

Square

DONNER DU FUTUR AU TALENT



LES MODÈLES ÉPIDÉMIOLOGIQUES ET LEUR APPLICATION EN ASSURANCE

TOM POPA



LES MODÈLES ÉPIDÉMIOLOGIQUES ET LEUR APPLICATION EN ASSURANCE



Auteur : Tom Popa, Project Manager





ÉDITO

La pandémie de COVID-19, apparue à Wuhan en Chine et qui s'est ensuite propagée au monde entier, est un défi global. C'est tout d'abord un défi médical : il faut prendre en charge les malades, découvrir le moyen de les traiter et tenter de trouver un vaccin. C'est aussi un défi social et économique avec la moitié de l'humanité qui s'est retrouvée confinée au pic de l'épidémie, des économies qui ont tourné au ralenti, des hausses du chômage et des déficits publics. Afin d'être en mesure de relever ces défis en anticipant l'évolution de la pandémie, les pouvoirs publics se sont appuyés sur l'épidémiologie.

L'épidémiologie permet d'étudier le développement de troubles de la santé et de maladies au sein de la population humaine. Les épidémiologistes analysent la fréquence d'apparition des maladies, leur évolution dans le temps ainsi que leur distribution dans l'espace. Ils étudient notamment les causes des maladies et les facteurs aggravants qui causent les épidémies. L'épidémiologie s'appuie sur des modèles mathématiques qui permettent de simuler la propagation d'une maladie tel qu'un virus comme le SARS-CoV-2 responsable de la pandémie de COVID-19. Aujourd'hui, les meilleurs épidémiologistes conseillent les chefs d'États et les gouvernements du monde entier sur la compréhension de la maladie et les stratégies à déployer pour la combattre. Ils tentent de modéliser la progression du virus pour mieux la circonscrire.

Mais les épidémiologistes ne sont pas les seuls à utiliser ces outils : les modèles épidémiologiques peuvent être également employés par les assureurs dans le cadre de la tarification de produits de santé-prévoyance ou pour évaluer l'exposition de leur portefeuille au risque de pandémie dans le cadre de la norme prudentielle Solvabilité 2.

Le présent focus se penche sur les modèles épidémiologiques en présentant les principaux indicateurs caractérisant une épidémie, les différents modèles existants et enfin la manière dont ils peuvent être pris en considération par les assureurs.



DONNER DU FUTUR AU TALENT

SOMMAIRE

1.	Contagiosité et virulence d'une épidémie.....	9
2.	Les différents modèles épidémiologiques.....	15
3.	Modèles épidémiologiques et assurance.....	21
4.	Conclusion.....	29
5.	Square.....	30



1.

CONTAGIOSITÉ ET VIRULENCE D'UNE ÉPIDÉMIE

Une épidémie est quantifiée par deux types de variables :

- La **contagiosité** qui caractérise la propagation de la maladie au sein de la population. La contagiosité est exprimée avec le nombre de reproduction de base R_0 .
- La **virulence** qui caractérise la létalité de la maladie avec le taux de décès de la population touchée par la maladie.

1.1 NOMBRE DE REPRODUCTION DE BASE R_0

Le pouvoir de contagiosité est caractérisé par le **nombre de reproduction de base** que l'on

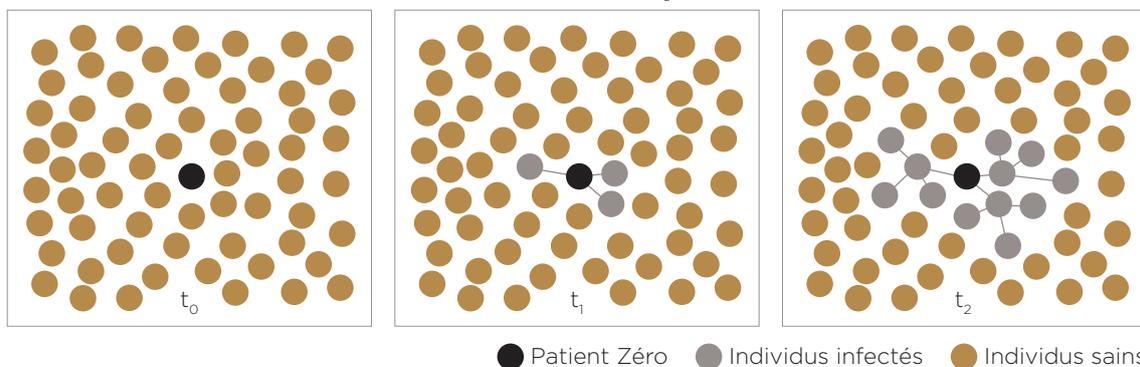
appelle aussi le R_0 . La grandeur R_0 est définie comme suit :

$$R_0 \propto \left(\text{Nombre de contacts par unités de temps} \right) \times \left(\text{Probabilité de transmission par contact} \right) \times \left(\text{Durée de l'infection} \right)$$

1.1.1 Comment s'interprète concrètement le R_0 ?

Supposons que pour une maladie le R_0 est égal à 3. Cela signifie que pour chaque individu infecté, cet individu est capable, en moyenne, d'infecter à son tour trois personnes saines. C'est ainsi que la maladie se propage depuis le Patient Zéro (le premier individu à contracter la maladie) comme illustré sur l'exemple ci-dessous à trois étapes de la maladie :

Figure 1. Exemple de propagation d'une maladie avec $R_0 = 3$



On comprend du schéma ci-dessus que la maladie se propage uniquement si un individu est susceptible en moyenne de contaminer plus d'une autre personne : en effet, si chaque individu contamine moins d'une personne, de moins en moins d'individus sont infectés et la maladie finit par disparaître d'elle-même. On en déduit la règle suivante :

- $R_0 < 1$: une personne infecte moins d'une personne, la maladie disparaît d'elle-même ;
- $R_0 = 1$: une personne infecte une personne, le nombre de malades est stable et il n'y a pas d'épidémie ;
- $R_0 > 1$: une personne infecte plus d'une personne, la maladie se propage dans la population et provoque une épidémie.

Le R_0 varie grandement d'une maladie à une autre, comme illustré sur le tableau ci-dessous.

Tableau 1. R_0 et mode de transmission pour plusieurs maladies

Sources : CDC, OMS, CIDRAP, études diverses

Maladie	Transmission (Mode principal)	Nombre de reproduction de base R_0
Rougeole	Aéroporté	12 à 18
Coqueluche	Aéroporté	12 à 17
Varicelle	Aéroporté	7 à 10
Diptérie	Aéroporté	6 à 7
Variole	Aéroporté	5 à 7
Rubéole	Aéroporté	5 à 7
Polio	Fécal-oral	5 à 7
Oreillons	Aéroporté	4 à 7
Hépatite B	Fluides corporels	1,4 à 7
VIH	Contact sexuel	2 à 5
SRAS	Aéroporté	1,2 à 3,6
Grippe saisonnière	Aéroporté	1 à 3
Grippe Espagnole 1918	Aéroporté	1,4 à 2,8
Grippe H1N1 2009	Aéroporté	1,4 à 1,6
Ebola	Fluides corporels	1,2 à 2
E. coli	Fécal-oral	0,3 à 2
MERS	Aéroporté	0,3 à 0,8

1.1.2 Quel est le R_0 pour le COVID-19 ?

Pour le COVID-19, la première estimation de l'OMS était que le R_0 était situé entre 1,4 et 2,5. Selon l'article de Liu, Gayle, Wilder-Smith et Rocklöv publié dans le *Journal of Travel Medicine*, une estimation du R_0 pour le COVID-19 atteint une moyenne de 3,28 avec des résultats allant de 1,4 à 6,49¹.

Lors d'une épidémie, il est possible de faire baisser le R_0 en prenant des actions qui peuvent faire baisser le nombre de contacts, comme par exemple le respect des gestes barrières et l'instauration du confinement. En France, le gouvernement a annoncé que le confinement a permis de faire baisser le R_0 du COVID-19 de 3,3 à 0,5 en quelques semaines².

