

Le monde de l'assurance à l'épreuve des risques émergents

-

Approche exploratoire du risque épidémique

Auteur 1

Ellie Madranges

Auteur 2

Chloé Parfait

Auteur 3

Yann Cueff

Auteur 4

Yann Diserbeau

01

Les risques émergents et leurs conséquences

La dépendance à l'égard des énergies fossiles compromet la santé des humains



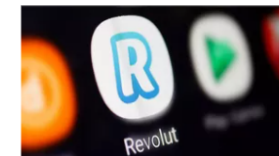
Une étude souligne que la grande majorité des pays allouent encore des centaines de milliards de dollars en subventions aux combustibles fossiles, des sommes comparables ou même supérieures à leurs budgets de santé.



23/08/2022

Cyberattaque dans un hôpital : les hackers réclament une rançon de 10 millions de dollars

Des dizaines de milliers de clients de la néobanque Revolut touchés par une cyberattaque



Des pirates informatiques ont subtilisé les données personnelles d'environ 50.000 clients et prospects de la banque en ligne.

Article

Le changement climatique va devenir plus meurtrier que le cancer

Si le réchauffement climatique n'est pas endigué dans les prochaines années, celui-ci pourrait bien devenir plus mortel que le cancer, indique un rapport du Programme des Nations unies pour le développement (PNUD) publié ce vendredi 4 novembre.

Publié il y a 1 semaine

PLANÈTE - CLIMAT

La sécheresse de cet été dans l'hémisphère Nord très certainement liée au changement climatique

Un tel épisode a une chance de se produire tous les vingt ans dans le climat actuel. Sans réchauffement, il ne se serait produit qu'une fois tous les quatre cents ans dans l'hémisphère Nord et tous les soixante à quatre-vingts ans en Europe.

Par Audrey Garric

Ces dernières années ont vu naître l'émergence de nouveaux risques pouvant avoir de graves conséquences à court et long terme sur les biens et les personnes : les cyber-risques, l'instabilité géopolitique le changement climatique, etc.

Ces risques sont interconnectés notamment le changement climatique pourra engendrer des crises sociales et accroître l'instabilité politique internationale

Érosion, fonte des glaces... La bombe du changement climatique menace aussi les sites archéologiques

ARCHÉOLOGIE – Une nouvelle étude appelle les États à prendre en compte l'évolution du climat dans la mise en œuvre de leur politique de protection des vestiges et du patrimoine enfoui.



Après la pandémie, les risques d'instabilité géopolitique

TRIBUNE

La prochaine crise sociale sera intergénérationnelle 🇫🇷

Aujourd'hui en France, tout sépare les jeunes des autres actifs plus âgés, estime Jean-Hervé Lorenzi. La France a besoin d'ouvrir le débat sur l'organisation du travail, le logement et la nature des emplois proposés, pour espérer pacifier les relations entre les générations.

ROLES ET RESPONSABILITÉS

L'assurance a un rôle à jouer dans la prévention du changement climatique.

Quel coût ? Comment financer ? Garder une assurance obligatoire sur tout le territoire ?
Pour tous les périls ? Comment mettre en place la prévention ?

DÉPASSER LA TRAGÉDIE DE L'HORIZON

Les coûts d'une politique climatique ambitieuse sont considérables.
Au-delà de ces investissements publics massifs, la transition écologique nécessite également de modifier et d'adapter le comportement des individus, que ce soit en matière de consommation, de production ou de mobilité

CHANGEMENT CLIMATIQUE ET ASSURANCES

Aujourd'hui le changement climatique est surtout vu au travers du prisme de l'assurance de biens et assez peu sur l'assurance de personnes.

L'augmentation de la pollution aura des effets sur la qualité de l'air, sur les maladies chroniques et sur la mortalité.

L'augmentation des températures va également engendrer des mouvements de population vers les zones où le climat sera plus clément

Impacts du changement climatique

Risque de transition

- **Les cygnes verts** qui représentent les événements liés au climats qui pourraient avoir des impacts sur les marchés et les économies.
- **Les actifs échoués** qui se déprécient à cause du réchauffement climatique, que ce soit par épuisement des ressources, les nouvelles réglementation ou les changements d'habitude de consommation

Risques Non-Vie

- En Non-Vie, les risques sont connus que ce soit la **tempête**, la **grêle** ou **l'inondation**
- Pour ceux-ci les modèles existent et sont plutôt maîtrisés mais il y a encore des **incertitudes** comme le coût de reconstruction en tenant compte de nouvelles **normes de sécurité** ou de nouvelles **règlementations**

Risque Vie

- S'agissant des risques Vie, les incertitudes sont plus importantes
- Les impacts du réchauffement climatique sur la santé humaine sont plus **difficiles** à appréhender
- Les épisodes successifs de **canicules** ont des répercussions sur les arrêts de travail
- L'augmentation de la **pollution** atmosphérique entrainera une augmentation des **maladies chroniques**
- Le réchauffement climatique pourrait engendrer une **multiplication** des cas de **pandémie**

Sommaire

01

Les risques émergents et leurs conséquences

02

Approche exploratoire : modélisation du risque épidémique

03

Construction d'un modèle déterministe SIR^+ , amélioration du SIR

04

Processus de calibration par une méthode issue du deep-learning

05

Construction d'un modèle stochastique : vers un modèle SIR_{sto}^+

06

Cas illustratif

07

Conclusion

02

Approche exploratoire : modélisation du
risque épidémique

Enjeux assurantiels de la modélisation épidémiologique

Principales épidémies

- Grippe espagnole
- Gripes asiatiques, de Hong-Kong
- Grippe saisonnière
- Covid-19

