Mathématiques et épidémies(1)

Année 2014 – 2015

Quentin MARION, Endy MICHEL, Guillaume BRUN, élèves de quatrième (Rougeole)
Camille BRIALON, Eden BURGER, Léo MEMBRE, Gaëtan GAUDARD, élèves de troisième (Ebola)

Encadrés par DAVID Marie-Claude, BOUSQUET Stéphane, KROLL Jean-Yves, DUMONT

Établissement : Collège de la Côte Roannaise (Renaison)

Chercheur : Laurent PUJO MENJOUET, Institut Camille Jordan, Université de Lyon 1.

Présentation du sujet

Quels sont les R_0 (2) des maladies les plus connues? Quelles sont les meilleures stratégies proposées pour lutter contre chacune d'elles ?

Quelles sont les maladies les plus dangereuses en ce moment? Les nouvelles? Retour de la peste? Que doit-on faire, préconiser pour chacune d'elles ?

Utiliser un modèle étudié en math en jeans pour l'utiliser soit sur une maladie nouvelle (Ebola par exemple) ou imaginaire (zombies)

Existe-t-il des modèles très complexes tenant compte des différents contacts suivant la profession, le nombre de contacts…Et les maladies qu'on attrape à l'hôpital (maladies nosocomiales)?

Introduction

Nous avons choisi ce sujet car le virus Ebola était très présent dans les médias et l'idée de mettre en place des stratégies, avec l'aide des mathématiques, nous intéressait beaucoup.

Nous avons suivi les recommandations de notre chercheur Laurent, en nous documentant sur les maladies les plus connues. Nous avons ensuite travaillé sur les outils mathématiques permettant de modéliser une maladie, d'élaborer des prévisions et mettre en place des stratégies.

Nous avons manqué de temps pour travailler sur le dernier point du problème posé, concernant les diagrammes à compartiments complexes et les maladies nosocomiales.

1. Maladies les plus connues et R_0.

Le nombre R_0, appelé nombre de reproduction initial, est le nombre moyen d'individus contaminés par une personne, lorsque cette personne infectée apparaît dans une population uniquement composée d'individus susceptibles d'être contaminés.

Nous avons trouvé sur l'Internet les données suivantes :

Maladies	**Mode de transmission**	**R_0**
Rougeole	Dans l'air	15-20
Coqueluche	Dans l'air	12-17
Diphtérie	Salive	5-6
Variole	Contact	5-7
Polio	Ingestion de matière fécale	5-7
Rubéole	Dans l'air	5-7
Oreillons	Dans l'air	10-12
Sida	Contact sexuel non protégé, échange sanguin, mère à enfant	2-5
Grippe	Dans l'air	2-5
SRAS	Dans l'air	2-3
Ebola	Contact	1,5-2

Par exemple, dans le cas du virus de la coqueluche, chaque individu infecté qui a été introduit dans une population de personnes qui ne sont pas immunisées, peut contaminer en moyenne entre 12 et 17 personnes.

2. Etude de la Rougeole

Nous avons choisi l'étude de la rougeole car elle constitue une menace de plus en plus sérieuse. En effet, de plus en plus de familles refusent de faire vacciner leurs enfants, aux Etats-Unis et en Europe.

Une épidémie de rougeole en Arizona au début de cette année a d'ailleurs posé problème pour la finale du Super Bowl qui a eu lieu à Phoenix.

Nous avons également choisi la rougeole car nous étions fascinés par son R_0 qui fait partie des plus importants parmi les maladies existantes.

a) Couverture vaccinale minimale

Nous l'avons indiqué précédemment, le R_0 de la rougeole varie entre 15 et 20. Cette variation vient du fait que, selon les épidémies étudiées, le R_0 n'a pas toujours été le même.

On a : $1-\frac{1}{15}\approx 0{,}93$ et $1-\frac{1}{20}=0{,}95$.

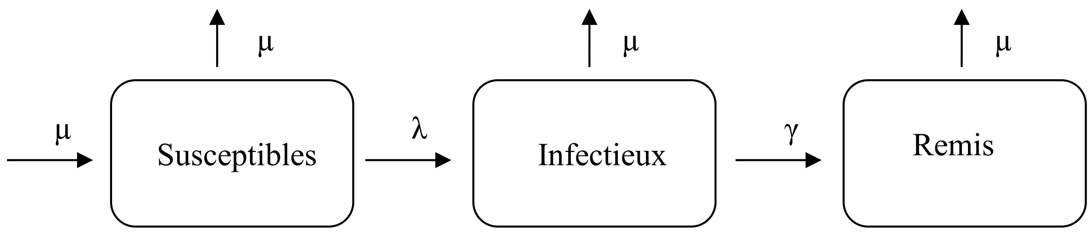
Donc, d'après une propriété que nous avons admise, et qui est obtenue à partir d'un théorème appelé Théorème du seuil, il faudrait vacciner entre 93 et 95 % de la population pour éviter le déclenchement d'une épidémie de rougeole(3).

Ce sont des pourcentages extrêmement élevés. Et la tendance actuelle dans de nombreux pays est bien inférieure. On peut lire sur l'Internet, des forums où les gens mettent en garde contre les dangers de la

vaccination.
Des épidémies de rougeole seraient donc à craindre à l'avenir.

b) Choix du système à compartiments et résultats

Nous avons commencé par travailler avec un système SIR(4), afin de comprendre le mécanisme d'une maladie et commencer à obtenir des résultats.
La case Susceptibles regroupe l'ensemble de la population qui peut être contaminée.
La case Infectieux regroupe l'ensemble de la population qui est infectée par la maladie et contagieuse.
Les flèches entre les cases représentent les mouvements de population entre les catégories.
La case des Remis regroupe les personnes guéries et immunisées contre la maladie.



Le nombre μ, à l'entrée de la case des Susceptibles, représente le taux de natalité de la population étudiée.
On retrouve ce nombre en sortie des cases Susceptibles et Infectieux : il correspond alors au taux de mortalité naturelle, non liée à la maladie. Le choix de prendre le taux de natalité égal au taux de mortalité naturelle peut être justifié si on considère que la maladie ne va pas avoir d'effet important sur l'effectif global de la population étudiée, comme c'est le cas de la grippe saisonnière en France par exemple.

Le nombre λ correspond à la force de contamination, c'est-à-dire la proportion de susceptibles qui deviennent infectieux.

Le nombre γ désigne la proportion d'immunisés parmi les infectieux.
D'après les flèches qui partent du compartiment Infectieux, on comprend dans cet exemple que l'on peut être immunisé ou non une fois que l'on est guéri de la maladie.