1.1.3 Les limites du R_0

Le R_0 est une grandeur compliquée à estimer, notamment en plein milieu d'une épidémie, et peut varier d'un territoire à un autre à cause par exemple des différentes densités de population. L'estimation fiable du R_0 se fait souvent a posteriori sur la base des statistiques récoltées durant l'épidémie (par les tests et les diagnostics). Le R_0 dépend aussi du modèle et des données utilisés pour l'estimer : différentes études peuvent conduire à des résultats disparates (comme observé pour le COVID-19).

Il est à noter également que le R_0 n'est pas le seul paramètre à considérer dans la lutte contre la propagation d'une épidémie. Il faut aussi prendre en compte le nombre de cas initiaux, le délai entre l'apparition des symptômes et l'isolation, la capacité à tracer les contacts probables, les transmissions avant l'apparition des symptômes et la part d'infections subcliniques³.

1. <https://academic.oup.com/jtm/article/27/2/taaa021/5735319>

2. Source : *Estimating the burden of SARS-CoV-2 in France*, 20 avril 2020

3. Source : *COVID-19 R0 : Magic number or conundrum?*, G. Viceconte & N. Petrosillo, Février 2020

1.2 IMMUNITÉ COLLECTIVE

Au cours d'une épidémie, on peut mesurer la proportion de personnes qui ont été en contact avec la maladie par le taux d'attaque :

$$\text{Taux d'attaque} = \frac{\text{(Total des nouveaux cas sur une période donnée)}}{\text{(Total de personnes à risque sur la même période)}}$$

Ce taux d'attaque peut varier d'une zone géographique à une autre dans le cas d'une épidémie. La carte ci-contre montre pour le COVID-19 la projection de personnes en contact avec la maladie en France au 11 mai 2020 lors du déconfinement.

Si suffisamment de personnes sont immunisées ou vaccinées, la maladie a du mal à se propager. Prenons les deux exemples illustrés ci-dessous :

Figure 2. Proportion d'infectés en France au 11 mai 2020 (Moyenne globale : 5,7%)⁴

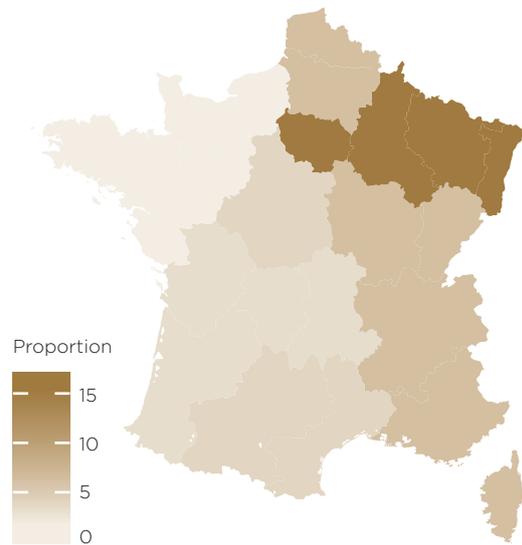
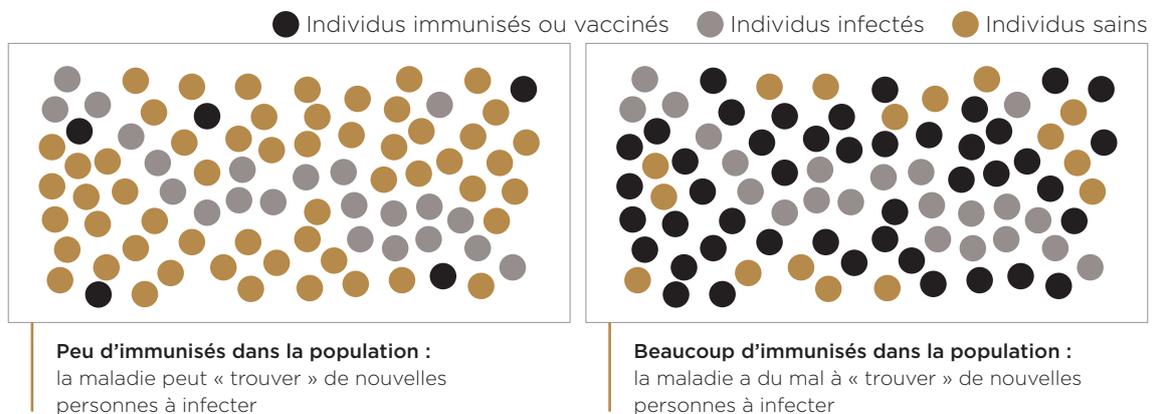


Figure 3. Propagation d'une maladie selon la proportion d'immunisés ou vaccinés



On définit **l'immunité collective**, également appelée immunité grégaire, comme le phénomène où suffisamment d'individus dans la population sont immunisés ou vaccinés et, en conséquence, la propagation de la maladie est enrayée.

Le seuil d'immunité collective p est défini de la façon suivante :

$$p = \left(1 - \frac{1}{R_0} \right)$$

Par exemple, pour le COVID-19, avec $R_0 = 3,3$, le seuil d'immunité collective à atteindre pour que le développement de la maladie soit enrayé est de 69,7%. Cela signifie qu'il faut que 69,7% de la population soit immunisée ou vaccinée pour espérer voir disparaître la maladie.

Pour une maladie avec R_0 inférieur à 1, la maladie disparaît sans nécessité d'immunité collective.

4. Source : Estimating the burden of SARS-CoV-2 in France, 20 avril 2020

Pour les autres maladies, en reprenant les chiffres du tableau 1, on a les seuils d'immunité collective suivants :

Tableau 2. Seuil d'immunité collective pour plusieurs maladies

Maladie	R ₀	Seuil d'immunité collective
Rougeole	12 à 18	91% à 94%
Coqueluche	12 à 17	91% à 94%
Varicelle	7 à 10	86% à 90%
Diphthérie	6 à 7	83% à 86%
Variole	5 à 7	80% à 86%
Rubéole	5 à 7	80% à 86%
Polio	5 à 7	80% à 86%
Oreillons	4 à 7	75% à 86%
Hépatite B	1,4 à 7	29% à 86%
VIH	2 à 5	50% à 80%
SRAS	1,2 à 3,6	16% à 72%
Grippe saisonnière	1 à 3	Moins de 67%
Grippe Espagnole 1918	1,4 à 2,8	29% à 64%
Grippe H1N1 2009	1,4 à 1,6	29% à 38%
Ebola	1,2 à 2	16% à 50%
E. coli	0,3 à 2	Moins de 50%

1.3 VIRULENCE DE L'ÉPIDÉMIE

Pour une maladie, on peut compter le nombre de décès qui y sont liés et le rapporter au nombre total d'individus touchés par la maladie. On obtient ainsi le taux de létalité :

$$\text{Taux de létalité} = \frac{\text{Décès confirmés liés à la maladie}}{\text{Nombre de cas confirmés atteints par la maladie}}$$

Le taux de létalité permet d'obtenir la mortalité des décès confirmés par une maladie parmi une population dont la contamination par la maladie a été confirmée par un test et un diagnostic.

Ainsi, on parle en anglais de « Case Fatality Rate » (CFR).

Toutefois, lors d'une épidémie telle que celle du COVID-19, il y a des cas asymptomatiques et surtout de nombreux cas qui ne sont pas testés. Ces cas ne sont donc pas intégrés dans le calcul du CFR. Pour palier cela, il existe le taux « Infection Fatality Rate » (IFR) qui estime la mortalité en prenant en compte ces cas non détectés. Si les décès sont correctement attribués entre la maladie et les autres causes, l'IFR est alors plus faible que le CFR.

