, analyser, cartographier R_0

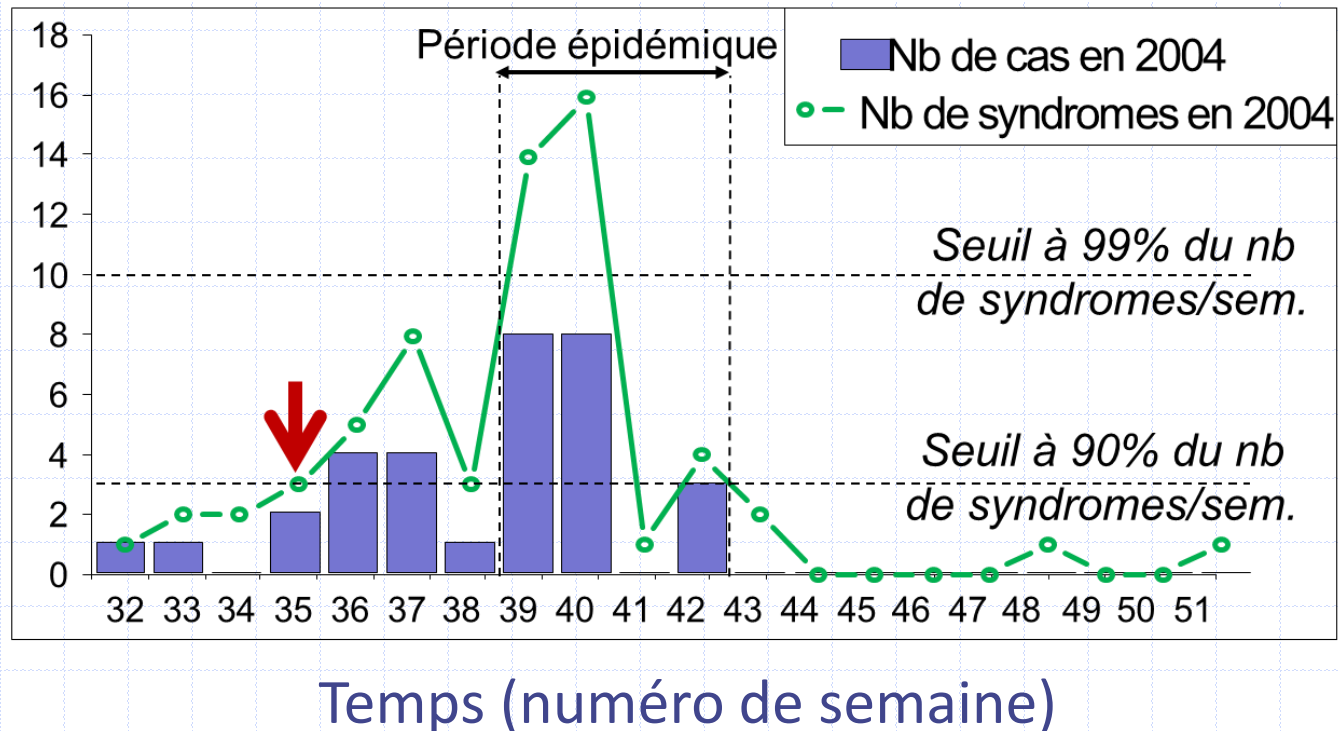
- Il faut des informations: importance de la surveillance longitudinale des agents pathogènes dans les populations sources : réseaux d'épidémiosurveillance, intervention des médecins et des vétérinaires sur le terrain



- Il faut connaître l'existence même des maladies ! Les émergences récentes (West Nile, Fièvre catarrhale ovine, Schmallenberg) ont été détectées par des vétérinaires sur le terrain

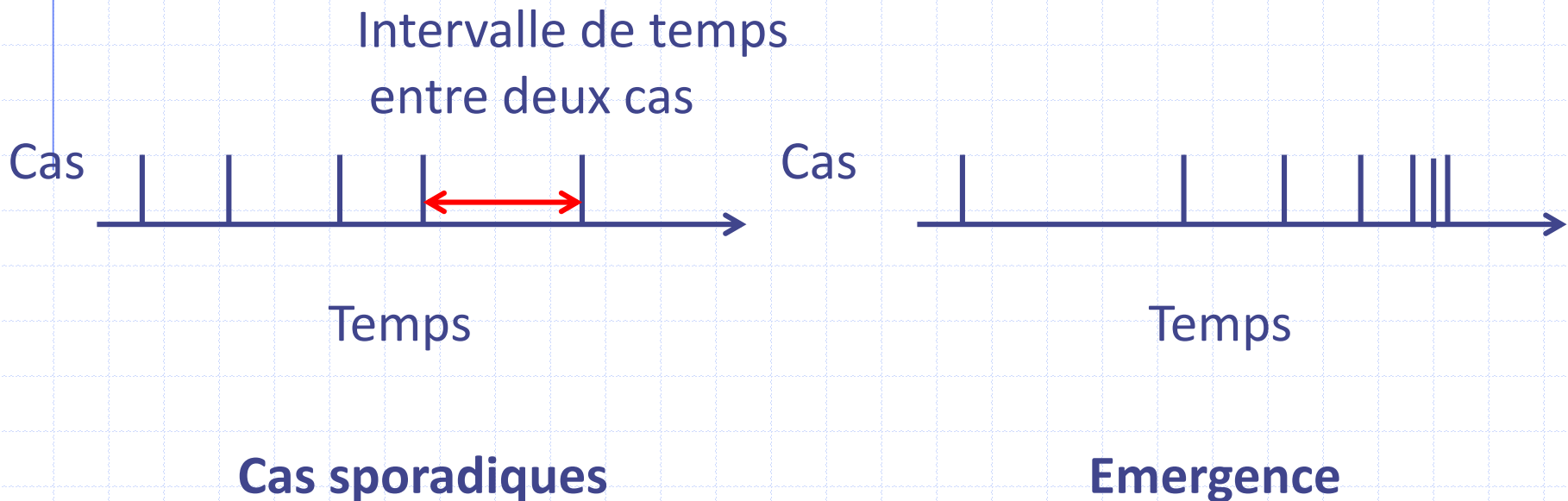
Détecter les maladies sans en connaître la cause

Outils de détection non spécifiques: la surveillance syndromique: mise en place actuellement



Différencier une émergence de cas sporadiques

Etude des intervalles de temps entre deux occurrence de cas



1. Emergence d'une maladie
2. R_0 , le taux reproductif de base
- 3. Estimation du R_0 et applications**

A retenir :

- Estimation: principe simple... mais complexité possible
- Applications : scénarios de gestion de la maladie, prévision du risque d'émergence
- Limites: on ne peut estimer et utiliser R_0 que si on connaît l'existence de la maladie et sa dynamique, autres outils pour l'alerte et la détection précoce