Nous avons alors travaillé sur une simulation de la maladie pour une population de 49 Susceptibles et 1 Infectieux. Nous avons complété un fichier Excel et obtenu ceci :

	A	B	C	D	E
1	Temps	Susceptibles	Infectieux	Remis	Pop totale
2	1	49	1	0	50
3	2	34	15	1	50
4	3	-191	225	16	50

Nous avons travaillé avec les formules suivantes :
A2 = A1 + 1 pour écrire les numéros de générations rapidement, par recopie automatique.
E2 = B2 + C2 + D2 pour vérifier qu'il n'y avait pas d'erreur, et qu'on n'avait « perdu » personne ! Dans ce premier essai, nous n'avons pas pensé qu'on pouvait mourir de la rougeole.
C3 = 15^A2

Nous avons choisi un R_0 égal à 15.
Sur la première génération, nous comptons 1 Infectieux.
Sur la deuxième génération, cet Infectieux contamine 15 personnes. On considère, pour faciliter le problème, que l'unité de temps de contagion est la même que celle de guérison. Donc le premier Infectieux est à présent Remis.
Sur la troisième génération, les 15 Infectieux contaminent chacun 15 personnes. Il y a alors 15 * 15 Infectieux.
Et non pas 15 * 15 – 15 car les 15 Infectieux responsables de la troisième génération sont à présent Remis à leur tour.

Sur la quatrième génération, on obtient 15 * 15 * 15 Infectieux.
Et ainsi de suite…
Nous avons découvert alors l'existence des puissances de 15 : 15 * 15 * 15 s'écrit 15^3.

Nous avons donc vu la correspondance :

Génération d'Infectieux	Nombre d'Infectieux
1	1
2	15
3	15 * 15 = 15^2
4	15 * 15 * 15 = 15^3
5	15 * 15 * 15 * 15 = 15^4

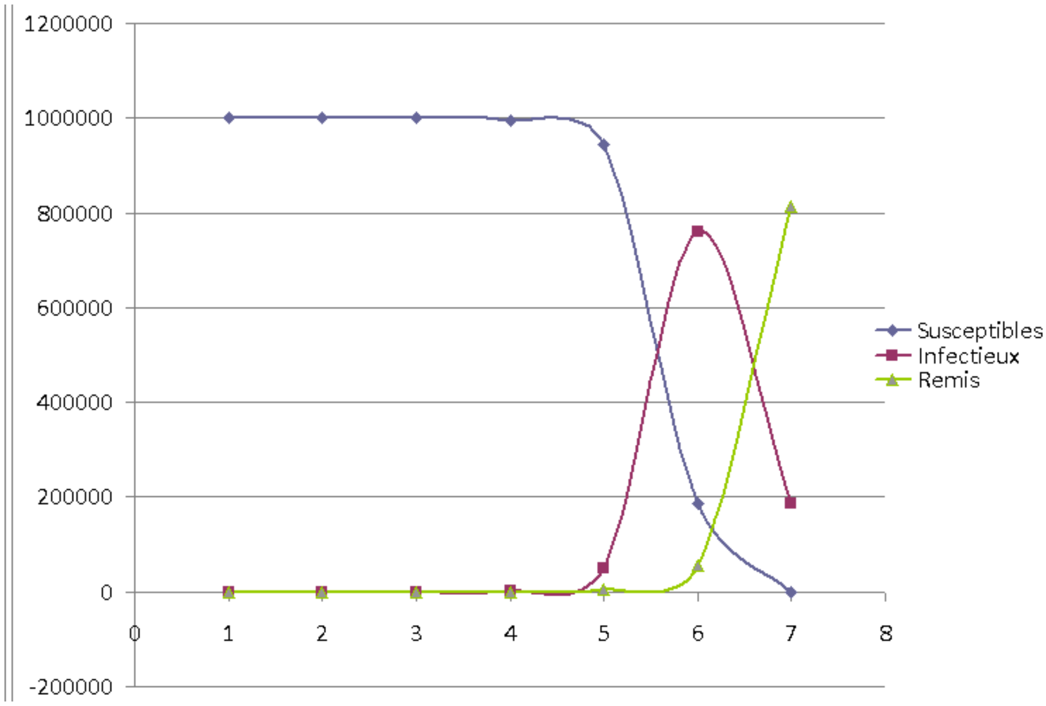
Nous avons donc compris que le nombre d'infectieux est égal à la puissance de 15 d'exposant la génération précédente.

C3 = C2 + D2 : les Remis sont les Infectieux de la génération précédente et tous les Remis précédents.

B3 = B2 – C3 : les Susceptibles sont les Susceptibles de la période précédente moins les nouveaux Infectieux. Les Remis ne sont pas réintégrés dans les Susceptibles car ils sont considérés ici comme Immunisés.
Le résultat obtenu nous a surpris. En effet, l'épidémie dure peu de temps. En 3 générations tous les susceptibles ont été contaminés. Nous avons attribués ce résultat au fait que nous avions travaillé avec une petite population.

Nous avons donc refait les calculs avec une population de 1 000 000 de personnes dont 1 Infectieux.
Nous pensions alors aboutir à des résultats plus longs dans la durée.
Voici les résultats :

	A	B	C	D	E
1	Temps	Susceptibles	Infectieux	Remis	Pop totale
2	1	999999	1	0	1000000
3	2	999984	15	1	1000000
4	3	999759	225	16	1000000
5	4	996384	3375	241	1000000
6	5	945759	50625	3616	1000000
7	6	186384	759375	54241	1000000
8	7	0	186384	813616	1000000
9					



Là encore, nous avons trouvé les résultats plutôt brefs, avec une contamination trop rapide.

En réfléchissant, nous avons douté de notre raisonnement : au fur et à mesure que l'épidémie se répand, il y a de plus d'Infectieux et de Remis et de moins en moins de Susceptibles. Le taux de contact d'un Infectieux doit diminuer et donc le R_0 également.

Nos professeurs nous ont alors dirigé vers une nouvelle approche du problème. Une approche qui nous vient de deux chercheurs Reed et Frost.

L'idée consiste à se poser la question : quelles sont les chances qu'un Susceptible soit contaminé s'il est en contact avec un certain nombre d'Infectieux. En posant la question sous cet angle, nous avions le sentiment de mieux prendre en compte l'idée que le R_0 allait évoluer et même diminuer dans le temps. Du coup, nous pensions que nous obtiendrions des résultats plus proches de ce qui nous semblait être la réalité, et plus étalés dans le temps.

Sous la direction de notre chercheur Laurent, nous avons travaillé sur la démonstration du théorème de Reed Frost, mais c'est resté compliqué pour nous. Le groupe d'élèves de troisième qui a travaillé sur Ebola en donnera une explication.

Nous avons, pour notre part, admis :

si on note p la probabilité d'être contaminé par un Infectieux, I_n et S_n le nombre d'Infectieux et de Susceptibles de la génération n, et S_{n+1} le nombre de Susceptibles de la génération suivante n+1, alors :

$$I_{n+1} = (1-(1-p)^{I_n})S_n$$

$$S_{n+1} = S_n(1-p)^{I_n}$$

On pouvait alors compléter un nouveau fichier Excel, en étudiant toujours une population de 1 000 000 de personnes dont 1 Infectieux, et en choisissant 2% pour la valeur de la probabilité p d'être contaminé par un Infectieux. Ce choix de 2% a été fait au hasard.