Pour certaines maladies comme le VIH ou la rage, un traitement peut contribuer à faire baisser considérablement la létalité de la maladie.

1.4 COMPARAISON DU COVID-19 AVEC LES AUTRES MALADIES

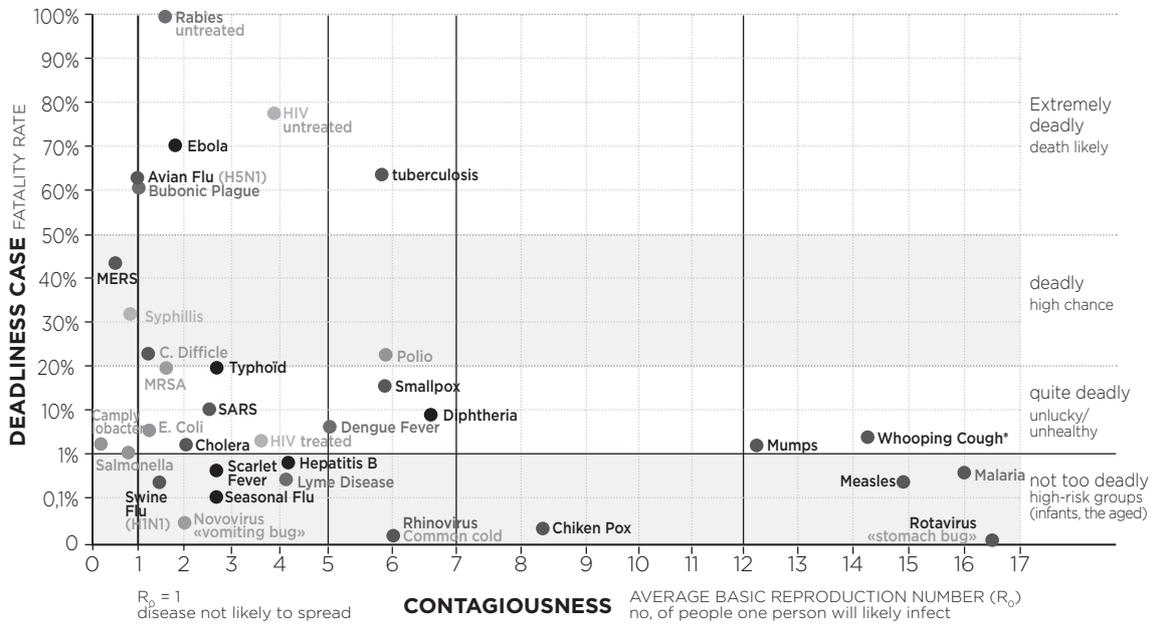
La figure 4 montre pour les principales maladies, qui circulent ou ont circulé avant 2020, quels sont les R₀ caractérisant la contagiosité et les taux de létalité caractérisant la virulence.

Pour le COVID-19, l'OMS a annoncé en mars 2020 que le taux de létalité (sur les cas observés) était globalement de 3,4%⁵, bien plus élevé donc que la grippe saisonnière. Ce taux varie selon l'âge (les personnes âgées ont un taux de létalité bien plus élevé que celui des plus jeunes) et selon la zone géographique (d'un pays à l'autre, le taux de létalité observé n'est pas le même).

Seules de nouvelles études qui seront publiées suite à l'épidémie de COVID-19 et après des campagnes massives de dépistage sérologique permettront d'affiner les chiffres autour du R₀ et du taux de létalité.

5. Source : WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19, 3 mars 2020

Figure 4. Cartographie des maladies par contagiosité et létalité, Sources : CDC, OMS, CIDRAP, études diverses



2.

LES DIFFÉRENTS MODÈLES ÉPIDÉMIOLOGIQUES

2.1 UN MODÈLE DE BASE : LE MODÈLE SIR

En 1927, William Kermack et Anderson McKendrick, deux épidémiologistes écossais, ont mis au point un modèle pour prédire le développement d'une épidémie au sein d'une population. Ce modèle vaut pour une maladie qui touche une population donnée et la divise en trois catégories :

- Une population de « susceptibles » (S) pouvant contracter la maladie ;
- Une population d' « infectés » (I) ayant contracté la maladie ;
- Une population de « retirés » (R) étant ceux qui ne sont plus parmi les infectés car immunisés contre la maladie, guéris, isolés ou décédés.

Ce modèle s'applique pour des maladies telles que la rougeole ou la grippe car on peut en guérir. Il ne s'applique pas à des maladies incurables comme le VIH (modèle plutôt de type « SI ») ou à des maladies contre lesquelles il n'y a aucune immunité comme le rhume (modèle plutôt de type « SIS » avec un retour des infectés dans la population de susceptibles).

Il s'agit d'un modèle à compartiments où les individus passent d'un compartiment au suivant avec une dynamique régie par un système d'équations différentielles :

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = -r \times \beta \times \frac{I}{N} \times S \\ \frac{dI}{dt} = r \times \beta \times \frac{I}{N} \times S - \gamma \times I \\ \frac{dR}{dt} = \gamma \times I \end{cases}$$

Où : $N=S+I+R$ est la population totale ici constante et $\frac{dS}{dt}$, $\frac{dI}{dt}$ et $\frac{dR}{dt}$ représentent respectivement les évolutions du nombre d'individus dans les compartiments **S**, **I** et **R**.

Ci-dessous, un exemple de simulation pour 100 individus, avec au début un seul infecté et avec un $R_0=3$

Figure 5. Le modèle SIR

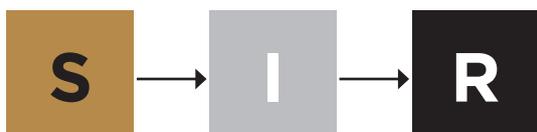
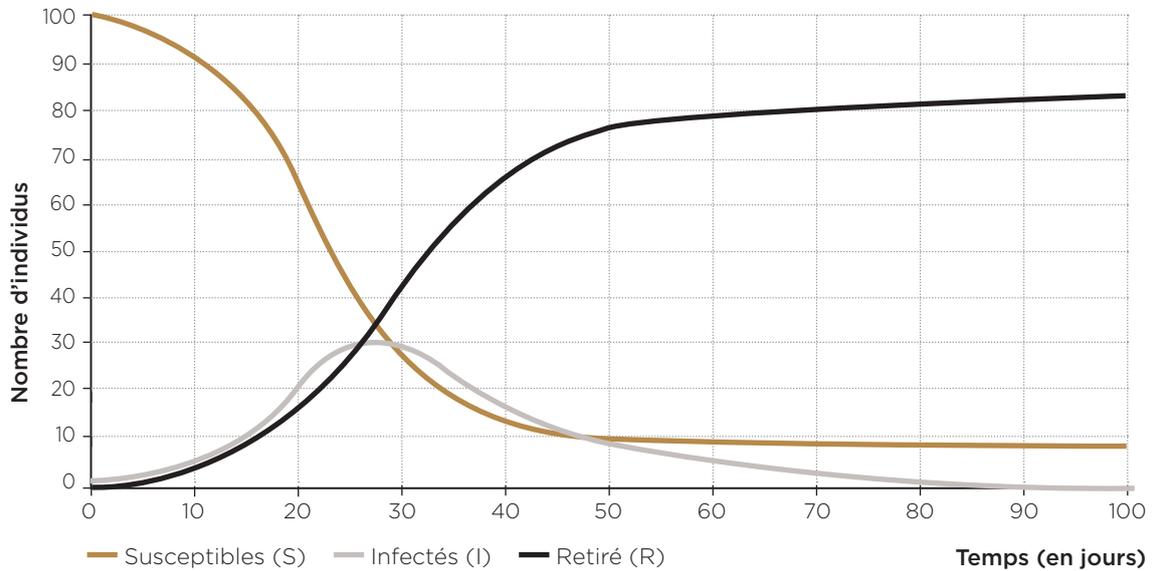


Figure 6. Résultats du modèle SIR



Avec :

$$S(0) = 99, I(0) = 1, R(0) = 0, N=100$$

$$r \times \beta = 0,3 \text{ par jour}, \frac{1}{\gamma} = 10 \text{ jours}$$

On a le nombre de reproduction de base R_0 qui est :

$$R_0 = \frac{r \times \beta}{\gamma} = 3$$

Avec :

r : nombre de contacts par jour

β : probabilité de transmission par contact

$\frac{1}{\gamma}$: durée moyenne de l'infection (en jours)

Dans cet exemple, l'immunité collective est

$$\text{atteinte dès que : } I+R > N \times \left(1 - \frac{1}{R_0}\right) \approx 67$$

ce qui arrive ici après le 27^e jour, et on observe justement une baisse du nombre d'infectés à partir de cette date.