Impacts assurantiels

- Hausse de la **mortalité**
- **Perte d'activité**
- Hausse des **arrêts de travail**
- **Perturbation** des marchés financiers

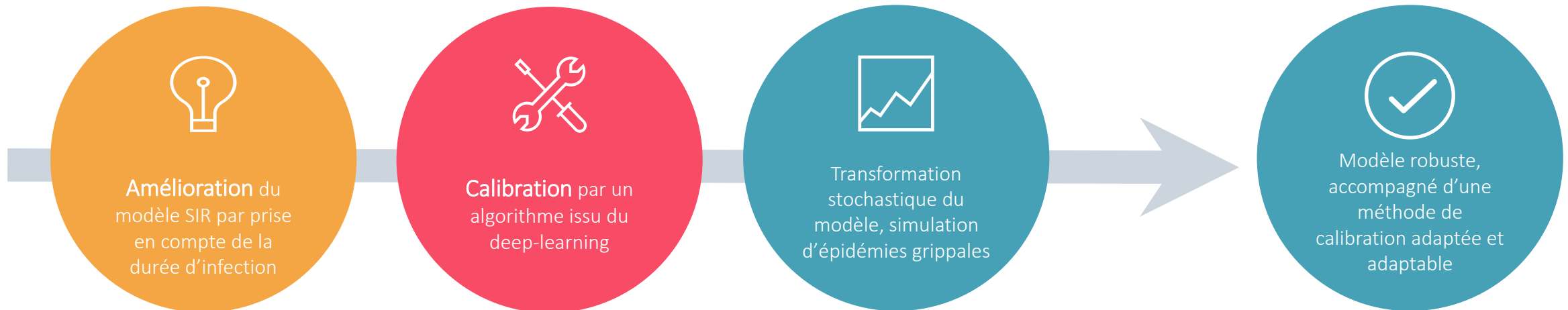
Focus sur la grippe saisonnière – cas pratique

- Virus récurrent, **chaque année** (hors période Covid) en hiver
- **Contamine entre 700k et 4,6M** (moyenne à 2,4M) de personnes par an en France
- Est responsable du **décès d'environ 10k personnes** par an en France

Objectifs de l'étude

L'objectif de cette étude est de proposer une **démarche d'amélioration d'un modèle épidémiologique** existant, mais comportant des limites notables, afin de permettre des **adaptations sur un large spectre d'applications**.

Un cas pratique sur la production d'une **distribution de provisions en arrêts de travail** consécutifs à une épidémie de grippe saisonnière parachève les travaux qui ont été réalisés et fournit un exemple d'application d'un tel modèle.



Cas pratique illustratif : distribution des provisions au titre des arrêts de travail consécutifs à des infections par le virus de la grippe

03

Refonte des dynamiques inter-état du modèle
déterministe SIR : construction du SIR^+

Généralités sur le modèle SIR

Caractéristiques du SIR

- Transitions unidirectionnelles d'un état à l'autre
- Modélisation déterministe
- Hypothèses fortes sur les populations
- Adapté à la modélisation temporelle des épidémies

Deux paramètres

- Paramètre β : nombre moyen de personnes qu'un infecté contamine par unité de temps
- Paramètre α : proportion d'infectés se rétablissant par jour



$$S_{t+1} - S_t = -\beta \times \frac{S_t I_t}{N}$$

$$I_{t+1} - I_t = \beta \times \frac{S_t I_t}{N} - \alpha I_t$$

$$R_{t+1} - R_t = \alpha \times I_t$$

Deux indicateurs

- Taux de reproduction de base TR_0 : nombre moyen de personnes contaminées par une personne infectée pendant la durée d'infection, hypothèse faite d'absence d'immunité
- Taux de reproduction effectif TR_t : nombre moyen de personnes contaminées par une personne infectée pendant la durée d'infection, à l'instant t

$$TR_0 = \frac{\beta}{\alpha}$$

$$TR_t = TR_0 \times \frac{S_t}{N}$$

Méthodologie de construction du SIR^+ déterministe



Non prise en compte des instants d'infection : nécessité de modification des équations des dynamiques du modèle



Approche probabiliste
des transitions entre
les états



Prise en compte des durées
passées dans l'état infecté –
modélisées par des lois de
probabilité $\Gamma(a, b)$



Obtention des dynamiques
améliorées du modèle
 SIR^+

Equations inter-état finales du modèle SIR+

Décomposition du paramètre β (SIR) en $m \times \theta$ (SIR+)

Equations de transition – état S

$$S(t+1) - S(t) = -m\theta \times \frac{S(t)I(t)}{N}$$

Equations de transition – état R

$$R(t+1) - R(t) = m\theta \sum_{k=1}^t [(F_T(t+1-k) - F_T(t-k))I(k-1)] + (F_T(t+1) - F_T(t)) \times I(0)$$

Equations de transition – état I

$$I(t+1) - I(t) = m\theta \times \frac{S(t)I(t)}{N} - \left[m\theta \sum_{k=1}^t [(F_T(t+1-k) - F_T(t-k))I(k-1)] + (F_T(t+1) - F_T(t)) \times I(0) \right]$$

Prise en compte de l'instant d'infection dans la dynamique de rétablissement

Composition des deux dynamiques précédentes

04

Processus de calibration par une méthode issue du deep-learning : algorithme ADAM