Voici les lignes de formule que nous avons tapées :

B3 =B2*(1-H1)^C2
L'expression « H1 » permet de faire une recopie automatique de la formule vers le bas, tout en gardant la valeur en I1 qui était notre probabilité p.
On reconnaît à travers cette formule l'égalité précédente $S_{n+1} = S_n(1-p)^{I_n}$

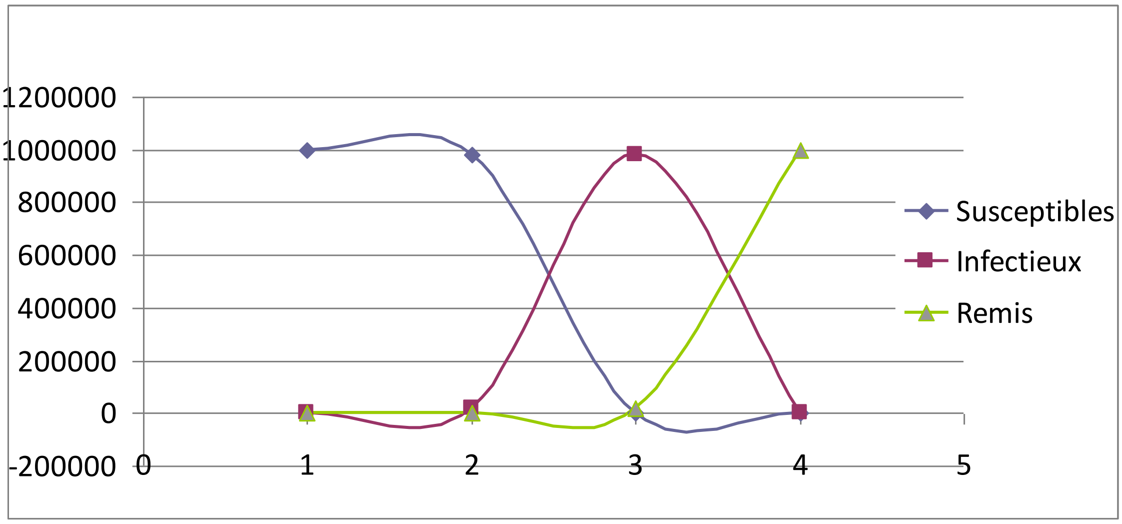
C3 =(1-(1-H1)^C2)*B2
L'utilisation du $ est faite dans le même objectif ici.
On reconnaît là encore l'égalité précédente : $I_{n+1} = (1-(1-p)^{I_n})S_n$

D3 = C2+D2
Le nombre de Remis correspond, sans changement par rapport à notre premier essai, à la somme des Remis précédents et des précédents Infectieux.

On obtient alors :

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Temps	Susceptibles	Infectieux	Remis	Pop totale		p=	0,02
2	1	999999	1	0	1000000			
3	2	979999,02	20000	1	1000000			
4	3	0	979999	20001	1000000			
5	4	0	0	1000000	1000000			
6								

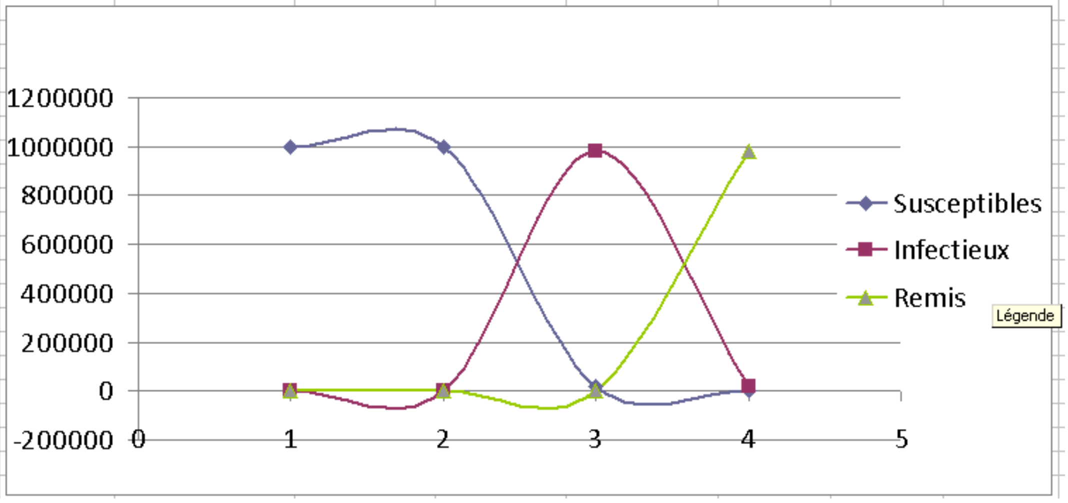
Et le graphique correspondant:



Nous avons été surpris par deux choses : d'une part, contrairement à notre intuition, l'épidémie se déroule très rapidement. D'autre part, le graphique proposé par Excel présente quelques anomalies puisque les courbes passent par des valeurs négatives et des valeurs supérieures à la population totale.

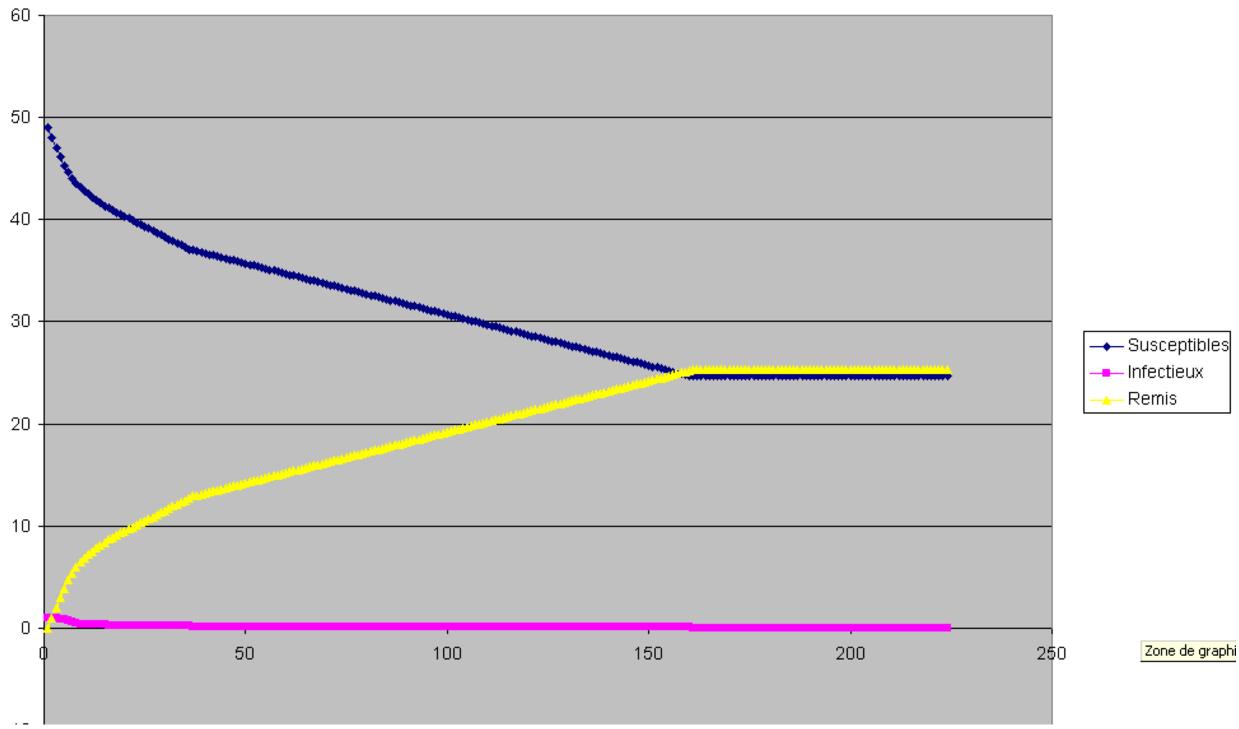
Nous avons effectué une nouvelle simulation pour p = 0,002 et nous avons alors obtenu :