2.2 DES MODÈLES PLUS COMPLEXES

Le modèle SIR de Kermack & McKendrick reste un modèle simple et utilisable uniquement dans certains cas. Les modèles utilisés en épidémiologie peuvent être bien plus complexes en prenant en compte d'autres aspects liés à la maladie et au comportement des individus de la population affectée par l'épidémie.

2.2.1 Modèles avec évolutions démographiques

Les modèles utilisés en épidémiologie peuvent inclure également les évolutions démographiques liées à :

- La natalité (nombre de naissances Λ) ;
- La mortalité (taux de mortalité μ).

2.2.2 Modèles avec d'autres compartiments et transitions

Les modèles épidémiologiques utilisés peuvent contenir d'autres compartiments, avec par exemple :

- **Exposé (E)** : un individu est exposé à la maladie mais en phase latente, i.e. l'individu est infecté mais a priori non-infectieux ;
- **En quarantaine (Q)** : un individu est isolé en quarantaine ;
- **Asymptomatiques (A)** : un individu infecté mais qui ne présente pas de symptômes (on note parfois I_A et I_S pour désigner respectivement les infectés asymptomatiques et les infectés symptomatiques) ;
- **Vacciné (V)** : un individu est vacciné contre la maladie ;
- **Immunité due aux anticorps maternels (M)** : pour les bébés qui ont une immunité gagnée par la mère durant leurs premiers mois, notamment contre la rougeole ;
- **Etc.**

Les modèles peuvent inclure d'autres types de transitions : par exemple, pour une maladie si on reprend le modèle SIR et qu'il y a une possibilité de devenir à nouveau susceptible après avoir guéri car pas d'immunité acquise, on passe à un modèle SIRS avec une étape $R \rightarrow S$ supplémentaire.

2.2.3 Modèles avec prise en compte de l'âge

Le modèle SIR décrit précédemment considère que la maladie touche uniformément toutes les classes d'âge, que la contagiosité et la virulence sont les mêmes pour tous les âges. Or, on a pu constater pour le COVID-19 que la mortalité augmente grandement avec l'âge. Pour la varicelle,

les jeunes sont davantage touchés par la maladie. On peut modifier les modèles par compartiment pour prendre en compte des taux de transmission et de létalité différents selon les âges.

2.2.4 Modèles avec diffusion spatiale

Pour modéliser une épidémie, on peut également prendre en compte les déplacements des individus qui peuvent transporter avec eux la maladie d'une ville à une autre, d'un pays à un autre. On peut prendre en compte :

- Les voyages, les déplacements privés et les déplacements professionnels ;
- Les différents axes de déplacement (routier, aérien, maritime).

Une façon de prendre en compte cette propagation dans l'espace, en plus de l'évolution temporelle, est de considérer par exemple la diffusion spatiale de S et I (avec $\nabla^2 S$ et $\nabla^2 I$) avec un coefficient de diffusion D :

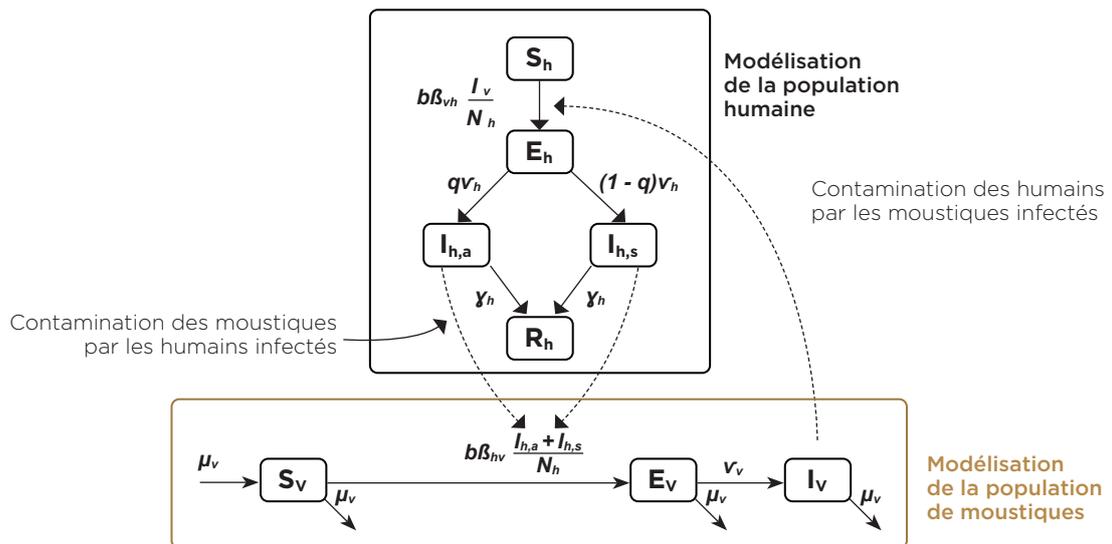
$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial t} = -r \times \beta \times \frac{I}{N} \times S + D \times \nabla^2 S \\ \frac{\partial I}{\partial t} = r \times \beta \times \frac{I}{N} \times S - \gamma \times I + D \times \nabla^2 I \\ R = N - S - I \end{cases}$$

Où $N=S+I+R$ est constant.

2.2.5 Modèles avec vecteurs de transmission

Une maladie, comme par exemple la malaria, la dengue ou le virus Zika, peut être transmise par des vecteurs tels que certains moustiques via les piqûres. Dans de tels modèles, on considère alors l'évolution de la population des hôtes de la maladie (ex. : les humains) entre différents compartiments et l'évolution de la population des vecteurs de la maladie (ex. : les moustiques) dans d'autres compartiments.

Figure 7. Exemple de modèle avec des compartiments pour les hôtes humains (X_h) et des compartiments pour les vecteurs que sont les moustiques (X_v)



2.2.6 Modèles déterministes et stochastiques

Le modèle SIR vu précédemment est un modèle déterministe : le nombre de nouveaux cas infectés est une proportion déterminée de la population des susceptibles obtenue par le système d'équations régissant le modèle.

Les modèles épidémiologiques peuvent aussi être aussi stochastiques. Dans le cas d'un modèle SIR stochastique, on considère chaque individu susceptible et, par tirage aléatoire, certains deviennent infectés et les autres restent susceptibles.

2.2.7 Modèles non-compartmentaux

Il existe d'autres façons de modéliser la diffusion d'une maladie, différentes des modèles compartimentaux classiques :

- Chaînes de Markov ;
- Théorie des graphes ;
- Modélisation basée-agents ;
- Etc.

2.3 CONCLUSION

Il existe ainsi une multitude de modèles épidémiologiques, chacun étant plus ou moins adapté à la maladie à étudier avec par exemple, pour les modèles compartimentaux classiques :

- Modèle SI (Susceptibles, Infectés) : utilisable par exemple pour le VIH ;
- Modèle SIS (Susceptibles, Infectés, Susceptibles) : utilisable par exemple pour le rhume ;
- Modèle SIR (Susceptibles, Infectés, Retirés) : utilisable par exemple pour la rougeole, les oreillons ou la rubéole ;
- Etc.