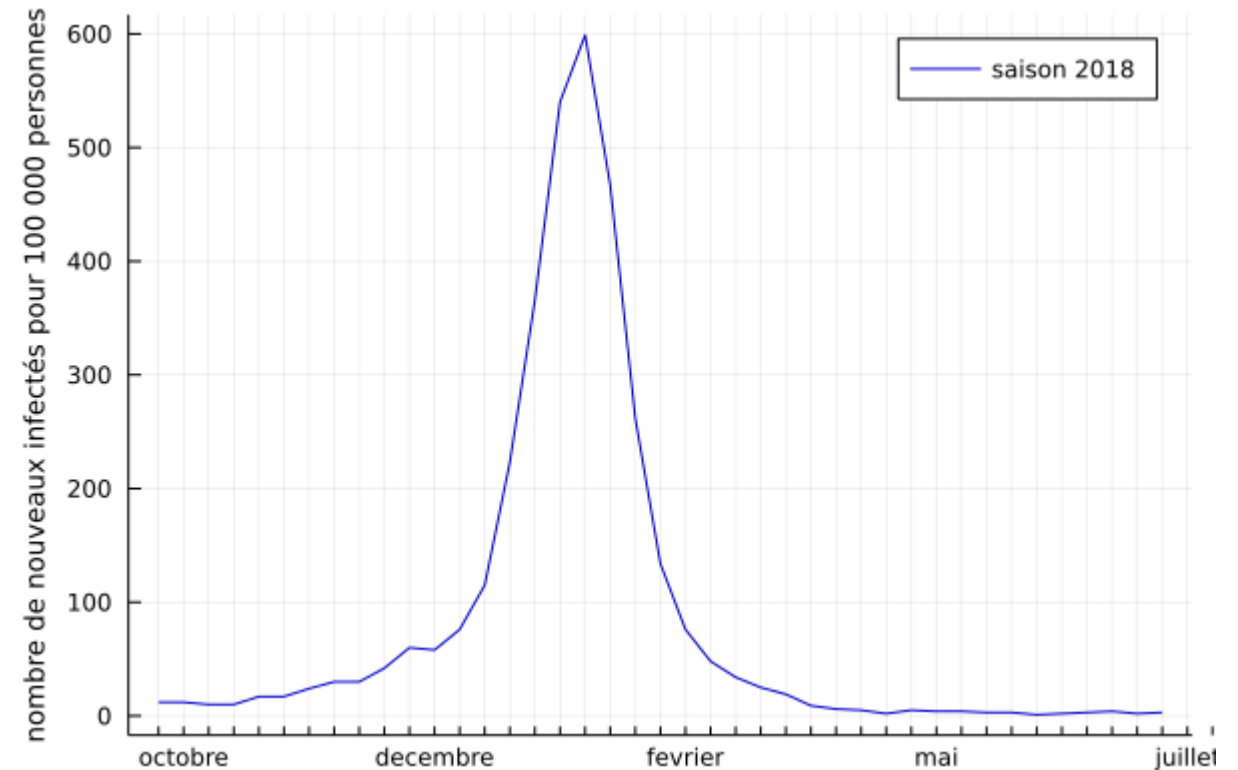
Données utilisées pour la calibration

Le réseau Sentinelles

- Réseau de surveillance de plusieurs maladies infectieuses en France, dont **la grippe saisonnière**
- Plusieurs informations recueillies : **incidence** sur toute la France, **incidence normalisée** pour 100k habitants, **intervalles** de confiance
- Maille de surveillance : **hebdomadaire**

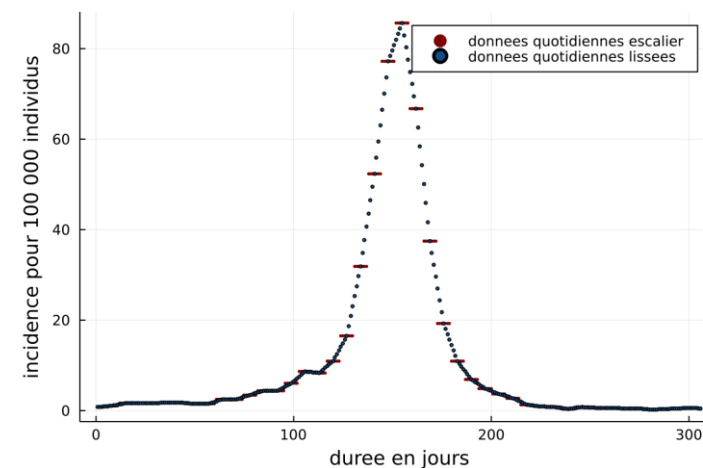
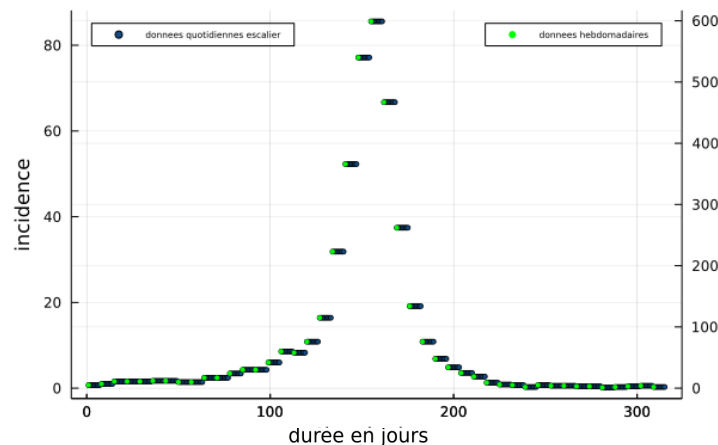
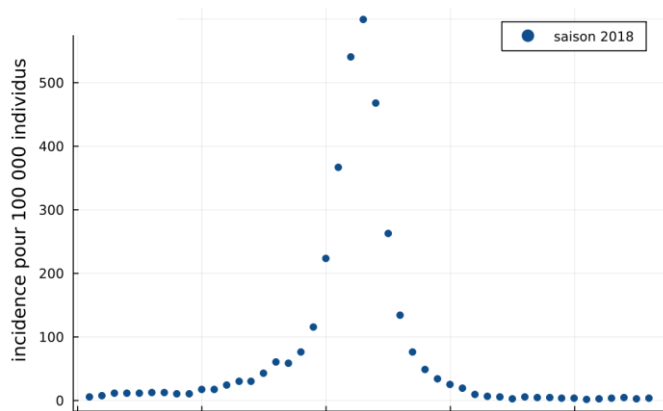
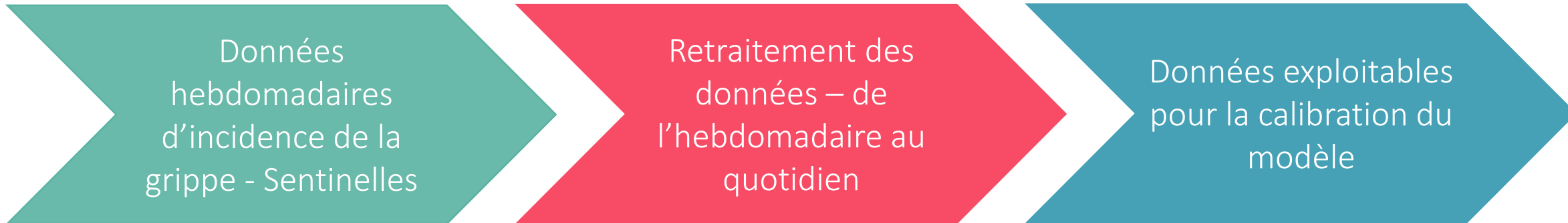
week	inc	inc_low	inc_up	inc100	inc100_low	inc100_up	geo_insee	geo_name
202105	29198	23610	34786	44	36	52	FR	France
202104	26159	21751	30567	40	33	47	FR	France
202103	21810	17894	25726	33	27	39	FR	France
202102	17320	13906	20734	26	21	31	FR	France
202101	21799	17778	25820	33	27	39	FR	France
202053	21220	16498	25942	32	25	39	FR	France
202052	16428	12285	20571	25	19	31	FR	France
202051	21619	17370	25868	33	27	39	FR	France