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Temps	Susceptibles	Infectieux	Remis	Pop totale		p=	0,002
2	1	999999	1	0	1000000			
3	2	997999,002	2000	1	1000000			
4	3	18205,9951	979793	2001	1000000			
5	4	0	18206	981794	1000000			



Diviser la probabilité de contamination par 10 n'a pas beaucoup d'effet sur la durée de l'épidémie, il suffit d'une unité de temps supplémentaire pour toucher toute la population.

En reprenant une probabilité de contamination de 0,02 et en diminuant la population à 50 personnes dont un Infectieux, on obtient alors une épidémie bien plus longue dans la durée.



Ensuite, nous nous sommes amusés à faire une simulation d'épidémie pour le Super Bowl qui a eu lieu à Phoenix en Arizona au cours du mois de Février 2015. Nous avons choisi une probabilité p de

contamination de 5% car les gens sont proches les uns des autres dans un stade.
Le stade Phoenix contient environ 60 000 places.

Voici ce que nous avons obtenu :

	A	B	C	D	E
1	Temps	Susceptibles	Infectés	Remis	Pop totale
2	1	60000	5	0	1000000
3	2	46426,8563	13573,1438	5	1000000
4					

Nous n'avons travaillé que sur une période de contamination car le match de football américain ne dure pas davantage de temps.
Nous avons obtenu une estimation de 13 500 personnes contaminées tout de même ! Si notre modèle est valable, on comprend les inquiétudes des autorités pour l'organisation du Super Bowl.

Sur le même principe, nous avons simulé une épidémie de rougeole dans notre collège. Nous l'avons limitée à deux périodes de contamination, dans la mesure où une campagne de vaccination serait effectuée, et la vaccination est efficace sous 4 jours.
Bien sûr, cette simulation n'est pas réaliste car beaucoup de nos camarades sont vaccinés. Mais elle donne une idée de ce qui se produirait si, à l'avenir, les gens décidaient de ne pas vacciner leurs enfants.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Temps	Susceptibles	Infectieux	Remis	Pop totale		0,02
2	1	570	1	0	571		
3	2	558,6	11,4	1	571		

Nous obtenons une contamination de 11 élèves environ parmi 571 avec une probabilité d'infection de 2%.
Pour finir, nous nous sommes documentés sur les caractéristiques de la rougeole afin d'élaborer un système à compartiments adapté. Dans le but ensuite d'obtenir de nouvelles données sur Excel plus proches de la réalité.

Nous avons appris que la rougeole est contagieuse 3 à 5 jours **avant le début de l'apparition de l'éruption** et le maximum de la contagion survient environ 3 jours **avant**. Nous avons donc écarté le compartiment des Exposés, puisqu'on peut être contagieux avant de présenter les symptômes.

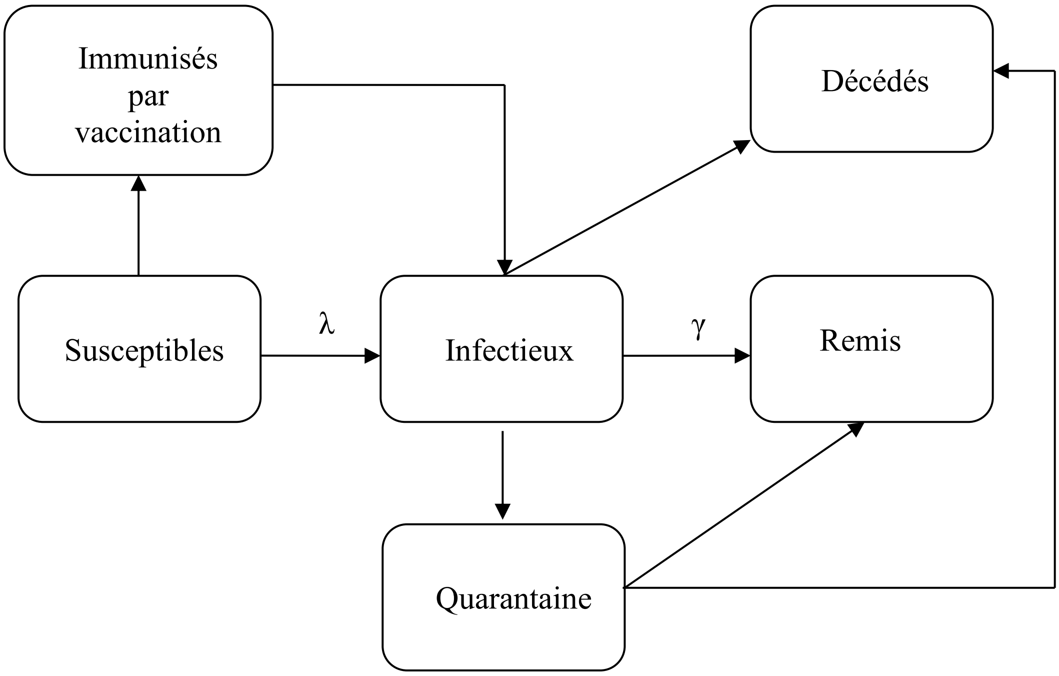
Vu que les symptômes apparaissent après le début de la période de contagion, la quarantaine est un choix stratégique insuffisant. Mais comme la période de contagion dure encore quelques jours après les symptômes, ce dispositif peut tout de même diminuer le R_0 en faisant baisser le taux de contact qui intervient dans le calcul du R_0.

Nous avons donc choisi de garder le compartiment Quarantaine.

La rougeole est une maladie grave, qui cause des décès chaque année. Nous avons donc intégré le compartiment Décès.

Enfin, nous avons appris que l'immunité contre la rougeole est définitive si elle est obtenue après avoir contracté la maladie, mais peut parfois disparaître si elle a été obtenue par vaccination au bout d'une période supérieure à 20 ans.

Nous avons donc abouti à ce type de système (pour simplifier, nous n'avons pas fait apparaître les transferts de population liés à la natalité et la mortalité sans rapport avec la rougeole):



Nous n'avons pas eu le temps, malheureusement, de créer de fichier Excel sur la base de ce système.

6. Etude de Ebola

Nous avons commencé par travailler sur un système SIRD afin d'en comprendre les mécanismes (D désignant le compartiments des personnes décédés).

Nous avons cherché à faire un modèle pour une épidémie de Ebola sur une population de 999 personnes Susceptibles et 1 Infectieux, avec un R_0 égale à 2. Nous avons pris le parti que la moitié de la population serait Remise et l'autre moitié Décédée en fin de maladie.