La grippe peut être modélisée par un modèle de type SIR ou SEIR (Susceptibles, Exposés, Infectés, Retirés), voire avec l'ajout de compartiments supplémentaires pour les asymptomatiques et les vaccinés.

Pour le COVID-19, par exemple, l'étude chinoise « *A conceptual model for the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in Wuhan, China with individual reaction and governmental action* »

publiée fin février 2020 utilise le modèle SEIR afin de simuler l'évolution de cette épidémie.

Ces modèles complexes sont utilisés par les épidémiologistes pour prédire l'évolution d'une épidémie. En cela, leurs analyses peuvent permettre de définir :

- Les groupes de personnes les plus touchés, ceux qui sont les plus à risque ;
- Les mesures à prendre à l'hôpital (ex. : augmentation des lits de réanimation, déploiement de personnels supplémentaires dans certaines zones, etc.) ;
- Les stratégies à adopter en termes de politiques publiques (ex. : confinement, isolement des malades, arrêt de certaines activités, distribution de moyens de protection à la population, etc.).

La recherche dans ce domaine est active, de nouveaux modèles sont étudiés et les modèles actuels sont depuis le début de l'année 2020 pleinement mis à contribution pour anticiper la propagation du COVID-19.



3.

MODÈLES ÉPIDÉMIOLOGIQUES ET ASSURANCE

3.1 LE RISQUE DE PANDÉMIE POUR LES ASSUREURS

Les produits de santé-prévoyance sont exposés au risque de pandémie qui se traduit pour l'assureur par une hausse significative de la mortalité ou de l'incapacité/invalidité de la population assurée sur une certaine période et, en conséquence, une hausse des sommes à payer sur les garanties concernées.

3.1.1 Comment est évalué le risque de pandémie par un assureur ?

Dans la norme prudentielle Solvabilité 2, l'assureur calcule le « Solvency Capital Requirement » (SCR) qui représente le coût pour un assureur d'un risque majeur qui se produirait avec une occurrence d'une fois tous les deux cents ans, c'est-à-dire une probabilité de ruine de 0,5%. Le ratio de solvabilité de l'assureur, qui est le rapport entre les fonds propres et le SCR, doit être supérieur à 100% (voire idéalement autour de 150% ou 200% pour conserver une certaine marge). Le SCR est calculé en regardant risque par risque le capital nécessaire à détenir. Le SCR total est obtenu en agrégeant les SCR qui correspondent à chaque risque pris individuellement. Le risque de pandémie, inclus au sein du « SCR Life CAT » (pour « CATastrophe »), est obtenu

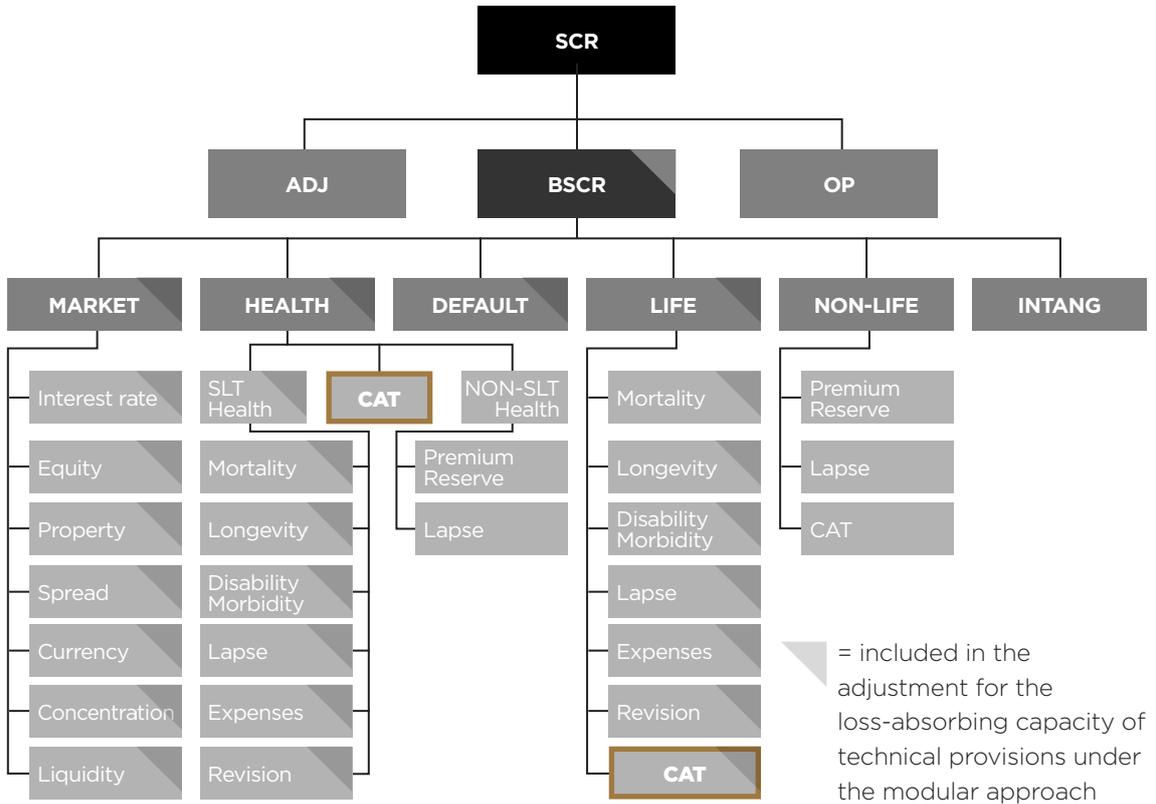
dans la formule standard de Solvabilité 2 en considérant sur l'ensemble du portefeuille à risque une hausse de la mortalité de 1,5% du taux de mortalité sur un horizon d'un an. Par exemple, le taux de mortalité en France étant de 9,1‰ (soit environ 600 000 morts par an), cela revient à considérer une mortalité globale de 10,6‰ en période de pandémie (soit environ 700 000 morts l'année de la pandémie). À titre de comparaison, la Grippe Espagnole, qui a tué entre quarante et cinquante millions de personnes dans le monde entre 1918 et 1920, avait entraîné une hausse de la mortalité aux États-Unis de 5,3‰⁶.

Pour le « SCR Health CAT », la formule de calcul est un peu différente puisque l'on retient comme résultat 0,075‰ (estimation de la proportion de vies humaines affectées par la pandémie) de l'exposition (moyenne des sommes assurées des garanties incapacité et invalidité sur l'ensemble des produits concernés).

Lorsque l'assureur utilise un modèle interne plutôt que la formule standard, il peut évaluer avec d'autres méthodologies le risque de pandémie: il peut par exemple calibrer des taux de mortalité et de prévalence différents que ceux de la formule standard ou utiliser un des modèles épidémiologiques décrits précédemment.