Extrait de la base de données Sentinelles, au format Excel



Courbe d'incidence normalisée de la grippe en France au cours du temps

Retraitement des données de Sentinelles

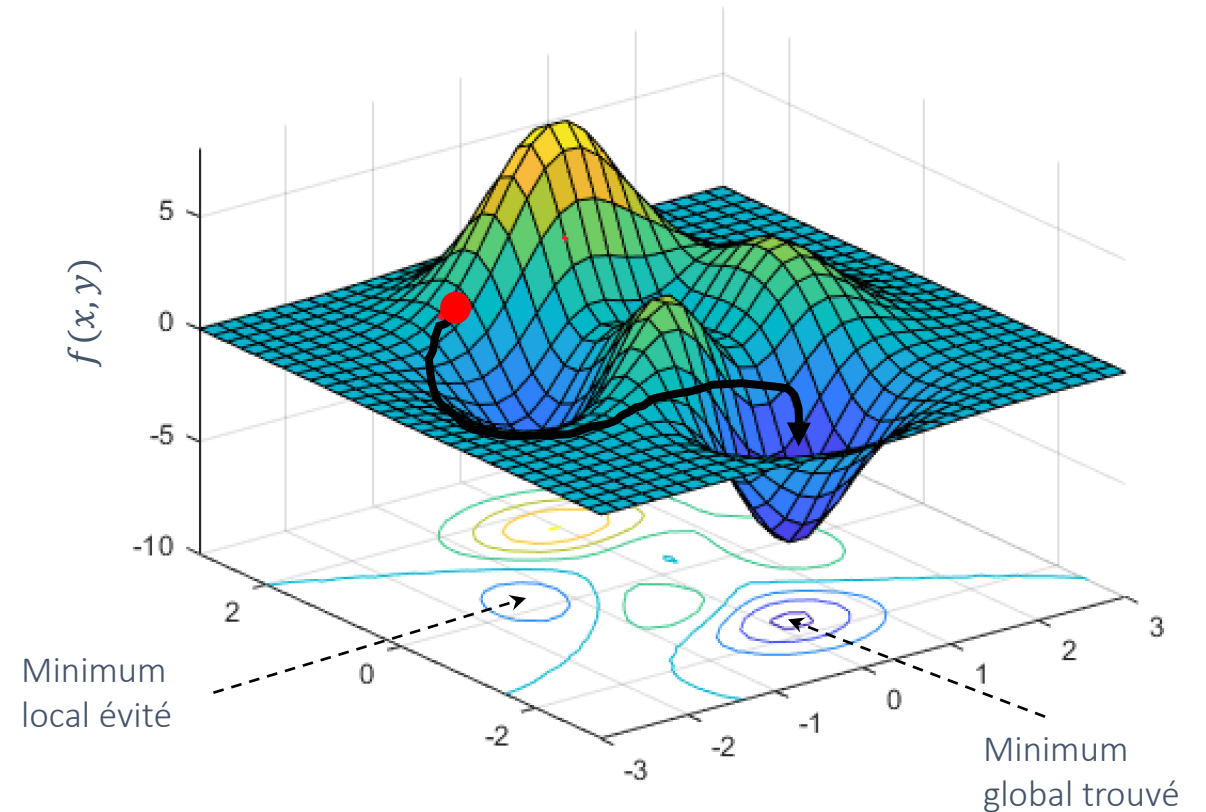


Généralités sur la méthode ADAM

- Objectif de l'algorithme ADAM : recherche du vecteur $V = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ minimisant une fonction de perte f
- Algorithme de descente de gradient : possède la particularité de rester adapté même si la fonction à minimiser dispose d'un très grand nombre de paramètres