Nous avons complété les cellules du fichier Excel de la façon suivante :
C5 = 2^A5 L'utilisation de l'écriture puissance a déjà été expliquée pour le premier fichier sur la rougeole. Nous n'y revenons pas.

D5 = C4/2 + D4 Le nombre de Remis correspond à la moitié des malades de la génération précédente, à laquelle il faut ajouter les Remis des périodes précédentes.

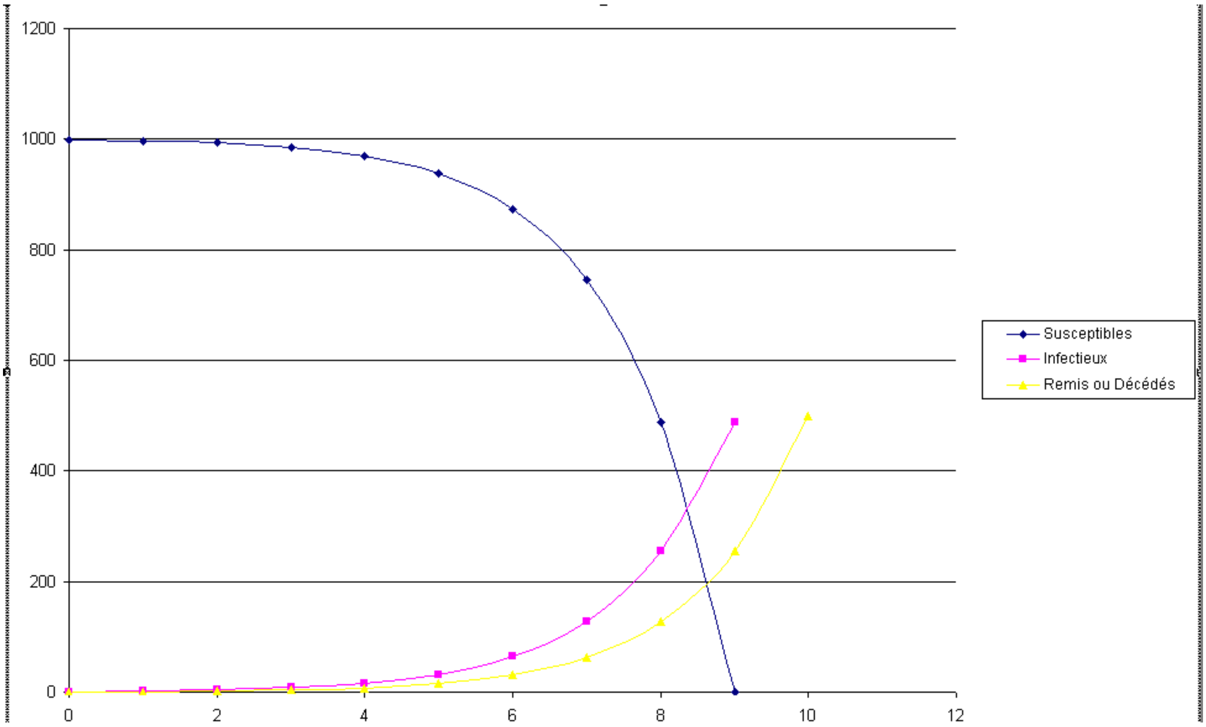
E5 = C4/2 + E4 Le nombre de Décédés correspond à la moitié des malades de la génération précédente, à laquelle il faut ajouter les Décédés des périodes précédentes.

B5 =1000 - C5 - D5 - E5 Le nombre de Susceptibles est le nombre total de la population de départ auquel on enlève les autres compartiments.

Nous avons obtenu le fichier suivant :

	A	B	C	D	E
1	Modèle SIR	Avec R0 = 2	Taux de décès : 0,5		
2					
3	Temps	Susceptibles	Infectieux	Remis	Décédés
4	0	999	1	0	0
5	1	997	2	0,5	0,5
6	2	993	4	1,5	1,5
7	3	985	8	3,5	3,5
8	4	969	16	7,5	7,5
9	5	937	32	15,5	15,5
10	6	873	64	31,5	31,5
11	7	745	128	63,5	63,5
12	8	489	256	127,5	127,5
13	9	0	489	255,5	255,5
14	10			500	500
15					

Nous avons obtenu le graphique suivant :



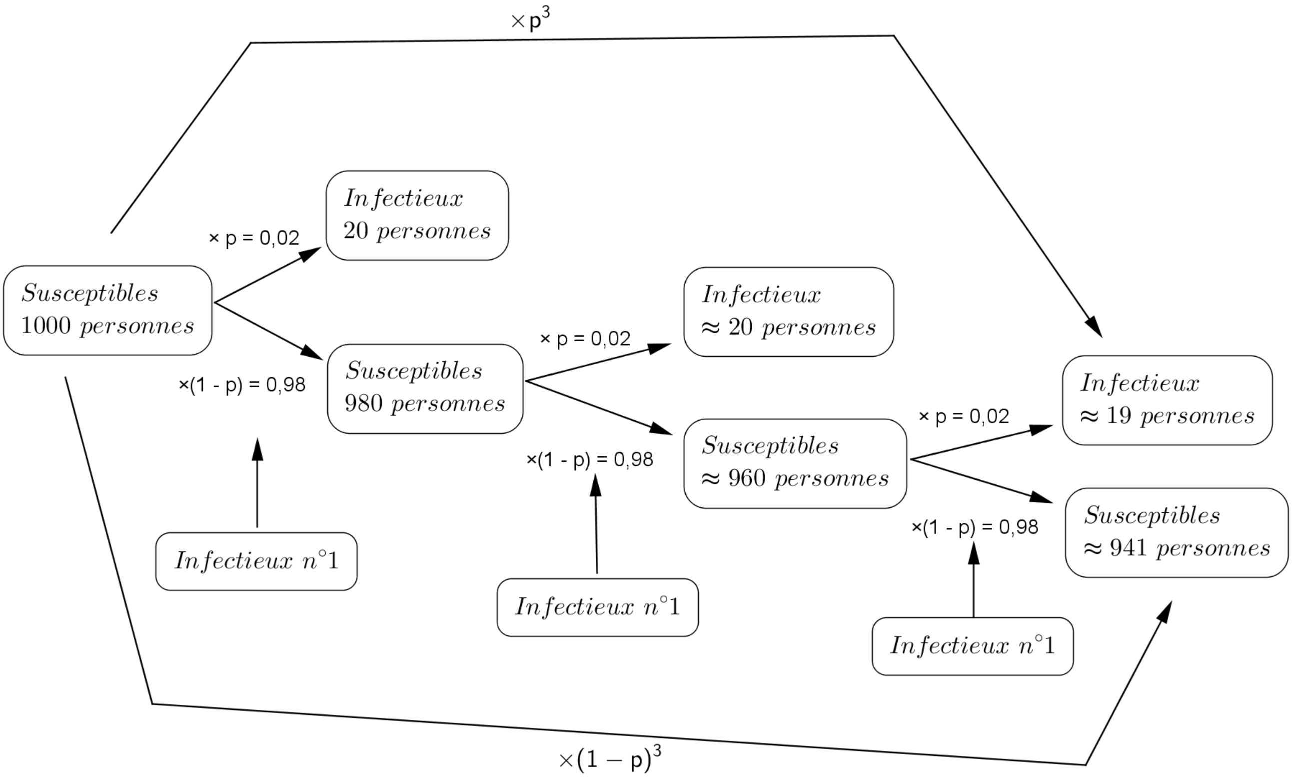
Le R_0 du virus Ebola étant parmi les moins élevés, nous avons été surpris de la rapidité avec laquelle l'épidémie a concerné l'ensemble de la population.