6. Source : *Pandemic Influenza : A 21st century model for mortality shocks*, Swiss Re, 2007

Figure 8. Composantes du SCR dont le SCR CAT (Life CAT & Health CAT) incluant le risque de pandémie

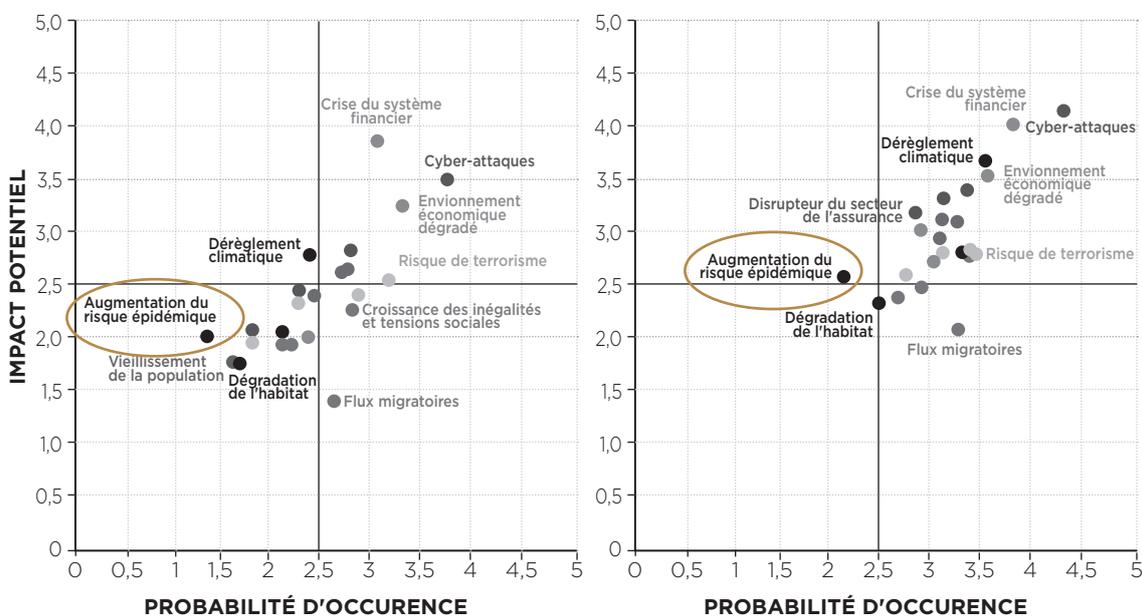


Si l'évaluation du risque de pandémie dans le SCR n'intègre pas les effets collatéraux comme une crise économique et financière, l'assureur peut toutefois les prendre en compte dans son Own Risk and Solvency Assessment (ORSA) qui permet à l'assureur d'établir sa propre cartographie de risques et de chiffrer le coût pour lui au travers de stress tests croisant différents risques. Sans nul doute, l'expérience de la pandémie de COVID-19 entraînera chez certains assureurs la révision des scénarios de pandémie au sein de leur ORSA pour intégrer ce que nous avons observé sur le premier semestre de l'année 2020.

3.1.2 Le risque de pandémie est-il important pour un assureur ?

Les premiers cas de COVID-19 sont apparus en France fin janvier 2020 et ont rapidement entraîné une épidémie sur le territoire métropolitain et toutes les conséquences que nous connaissons. Pourtant, selon la «*Cartographie 2020 des risques émergents pour la profession de l'assurance et de la réassurance* » publiée par la Fédération Française de l'Assurance en février 2020 sur la base d'un questionnaire clôturé au 31 décembre 2019, le risque épidémique n'apparaissait pas comme majeur. Sur vingt-trois risques identifiés et classés selon la

Figure 9. Perception du risque à horizon 1 an Perception du risque à horizon 5 ans



probabilité d'occurrence et l'impact potentiel, l'augmentation du risque épidémique arrivait en dernière position sur des horizons d'un an et cinq ans, loin derrière le cyber-risque et les risques économiques et financiers.

Bien qu'il soit encore trop tôt pour chiffrer les conséquences sur le bilan des assureurs, certains commencent déjà à anticiper l'impact négatif sur leurs résultats 2020. L'Argus de l'Assurance a chiffré à mi-avril 2020 une estimation de l'augmentation de la sinistralité, principalement liée aux arrêts de travail, à hauteur d'un milliard d'euros sur les contrats de santé-prévoyance pour quarante jours de confinement⁷.

3.1.3 Une crise qui remet en perspective le risque de pandémie

Considéré par les assureurs comme moins important à fin 2019 par rapport à d'autres

risques comme les risques financiers et technologiques, le risque de pandémie est aujourd'hui sur le devant de la scène. Avec la création à venir du régime de catastrophe sanitaire et la demande certainement croissante dans les années à venir que ce risque soit mieux pris en compte par les assureurs, ces derniers feront certainement évoluer leurs offres et investiront pour davantage maîtriser ce risque.

3.2 LES MODÈLES ÉPIDÉMIOLOGIQUES DANS LE CADRE ASSURANTIEL

Pour améliorer leur appréciation du risque de pandémie et le chiffrage de ce risque, les assureurs peuvent s'appuyer sur les modèles

7. Source : La sinistralité à l'épreuve du Covid-19, l'Argus de l'Assurance, 15 avril 2020

épidémiologiques décrits plus haut. Ces modèles peuvent être utilisés dans le cadre assurantiel pour :

- La tarification de produits de santé-prévoyance ;
- Le calcul du risque de pandémie au sein du SCR Life CAT et du SCR Health CAT, lorsque l'assureur utilise un modèle interne ;
- La simulation du risque de pandémie au sein d'un scénario pour l'ORSA ;
- L'étude d'opportunité de mise en place d'une couverture sur un portefeuille de santé-prévoyance, comme par exemple un traité de réassurance ou une opération de titrisation du risque telle que le « Mortality CAT Bond ».

3.2.1 Application du modèle SIR dans le cadre d'un modèle assurantiel

Par exemple, sur la base du modèle SIR, on peut implémenter un modèle d'assurance pour la tarification d'un produit de santé-prévoyance adapté au cadre d'une épidémie. Dans ce modèle, les individus :

- Payent des primes quand ils sont sains. L'assureur investit les primes reçues pour

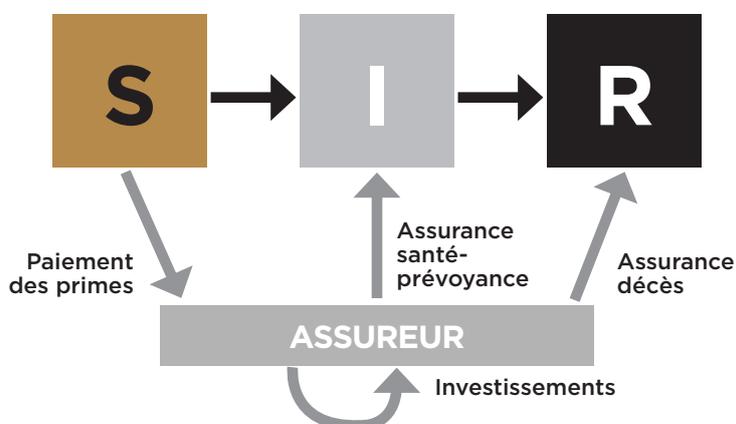
pouvoir restituer des prestations en cas d'occurrence de sinistres ;

- Reçoivent des prestations quand ils sont infectés dans le cadre de garanties santé-prévoyance : incapacité/invalidité, hospitalisation ou pour couvrir des frais médicaux ;
- Reçoivent un capital décès (à destination des bénéficiaires) dans le cadre d'une garantie décès quand ils décèdent.

Avec ce modèle, l'assureur peut prédire, en cas d'épidémie, l'augmentation de ses coûts pour les garanties santé-prévoyance et décès. Dans le cas de la modélisation d'une épidémie sévère (R_0 élevé et/ou taux de létalité élevé), l'assureur peut également mettre en place des actions sur sa stratégie d'investissement pour faire face à une chute des marchés boursiers comme observé durant la crise du COVID-19.

Un paramètre supplémentaire est toutefois à intégrer dans le modèle : la fréquence d'occurrence d'une pandémie afin d'estimer au plus juste l'impact moyen sur le coût de la garantie et donc les primes. Selon l'étude de Swiss Re « *Pandemic Influenza : A 21st century*

Figure 10. Le modèle SIR avec une composante assurantielle



model for mortality shocks » publiée en 2007, on a dénombré treize pandémies de grippe sur les trois cents dernières années, ce qui fait une probabilité d'un peu plus de 4% d'avoir une pandémie de grippe dans l'année selon les données historiques. La probabilité qu'une pandémie soit sévère est évidemment plus faible.