Avantages de l'algorithme ADAM

- Vitesse de **convergence** accrue
- Forte capacité de **sortie des minima locaux**
- Simplicité **d'implémentation**



Travaux préalables à l'application d'ADAM

Vérification de l'existence du gradient de la fonction de perte

- Preuve de **dérivabilité de la MSE** par rapport à ses 3 paramètres
- Démonstration nécessaire car absence de documentation

Exclusion de certaines saisons atypiques

- Saisons **COVID** : forte chute des cas de grippe
- Saisons **irrégulières** : présence de multiples pics épidémiques

Réduction de la fenêtre de calibration

- Les points de départs initiaux engendrent une mauvaise convergence
- **Décalage dans le lancement** d'ADAM

Approximation numérique des dérivées partielles

- Impossibilité d'obtention des dérivées partielles en **formules fermées**
- Approximation par **quotient différentiel**
- Critère de choix de la précision : **construction d'une métrique** sur les quotients différentiels

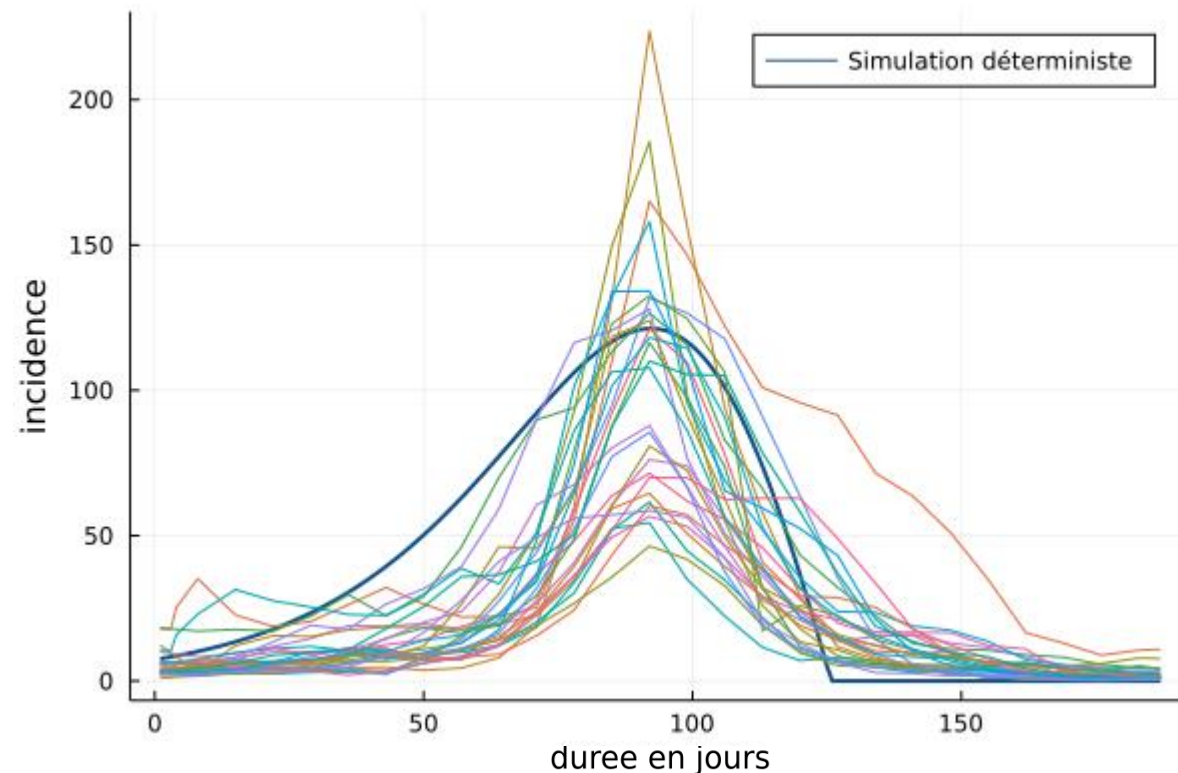
Résultats de la calibration *via* l'algorithme ADAM

L'algorithme ADAM est appliqué sur chacune des saisons retenues, et on introduit un critère d'arrêt à 1 500 itérations.

La figure ci-contre présente la courbe obtenue avec le SIR+ alimenté du jeu de paramètres de la saison retenue (1985), juxtaposée aux courbes d'incidence des saisons épidémiques fournies par Sentinelles

Saison	θ optimal	a optimal	b optimal
1985	0,0173	0,1658	28,7689
1996	0,0190	3,6678	0,8880
1998	0,0221	0,7466	4,3034
2008	0,0265	3,8223	0,6407

Jeux de paramètres optimaux pour quelques saisons



05

Transformation stochastique : vers le modèle
 SIR^+ stochastique

Méthodologie de construction du SIR^+ stochastique



Nécessité d'obtention d'un modèle stochastique cohérent avec la forte volatilité des épidémies



Proposition de plusieurs adaptations stochastiques, étude de faisabilité



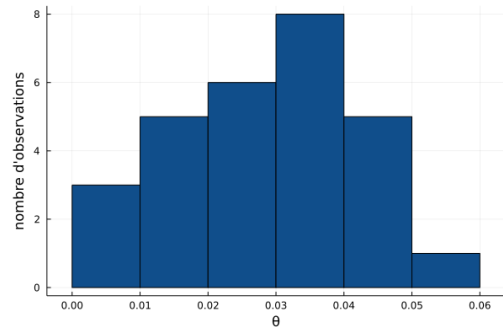
Une transformation retenue : multiplication de la dynamique déterministe par un mouvement brownien géométrique