Nous avons alors réfléchi à la façon dont se propage la maladie : plus la maladie se propage, plus le nombre de susceptibles diminue. Et il paraît exagéré de penser qu'à chaque génération de contamination, tous les Infectieux vont contaminer 2 Susceptibles, comme si chaque Infectieux était entouré uniquement de Susceptibles.

Nous avons alors été dirigés par les travaux de Reed et Frost. Nous avons essayé de les comprendre en utilisant un arbre. Ca a été l'occasion pour nous de découvrir ce que sont une probabilité et un arbre de probabilité.

Nous avons donc commencé par réfléchir sur la probabilité pour une population de 1000 susceptibles d'être infectés par 3 infectieux en choisissant (au hasard) que la probabilité d'être contaminé par un Infectieux était égale à 2%.

On a cherché à compléter un arbre à 3 ramifications. Sur le tronc de l'arbre, nous avons une population de Susceptibles. A chaque ramification, on se pose la question de la probabilité d'être contaminé par un Infectieux.
Voici ce que nous avons obtenu :



En notant n une période de l'épidémie, S_n le nombre de Susceptibles, I_n le nombre d'Infectieux, R_n le nombres de Remis et D_n le nombre de Décédés de cette période, on a pu établir successivement, en partant de l'exemple chiffré ci-dessus :

1 – p est la probabilité <u>de ne pas</u> être contaminé par 1 infectieux.
$(1-p)^{I_n}$ est la probabilité <u>de ne pas</u> être contaminé par I_n infectieux.
$(1-(1-p)^{I_n})$ est la probabilité <u>d'être</u> contaminé par I_n infectieux.
$S_n(1-(1-p)^{I_n})$ <u>est le nombre d'Infectieux</u> pour la période suivant la période n, c'est-à-dire : I_{n+1}

Nous avons donc complété un nouveau fichier Excel avec les lignes suivantes :

C5 = =ARRONDI(B4*(1-(1-H4)^C4);0) Nous avons appris l'utilisation de la fonction arrondi de Excel pour travailler avec des résultats entiers.

D5 =0,3*C4+D4 Nous avons choisi dresser un exemple avec seulement 30% de guérison.

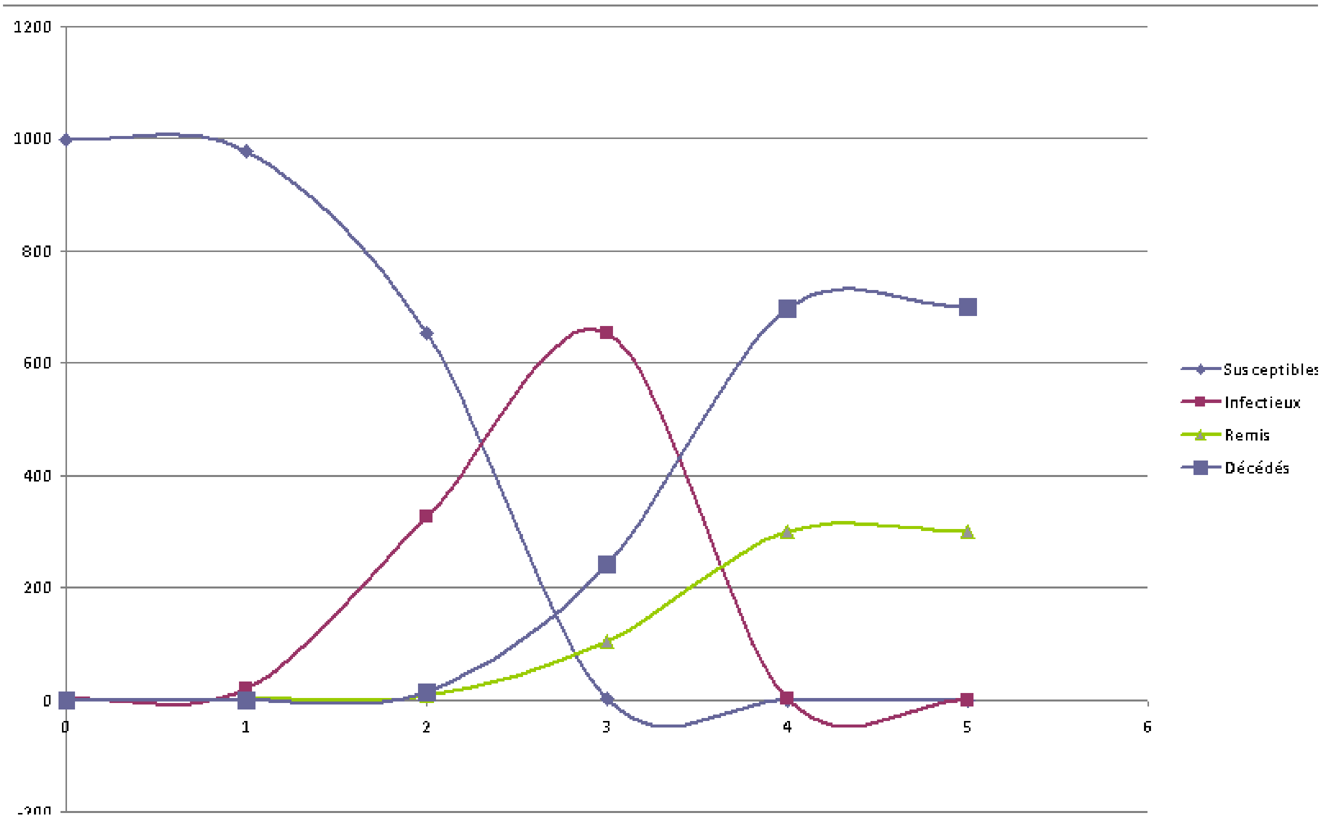
E5 = 0,7*C4+E4 Il y a donc 70% de mortalité liée à Ebola.

B5 = B4 – C5 Le nombre de Susceptibles est la différence entre l'ancien effectif de Susceptibles et le nombre de nouveaux cas d'Infectieux.