3.2.2 Utilisation des modèles épidémiologiques dans le cadre prudentiel Solvabilité 2

Si un assureur dispose d'un outil intégrant plusieurs modèles épidémiologiques capables de modéliser plusieurs types de maladies (grippe, coronavirus, VIH, Ebola, etc.), il peut les utiliser pour calculer son SCR Life CAT et son SCR Health CAT lorsqu'il est en modèle interne en testant plusieurs scénarios de pandémie et en regardant les impacts sur les sinistres engendrés sur les portefeuilles de santé-prévoyance. Pour cela, l'assureur modélise la propagation de la maladie sélectionnée sur un territoire donné et, en croisant avec sa base d'assurés, estime si sa population assurée est particulièrement exposée à l'épidémie. Cette méthode de calcul du SCR donnera à l'assureur des résultats plus fins et plus adaptés à son portefeuille de contrats que l'utilisation de la formule standard.

Même s'il n'est pas en modèle interne, l'assureur peut tout de même utiliser ces modèles épidémiologiques dans le cadre de l'ORSA. Il peut avoir par exemple un scénario pandémie où il prend en compte les phénomènes suivants :

- Hausse de la morbidité et de la mortalité sur la population assurée : prise en compte avec le modèle épidémiologique ;
- Baisse des résiliations : en période de pandémie, les assurés ne vont pas résilier leurs contrats de santé-prévoyance ;
- Impact négatif sur le risque marché

(notamment le risque action) : risque de krach boursier dû à la pandémie ;

- Possiblement : baisse de la sinistralité sur d'autres risques en cas de confinement (on a par exemple constaté une baisse de la sinistralité en auto durant la période de confinement en France).

En cas de trop forte exposition au risque de pandémie, l'assureur peut décider de mettre en place une couverture. Cela a pour conséquence de faire baisser le SCR et de facto améliorer le ratio de solvabilité de l'assureur.

3.2.3 Extension des offres d'assurance au-delà de la simple couverture des garanties de santé-prévoyance

Un assureur pourrait proposer des services et options spécifiques à ses assurés qui se déclencheraient lors d'une pandémie sévère. On peut avoir par exemple :

- Sur les produits de santé-prévoyance : offres de services (services à la personne pour les assurés touchés par la maladie, informations sur la maladie et sa progression sur un portail Internet, etc.), option d'exonération des primes pour les assurés touchés par la maladie le temps de la pandémie, etc.
- Sur les produits d'épargne : option de sécurisation de l'épargne en cas de chute des marchés financiers à cause d'une pandémie.

Les modèles épidémiologiques mis en place peuvent permettre de tarifier ces différentes options et offres mais aussi et surtout de voir s'il est opportun de mettre de tels suppléments en place car le risque à couvrir pour ces offres supplémentaires doit demeurer assurable. Or, si une pandémie est trop sévère et touche toute la population, il n'y a plus d'aléa et donc le risque devenu systémique n'est plus assurable. Cela

a été constaté par exemple durant la crise du COVID-19 sur la question de prise en charge des pertes d'exploitation qui ne peuvent pas être pris en compte en intégralité par les assureurs et nécessite donc la création d'un régime de catastrophe sanitaire.

3.3 QUELLES DONNÉES UTILISER POUR LES MODÈLES ?

Les assureurs peuvent tout d'abord exploiter les données historiques. Il est compliqué d'avoir des données fiables et précises sur les pandémies avant le 20^e siècle. Au 20^e siècle et au début du 21^e siècle, plusieurs pandémies majeures se sont déroulées, voire sont toujours en cours (cf. tableau 3).

Ces pandémies ont donné lieu à de nombreuses études dans le monde et les données récoltées (contagiosité et létalité) peuvent permettre

de calibrer les modèles épidémiologiques des assureurs.

D'autres épidémies de portée géographique moindre peuvent être également prises en compte pour calibrer les modèles, notamment pour un assureur qui couvre des contrats de santé-prévoyance dans certaines zones géographiques :

- L'épidémie de Zika aux Amériques en 2015-2016 ;
- L'épidémie d'Ebola en Afrique de l'Ouest entre 2013 et 2016 ;
- Les diverses épidémies d'oreillons depuis le début des années 2000 ;
- Etc.

L'assureur doit être capable d'utiliser, avec ces données publiques, les données de son portefeuille d'assurés. Pour cela, il doit consolider au sein d'une base l'ensemble de ses assurés exposés au risque de pandémie sur des produits de santé-prévoyance avec les

Tableau 3. Liste des pandémies du 20^e et 21^e siècles⁸

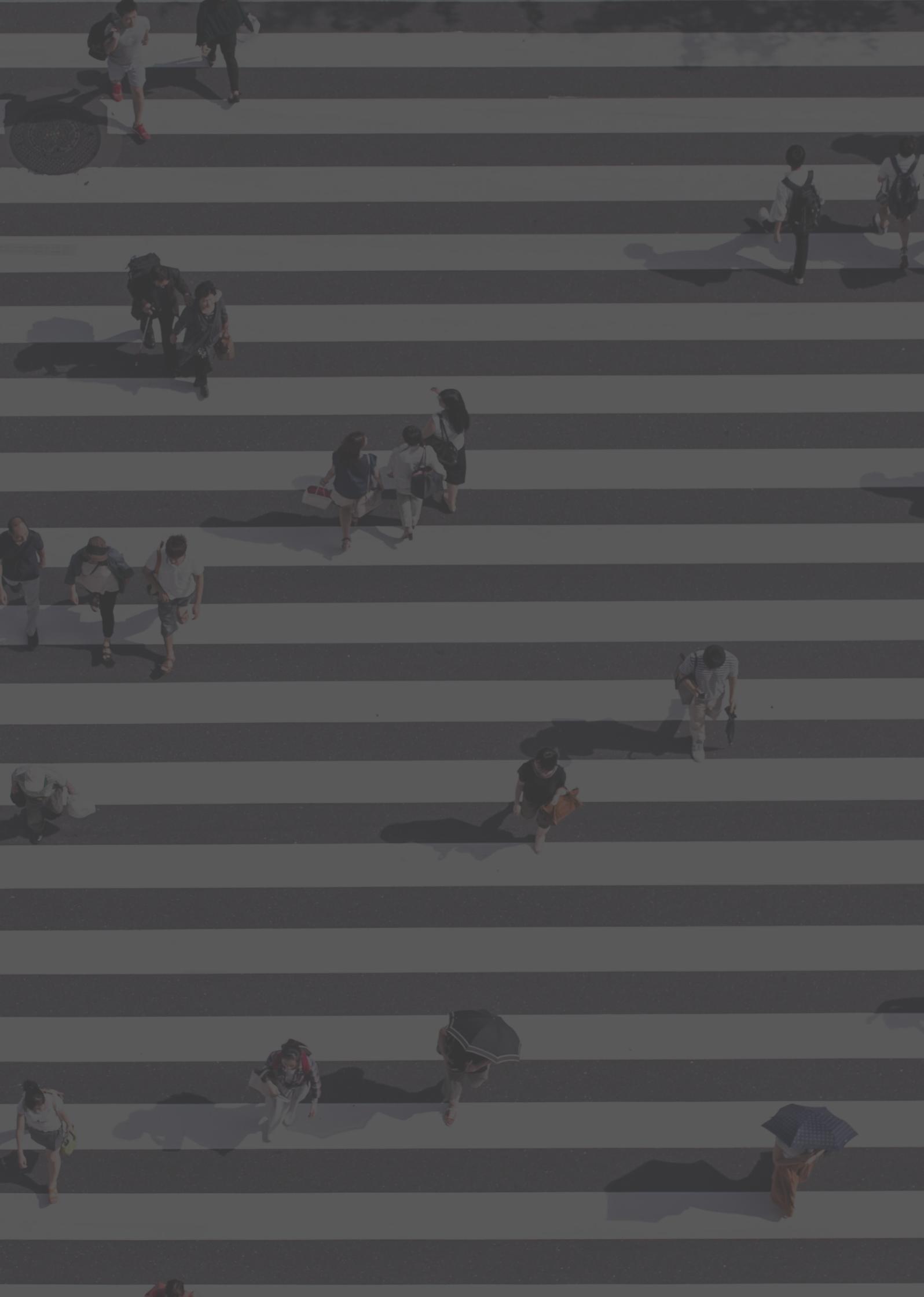
Pandémie	Années	Agent pathogène		Morts (en millions)
Grippe Espagnole	1918-1920	H1N1	2,1 (1,4 à 2,8)	40 à 50
Grippe Asiatique	1957-1958	H2N2	1,60	1 à 2
Grippe de Hong Kong	1968-1969	H3N2	1,89	1
SIDA	Depuis 1981	VIH	2 à 5	24 à 44
Grippe A de 2009	2009-2010	H1N1	1,4 (1,2 à 1,6)	0,15 à 0,58
COVID-19	Depuis 2019	SARS-CoV-2	3,3 (1,4 à 6,5)	En cours