Premières tentatives d'obtention d'un modèle stochastique



APPROCHE PAR AJUSTEMENT D'UNE LOI DE PROBABILITÉ SUR LA DISTRIBUTION DES PARAMÈTRES

- Ajustement d'une loi sur la distribution de θ
- Moment-matching pour les paramètres a et b



Distribution du paramètre θ

X Impossibilité de retenir cette méthode : scénarios stochastiques très explosifs



APPROCHE PAR REFORTE DES DYNAMIQUES DÉTERMINISTES : AJOUT D'UN PROCESSUS STOCHASTIQUE

Dynamique déterministe

$$S_{t+1}^{det} - S_t^{det} = -m \theta \frac{S_t^{det} I_t^{det}}{N}$$

Première tentative

- Approche par adéquation en espérance entre le modèle stochastique et le modèle déterministe, constituant le scénario central

Relation envisagée

$$E[S_{t+1}^{sto} - S_t^{sto}] = E[S_{t+1}^{det} - S_t^{det}]$$

X Impossibilité d'adéquation entre les deux modèles en espérance (contraintes trop fortes)

Dynamique stochastique

$$S_{t+1}^{sto} - S_t^{sto} = -m \theta \frac{S_t^{sto} I_t^{sto}}{N} + \epsilon_t$$

Seconde tentative

- Approche par identification d'une transformation de l'espérance de la dynamique de S entre deux instants consécutifs
- Tentative d'obtention d'une relation de récurrence permettant de télescoper la relation à tout instant

Relation envisagée

$$f(E[S_t^{sto}]) = E[S_{t+1}^{sto}]$$

X Relations trop lourdes et impossibilité d'obtention d'une relation exploitable

Transformation stochastique retenue

$Z_0 = 1$: condition initiale

$\gamma = 0$: processus centré

Mouvement brownien géométrique et résolution

$$dZ_t = \gamma Z_t dt + \sigma Z_t dW_t \longrightarrow Z_t = Z_0 e^{\left(\gamma - \frac{\sigma^2}{2}\right)t + \sigma W_t}$$

Dynamique du SIR+ stochastique

$$S_{t+1}^{sto} - S_t^{sto} = (S_{t+1}^{det} - S_t^{det}) \times Z_t$$

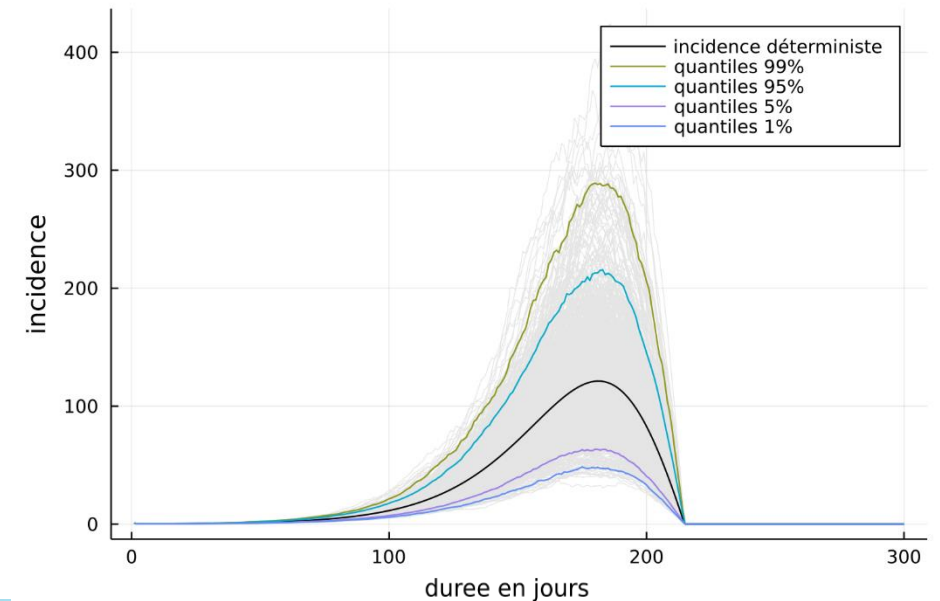
$$S_{t+1}^{sto} - S_t^{sto} = (S_{t+1}^{det} - S_t^{det}) \times e^{-\frac{\sigma^2}{2}t + \sigma W_t}$$

Calibration du paramètre σ du SIR+ stochastique

- Taux d'erreur $\tau_t = \sqrt{V(Z_t)} = \sqrt{e^{\sigma^2 t} - 1}$
- Comparaison entre l'écart-type théorique (τ_t) et l'écart-type empirique (données réelles)
- Fonction de perte à minimiser : **MSE**
- Recherche par grille

Paramètres optimaux du SIR+ stochastique :