Avec une probabilité de contamination d'un Susceptible par un Infectieux sur une période de temps égale à 0,02 (2%) nous obtenons les résultats suivants :

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Reed Frost	Population 1000 h		Modèle SIRD				p: proba de contamination d'un susceptible		
2								par un infectieux sur une unité de temps		
3	Temps	Susceptibles	Infectieux	Remis	Décédés	Pop totale				
4	0	999	1	0	0	1000		0,02		
5	1	979	20	0,3	0	999,3				
6	2	654	325	6,3	14	999,3				
7	3	1	653	103,8	241,5	999,3				
8	4	0	1	299,7	698,6	999,3				
9	5	0	0	300	699,3	999,3				

Avec le graphique suivant :



Nous avons été surpris par le résultat. Nous nous attendions à une épidémie sur une durée beaucoup plus longue.
Nous avons alors effectué le test sur une population équivalente à celle du Libéria (environ 4 000 000 d'habitants) car nous pensions que nous travaillions avec une population trop petite.
Voici le résultat :

	A	B	C	D	E	F
1	Reed Frost	Population Libéria		Modèle SIRD		
2						
3	Temps	Susceptibles	Infectieux	Remis	Décédés	Pop totale
4	0	4000000	1	0	0	4000001
5	1	3920000	80000	0,3	0	4000000,3
6	2	0	3920000	24000,3	56000	4000000,3
7	3	0	0	1200000,3	2800000	4000000,3
8						
9						
10						

Le résultat est encore plus bref que le précédent !

Nous avons alors effectué le même test avec une population très petite, de 50 habitants. Voilà le résultat :

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Reed Frost	Population 50 h		Modèle SIRD				p: proba de contamination d'un susceptible
2								par un infectieux sur une unité de temps
3	Temps	Susceptibles	Infectieux	Remis	Décédés	Pop totale		
4	0	49	1	0	0	50		0,02
5	1	48	1	0,3	45	94,3		
6	2	47	1	0,6	45,7	94,3		
7	3	46	1	0,9	46,4	94,3		
8	4	45	1	1,2	47,1	94,3		
9	5	44	1	1,5	47,8	94,3		
10	6	43	1	1,8	48,5	94,3		
11	7	42	1	2,1	49,2	94,3		
12	8	41	1	2,4	49,9	94,3		
13	9	40	1	2,7	50,6	94,3		
14	10	39	1	3	51,3	94,3		
15	11	38	1	3,3	52	94,3		
16	12	37	1	3,6	52,7	94,3		
17	13	36	1	3,9	53,4	94,3		
18	14	35	1	4,2	54,1	94,3		
19	15	34	1	4,5	54,8	94,3		
20	16	33	1	4,8	55,5	94,3		
21	17	32	1	5,1	56,2	94,3		
22	18	31	1	5,4	56,9	94,3		
23	19	30	1	5,7	57,6	94,3		
24	20	29	1	6	58,3	94,3		
25	21	28	1	6,3	59	94,3		
26	22	27	1	6,6	59,7	94,3		
27	23	26	1	6,9	60,4	94,3		
28	24	25	1	7,2	61,1	94,3		
29	25	25	1	7,5	61,8	95,3		
30	26	25	1	7,8	62,5	96,3		
31	27	25	1	8,1	63,2	97,3		
32	28	25	1	8,4	63,9	98,3		
33	29	25	1	8,7	64,6	99,3		
34	30	25	1	9	65,3	100,3		
35	31	25	1	9,3	66	101,3		

L'épidémie dure longtemps. Nous avons été jusqu'à 300 générations de contamination. Voici les résultats des 3 dernières périodes.

Temps	Susceptibles	Infectieux	Remis	Décédés	Population totale
298	25	1	89,4	252,9	368,3
299	25	1	89,7	253,6	369,3
300	25	1	90	254,3	370,3

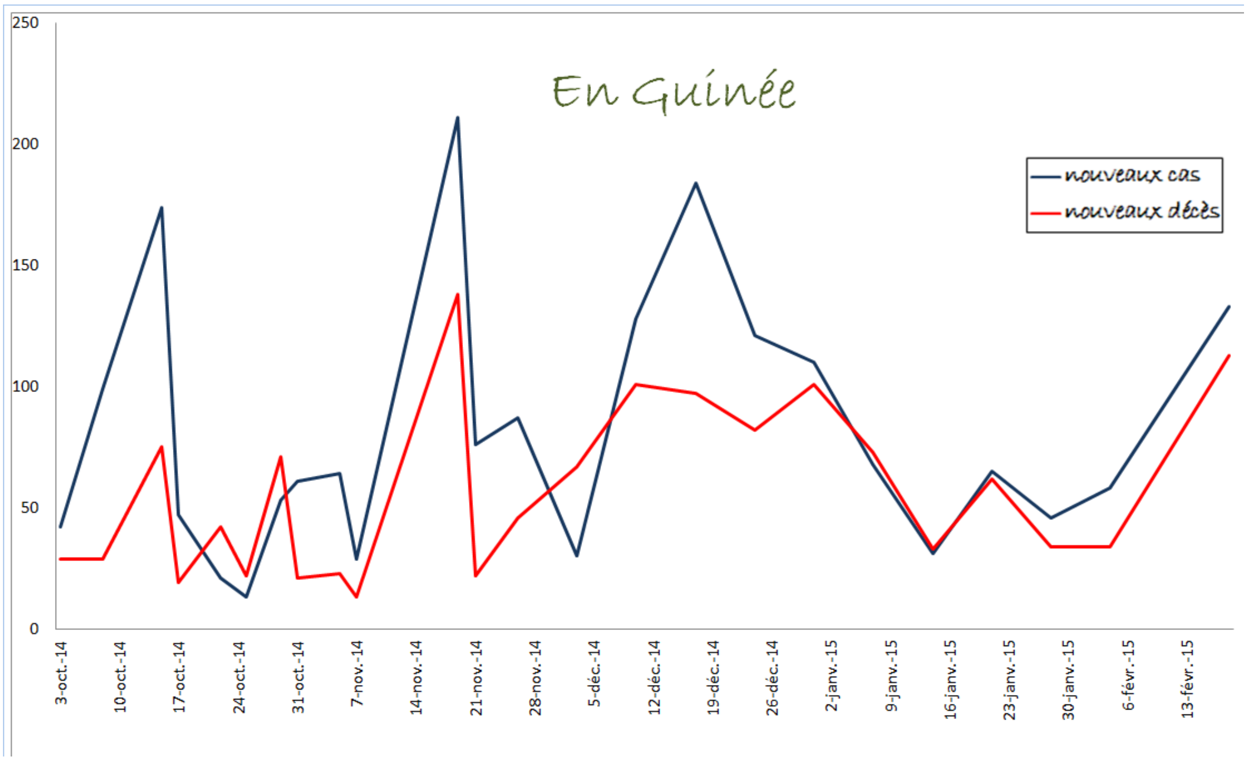
Nous avons alors établi une conjecture : nos modèles ne correspondent pas à la réalité. En effet, nous pensons que nous avons travaillé comme si toutes les personnes vivaient ensemble au contact de toutes les autres, comme si elles étaient regroupées dans une même pièce, ce qui n'est évidemment pas le cas dans la réalité. Ce contact exagéré rend plus forte la contamination et l'accélère d'autant plus que la population est élevée.

Nous avons enfin travaillé sur des données de l'Unesco pour obtenir des courbes à comparer avec nos modèles. Nous avons pris sur le site Internet de l'Unesco des relevés d'effectifs (colonnes B et C) que nous avons copiés dans des fichiers Excel. Nous avons ensuite exploité les données pour faire apparaître les effectifs de nouveaux cas et de nouveaux décès, afin de comparer avec les courbes obtenues précédemment.