8. Sources :

- *Pandemic Influenza: A 21st century model for mortality shocks*, Swiss Re, 2007
- *SIDA* : UNAIDS
- *Grippe A de 2009* : CDC
- *COVID-19* : <https://academic.oup.com/jtm/article/27/2/taaa021/5735319>

informations sur leur localisation géographique (lieu de la résidence principale) et le montant des prestations au cas où les garanties du contrat se déclenchent. La constitution de cette base de données doit bien sûr se faire dans le cadre de la réglementation autour de la protection des données.

Ces deux types de données, publiques et privées, associées au sein du modèle épidémiologique permettront ainsi à l'assureur d'estimer la propagation d'une pandémie et de voir dans quelles proportions les assurés seraient impactés et donc quels seraient les coûts pour l'assureur.



4.

CONCLUSION

Il est ainsi possible de modéliser la propagation d'une maladie au sein d'une population avec des modèles épidémiologiques. Ces modèles se basent sur deux paramètres essentiels : la contagiosité (caractérisée par le R_0) et la virulence (caractérisée par le taux de létalité). Ces modèles, qui peuvent être très complexes, sont utilisés par les spécialistes dans le cas d'une épidémie comme celle du COVID-19 pour anticiper sa progression et conseiller les gouvernements sur les mesures adéquates à prendre.

Ces modèles peuvent être utilisés par d'autres acteurs et notamment par les assureurs. Ces derniers sont naturellement exposés au risque de pandémie sur leur portefeuille de santé-prévoyance où une hausse significative de la morbidité et de la mortalité entraînerait une hausse de leurs prestations (prestations incapacité/invalidité, frais d'hospitalisation, décès, etc.). L'utilisation de ces modèles auraient un atout bénéfique pour les assureurs dans le cadre de la tarification de leurs produits de santé-prévoyance et l'estimation de leur risque de pandémie dans le cadre d'un scénario ORSA dédié où tout simplement dans le cadre du calcul du SCR en modèle interne.

Avec la crise entraînée par la pandémie de COVID-19, une attention accrue sera portée dans le monde de l'assurance sur ce risque de

pandémie, renforcée par la création à venir du régime de catastrophe sanitaire. On peut donc prévoir prochainement une évolution des modèles de pandémie chez les assureurs et réassureurs.

Une meilleure connaissance de ce risque permettrait aux assureurs de mettre en place des stratégies de couverture du risque de pandémie si elles ne sont pas déjà en place, ou proposer de nouvelles offres intégrant davantage ce risque pour répondre à une demande des assurés qui pourrait croître en ce sens dans les années à venir.



DONNER DU FUTUR AU TALENT

Fondé en 2008, Square est un cabinet de conseil en stratégie et organisation. 1^{er} cabinet de conseil indépendant en France, en Belgique et au Luxembourg, Square est, avec ses 700 consultants, l'un des rares acteurs du marché à proposer une gamme d'expertises aussi étendue.

Square guide ses clients en mettant à leur disposition ses compétences et son expérience sur 8 domaines d'excellence :

INNOVATION

Square accompagne ses clients dans la transformation de leur dynamique d'innovation. Nos consultants, par leur approche sur-mesure, aident à concevoir, industrialiser et gouverner l'innovation pour assurer la croissance durable des entreprises et leur transformation en entité socialement et écologiquement responsable.

DIGITAL

Square accompagne ses clients dans l'élaboration de leur stratégie digitale, la conception et la mise en œuvre de nouveaux parcours digitaux pour leurs clients ou leurs collaborateurs, ainsi que dans l'ensemble des chantiers d'acculturation interne et d'accompagnement aux nouvelles méthodes de conception.

PEOPLE & CHANGE

Square aide ses clients à acquérir, fédérer et développer le capital humain de leur organisation. Afin de créer davantage d'engagement au sein des équipes, nos interventions portent principalement sur l'adaptation des méthodes de travail aux changements opérationnels et culturels, l'efficacité des directions des ressources humaines et le développement des compétences.

RISK & FINANCE

Square prend en charge le pilotage des programmes de maîtrise des risques financiers et non financiers, ainsi que la transformation des fonctions Risque et Finance face à l'évolution des dispositifs prudentiels et à l'irruption des problématiques liées à la maîtrise de la donnée.

MARKETING

Square accompagne ses clients sur l'ensemble du spectre marketing : marketing stratégique, marketing relationnel, marketing de l'offre, communication, tarification, satisfaction clients. Nos expertises, initialement centrées sur les secteurs de la banque et de l'assurance, s'adressent désormais à l'ensemble des industries ou services B2C.

REGULATORY & COMPLIANCE

Square conseille ses clients dans le déploiement des nouvelles réglementations, ainsi que dans l'optimisation et le renforcement des dispositifs de contrôle. Ce domaine d'excellence s'appuie sur une communauté d'experts de 130 consultants qui, outre les missions auprès des clients, conduit d'importants travaux d'investigation et de publication.

DATA

Square élabore des stratégies Data et assure leurs déclinaisons opérationnelles à travers la conduite de projets de Data Management, Data Analyse et Data Science. Notre approche experte et pragmatique vise à valoriser et sécuriser le patrimoine de données des entreprises.

SUPPLY-CHAIN

Square assure l'excellence opérationnelle de la logistique, des achats aux derniers kilomètres, avec des parcours clients différenciants. Nos experts conçoivent des solutions omnicanales mettant en œuvre les meilleures pratiques des systèmes d'informations, de la mécanisation à la robotisation.

Le présent focus présente les modèles épidémiologiques et leur utilisation possible dans un cadre assurantiel. Ces modèles permettent de prédire l'évolution d'une épidémie au sein d'une population comme pour la pandémie de COVID-19 ayant débuté fin 2019 en Chine. Les modèles épidémiologiques peuvent être utilisés par des assureurs ou des réassureurs pour évaluer leur exposition au risque de pandémie dans un modèle interne Solvabilité 2 ou un scénario ORSA, mais aussi dans la tarification de produits de santé-prévoyance ou de solutions de couverture pour de tels produits. Avec l'expérience du COVID-19 et en utilisant des données publiques complétées par des données privées, les assureurs et réassureurs pourront enrichir leurs modèles actuels ou mettre en place ces modèles si cela n'est pas déjà fait afin de mieux gérer leur risque de pandémie. C'est le thème de ce focus, rédigé par Tom Popa, Project Manager chez Square, spécialiste des sujets d'Assurance au sein du domaine d'excellence Risk & Finance.

CONTACTS



TOM POPA

Project Manager

+33 6 70 96 92 69

tom.popa@vertuoconseil.com



MARC CAMPI

Associate Partner

+33 6 84 02 68 59

marc.campi@square-management.com

Square^o

DONNER DU FUTUR AU TALENT

square-management.com