θ^*	a^*	b^*	σ^*
0,0173	0,1658	28,7689	0,02776

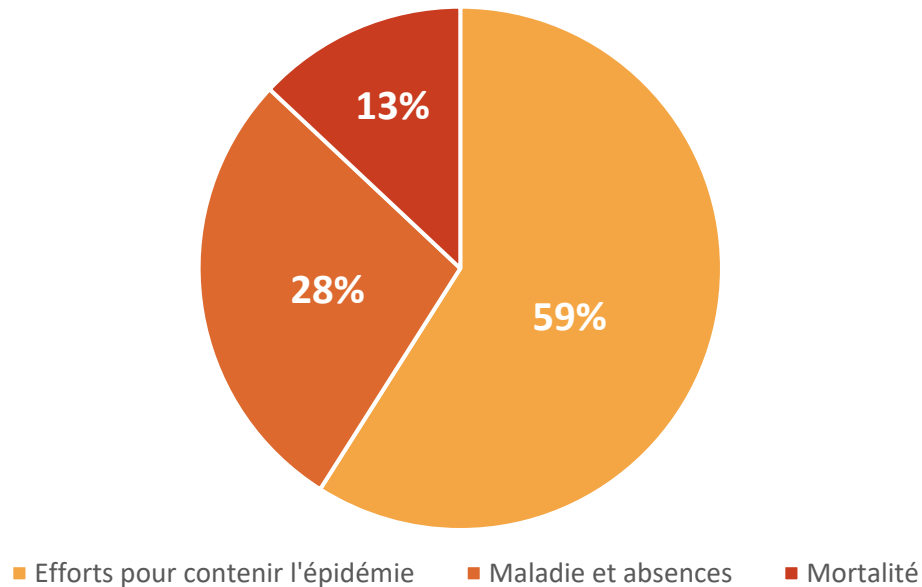


06

Cas illustratif : distribution de provisions pour
les arrêts de travail liés à la grippe

Estimations des principaux impacts d'ordre économique des épidémies

Répartition estimée des causes de baisse du PIB - épisode de type grippe espagnole

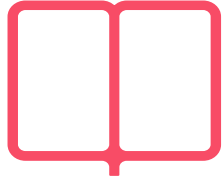


Epidémie / pandémie	Période	Perte estimée (% du PIB mondial)
Grippe espagnole	1918 – 1921	5%
Grippe asiatique	1956 – 1958	2%
Grippe de Hong-Kong	1968 – 1970	0,7%
Covid-19	2019 –	4,2% (estimation 2020)

Focus sur la grippe saisonnière – cas pratique

- Perte estimée à **1Md €** en 2015 pour la France, soit 0,05% du PIB
- **300 M €** de dépenses médicales directes
- **700 M €** pour compensation de perte de revenus, se décomposant en :
 - **300 M €** versés par l'assurance maladie
 - **400 M €** versés par les employeurs / la complémentaire

Cadre d'étude et méthodologie retenue



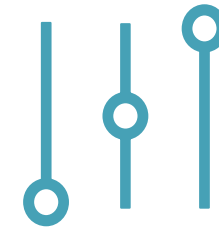
PORTEFEUILLE

- **100k individus**, associés à une répartition de salaires issue de l'INSEE
- **Variables intrinsèques identiques** – point de vue individuel
- **Variables exogènes identiques** – point de vue macroscopique



GARANTIES RETENUES

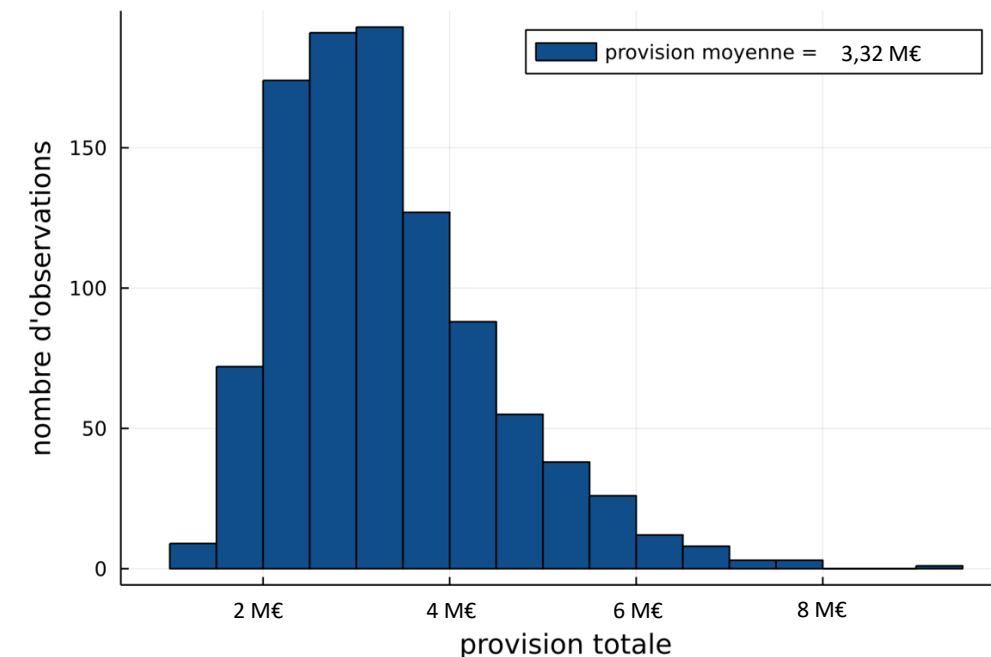
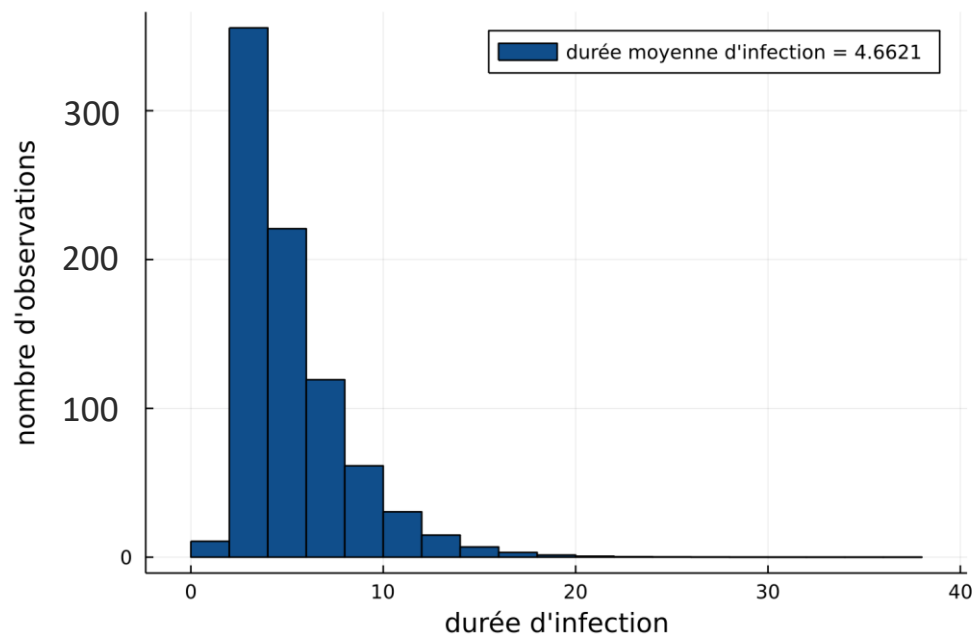
- **2 acteurs du maintien de salaire** (SS et employeur/complémentaire)
- **Pas de délai de carence**
- Hypothèse sur la **durée d'infection : inférieure à 38 jours**
- Garantie à hauteur de **100% du salaire de base**