Voici les résultats :

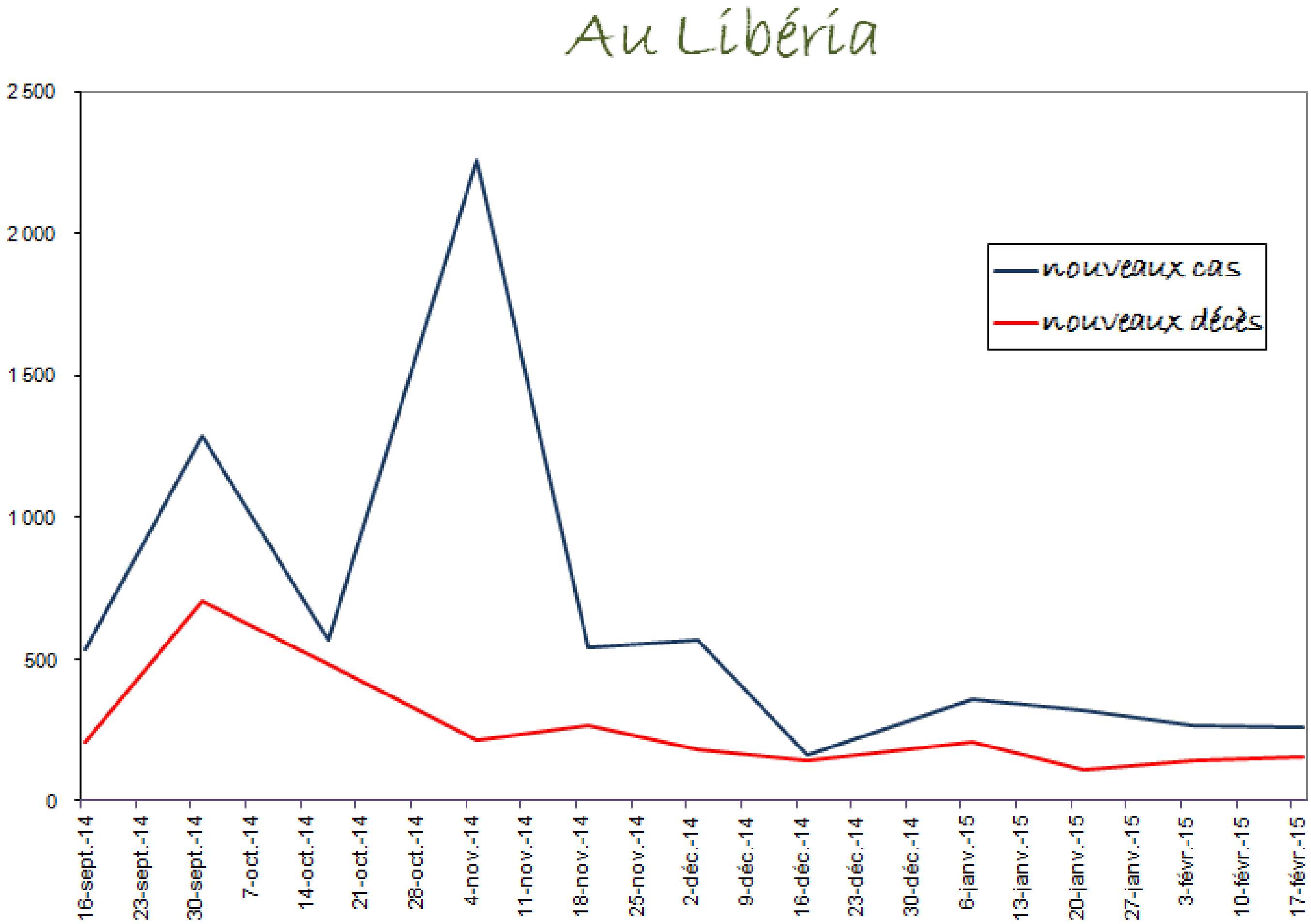
<u>Pour la Guinée</u>

	A	B	C	D	E
1		Cas total	Décès	Nouveau cas	Nouveau décès
2	01-oct-14	1157	710		
3	03-oct-14	1199	739	42	29
4	08-oct-14	1298	768	99	29
5	15-oct-14	1472	843	174	75
6	17-oct-14	1519	862	47	19
7	22-oct-14	1540	904	21	42
8	25-oct-14	1553	926	13	22
9	29-oct	1606	997	53	71
10	31-oct-14	1667	1018	61	21
11	05-nov-14	1731	1041	64	23
12	07-nov-14	1760	1054	29	13
13	19-nov-14	1971	1192	211	138
14	21-nov-14	2047	1214	76	22
15	26-nov-14	2134	1260	87	46
16	03-déc-14	2164	1327	30	67
17	10-déc-14	2292	1428	128	101
18	17-déc	2476	1525	184	97
19	24-déc-14	2597	1607	121	82
20	31-déc-14	2707	1708	110	101
21	07-janv-15	2775	1781	68	73
22	14-janv-15	2806	1814	31	33
23	21-janv-15	2871	1876	65	62
24	28-janv-15	2917	1910	46	34
25	04-févr-15	2975	1944	58	34
26	18-févr-15	3108	2057	133	113



Pour le Libéria

	A	B	C	D	E
1	date	cas	décédés	cas de la quinzaine	décédés de la quinzaine
2					
3	29-août-14	1378	694		
4	5-sept.-14	1 871	1 089	493	395
5	16-sept.-14	2 407	1 296	536	207
6	1-oct.-14	3 696	1 998	1 289	702
7	17-oct.-14	4 262	2 484	566	486
8	5-nov.-14	6 525	2 697	2 263	213
9	19-nov.-14	7 069	2 964	544	267
10	3-déc.-14	7 635	3 145	566	181
11	17-déc.-14	7 797	3 290	162	145
12	7-janv.-15	8 157	3 496	360	206
13	21-janv.-15	8 478	3 605	321	109
14	4-févr.-15	8 745	3 746	267	141
15	18-févr.-15	9 007	3 900	262	154
16					



Ces courbes ne ressemblent pas à celles que nous avons obtenues. Nous n'avons pas eu malheureusement le temps de travailler sur ces données pour faire évoluer nos modèles.

Remerciements

Nous tenons à remercier notre chercheur Laurent Pujo Menjouet ainsi que les enseignants du collège avec qui nous avons passé de bons moments à travailler sur ce sujet passionnant.

Notes d'éditions

(1) Le travail présenté ici est assez différent de ce qui se fait en général dans les ateliers MATh.enJEANS. Il ne s'agit ici de résoudre un problème mathématique ; il s'agit de confronter des modèles mathématiques élaborés par des mathématiciens en collaboration avec des épidémiologistes avec la réalité en utilisant des données statistiques existantes.

(2) On verra dans la suite de l'article que signifie R_0

(3) Le « Théorème du seuil » ne permet pas de dire que si 95% de la population est vaccinée, alors on évitera le déclenchement d'une épidémie de rougeole. Ce qu'il dit c'est qu'on a de très grandes chances d'éviter ce déclenchement.

(4) SIR : pour Susceptibles Infectieux Remis