MISE EN PLACE DES SIMULATIONS

- Création d'un **portefeuille fictif**, attribution d'un **salaire**
- Simulation d'une **épidémie**, répartition des **infectés**, et répartition des **rétablis**
- Calcul de la **charge** représentée par chaque arrêt, **agrégation**
- Répétition de la démarche **1000 fois**

Résultats des simulations



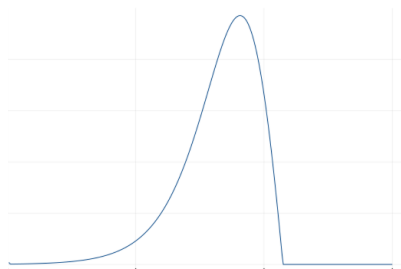
- Une durée moyenne cohérente avec les durées à dire d'expert
- Une distribution concentrée pour des courtes durées (quantile à 95% = 10j)

- Provision moyenne de 3,32M€ pour un portefeuille de 100k individus, soit 900M€ pour la population active française
- Une concentration des provisions avec absence de scénarios extrêmes

07

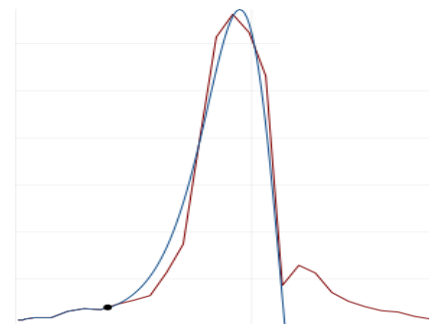
Conclusion

Récapitulatif de l'approche exploratoire



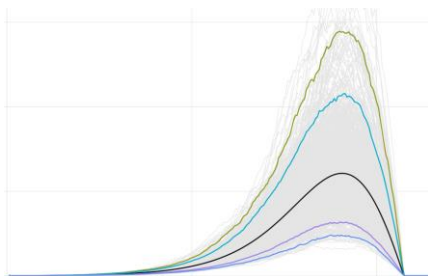
UN PREMIER MODÈLE : LE SIR+ DÉTERMINISTE

- Modèle déterministe obtenu par refonte des dynamiques du SIR+
- Répond à une nécessité d'amélioration



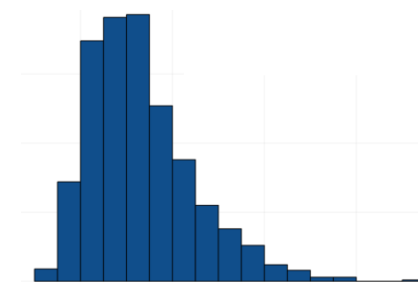
UN PROCESS DE CALIBRATION EFFICACE ET ADAPTABLE

- Algorithme ADAM
- Possibilité d'adaptation à un modèle plus complexe, comportant plus de paramètres



UN DEUXIÈME MODÈLE : LE SIR+ STOCHASTIQUE

- Transformation stochastique adéquate au regard de la structure du modèle



UNE APPLICATION ACTUARIELLE D'ACTUALITÉ

- Obtention d'une distribution des durées d'infections
- Obtention d'une distribution des provisions pour arrêt de travail

Perspectives d'évolutions

- Complexification du modèle par ajout d'état et / ou de prise en compte de plus de facteurs d'influence dans les transitions
- Tests exhaustifs d'adaptation à d'autres épidémies / pandémies

Problématiques liées à la modélisation des risques émergents

Un besoin de modélisation croissant

- Les risques émergents sont souvent associés à des systèmes complexes, difficilement modélisables
- Malgré une collecte de données de plus en plus efficace, elles restent difficilement exploitables avec les modèles usuellement utilisés par les actuaires

Un besoin dispersé

- La tarification d'un produit faisant intervenir plusieurs garanties peut entraîner des modélisation distincte du même phénomène
- Introduit une problématique liée à la cohérence de la modélisation sur l'ensemble des garanties ou produits impactés

Des besoins spécifiques

La modélisation des risques associés à ces systèmes complexes se doit de répondre à des contraintes fortes :

- La durée de projection des variables associées à ces systèmes doit correspondre à la durée d'écoulement du risque
- Dans l'idéal, elle doit permettre une segmentation cohérente avec les autres risques en portefeuille, en prenant en compte l'influence de facteurs explicatifs du risques liés à des variables en portefeuille

Q&A