

Validation des modèles de calcul des fonds propres et des risques d'assurance

Une commandite de la Section conjointe CAS/ICA/SOA sur la gestion du risque

par
Markus Stricker
Shaun Wang
Stephen J. Strommen

Avril 2014

© 2014 Casualty Actuarial Society, Institut canadien des actuaires, Society of Actuaries. Tous droits réservés.

Les opinions exprimées et les conclusions tirées sont celles des auteurs et ne représentent pas la position officielle ni l'opinion des organismes commanditaires ou de leurs membres. Ces organismes ne font aucune déclaration et n'offrent aucune garantie quant à l'exactitude de l'information. Les opinions et vues ici exprimées sont celles des auteurs et ne traduisent pas forcément celles des sociétés.

Remerciements

Ce projet de recherche a été commandité par la Section conjointe sur la gestion du risque de la Casualty Actuarial Society/Institut canadien des actuaires/Society of Actuaries, et sa conduite et sa coordination ont été assurées avec excellence par Steven Siegel et Barbara Scott de la Society of Actuaries. Les auteurs remercient le groupe de supervision du projet, et plus particulièrement Ben Neff, Daniel Hui, David Schraub, Glenn Meyers, Jonathan Glowacki, Madhu Windo, Richard de Haan et Ron Harasym pour leur précieuse collaboration et leurs commentaires détaillés.

Résumé et sommaire

L'utilisation des modèles internes de risque est largement répandue chez les banques et les sociétés d'assurance pour mesurer le risque, calculer les exigences totales en fonds propres et allouer le capital par décision commerciale. De plus, l'évaluation et la tarification des produits complexes financiers et d'assurance sont régulièrement effectuées au moyen de modèles mathématiques avancés en raison de l'absence de prix de marché pour ces produits. L'utilisation de modèles à ces fins introduit un risque du fait que ces derniers peuvent comporter des erreurs. Cela vaut particulièrement pour les situations dans lesquelles le cadre financier d'exploitation d'une entreprise dépend dans une large mesure des résultats d'un modèle.

La validation d'un modèle a pour but de limiter le risque que son utilisation amène la direction à prendre de mauvaises décisions. Ce risque peut être qualifié de « risque de modélisation ». La première partie du présent document énonce et décrit cinq éléments distincts du risque de modélisation, et elle est suivie de la description d'un processus de validation comportant des étapes spécifiques qui prennent en compte chaque élément.

La validation des modèles a souvent lieu dans un environnement dynamique dans lequel des changements dans les rapports hiérarchiques et les modèles s'opèrent constamment. La seconde partie du document aborde les difficultés que pose la validation dans un environnement dynamique, en insistant sur le cycle de contrôle de gestion des risques.

Les modèles ont joué un rôle déterminant dans certaines des affaires financières fortement médiatisées. Nous analysons donc brièvement le rôle que les modèles ont joué dans les difficultés rencontrées par AIG avec les swaps sur défaillance (CDS) et dans celles qu'a connues JP Morgan Chase par suite des opérations de courtage effectuées par la « baleine de Londres ». Enfin, nous présentons une étude de cas qui examine les nombreuses façons dont les modèles et le risque de modélisation interviennent dans l'élaboration d'un nouveau produit d'assurance-vie : l'assurance-vie universelle avec garanties secondaires.

La validation des modèles devrait être considérée comme faisant partie intégrante de la gestion globale des risques, laquelle inclut la gestion de l'utilisation des modèles au sein de l'entreprise. La direction doit décider du moment et des conditions dans lesquelles les modèles seront utiles à la prise de décision et elle devrait mettre en place un processus de gouvernance pour gérer les responsabilités et les rapports entre les parties qui conçoivent, mettent en œuvre et exécutent les modèles ou qui s'appuient sur leurs résultats. La validation fait partie de la gouvernance des modèles, et, comme elle concerne toutes les parties, elle peut être confondue avec la gouvernance. Toutefois, bien que la validation permette de déterminer si les responsabilités et les rapports entre les parties ont été documentés et fonctionnent bien, elle ne crée pas ces rapports ni ne gère leur évolution au fil du temps. La validation permet de déterminer si le modèle fonctionne bien et produit de l'information fiable, mais elle ne permet pas de déterminer en premier lieu si un modèle devrait être construit et utilisé. Cela étant dit, nous avons joint une annexe dans laquelle nous comparons les cinq éléments du risque de modélisation (et de la validation) avec d'autres cadres bien connus d'utilisation de modèles : les critères de Solvabilité II pour l'utilisation réglementaire des modèles internes, les principes de validation des modèles du North American CRO Council et les directives prudentielles sur la gestion du risque de modélisation qui ont été produites à l'intention des banques par l'Office of the Comptroller of the Currency.

Table des matières

Remerciements.....	2
Résumé et sommaire	3
Introduction.....	5
Définition du risque de modélisation	5
Recensement des méthodes de validation en usage ailleurs	6
Guide pour le processus	8
Risque de conception	9
But du modèle.....	9
Les concepts et leurs limites	11
Risque de mise en œuvre	13
Risque lié aux données d'entrée.....	16
Risque lié aux données de sortie.....	18
Risque d'information	21
Cycle de contrôle de gestion des risques	22
Présentation et communication	26
Gouvernance	28
Étude du cas du modèle de swaps sur défaillance d'AIG	28
Échec de la gouvernance des modèles : le cas de JPMorgan Chase et de la baleine de Londres	29
Le risque de modélisation : étude du cas de l'assurance-vie universelle avec garanties secondaires (VUGS).....	30
Le risque de modélisation dans le contexte de la réglementation.....	31
Le risque de modélisation dans le contexte de la tarification	33
Un modèle limité pour les taux de mortalité futurs.....	33
Modèles en opposition pour les taux d'intérêt futurs.....	34
Bibliographie.....	38
Annexe 1 : Quelques approches de représentation graphique du risque.....	39
Annexe 2 : Comparaison avec d'autres cadres de travail	47
North American CRO Council.....	47
Critères de Solvabilité II pour l'approbation réglementaire des modèles internes	48
Conseils de l'Office of the Comptroller of the Currency en matière de gestion du risque de modélisation.....	50

Introduction

Définition du risque de modélisation

Le but premier de la validation des modèles est d'évaluer et de communiquer le degré du risque de modélisation compte tenu de l'utilisation prévue du modèle. L'une des répercussions du processus de validation est qu'il met souvent en lumière des suggestions d'améliorations et qu'il entraîne, par voie de conséquence, une réduction du risque de modélisation.

Vu que la validation est étroitement liée au risque de modélisation, il nous faut définir ce qu'est ce risque. En termes généraux, le risque de modélisation découle de diverses sources d'erreur ou de la mauvaise construction ou utilisation du modèle. Ainsi défini, il est difficile d'en tirer des principes de validation. À des fins pratiques, il nous faut donc décomposer cette définition générale en ses éléments constitutifs afin de pouvoir prendre en compte certains types d'erreurs et d'inexactitudes. La définition suivante a tout d'abord été proposée [13] :

1. *Risque de conception* : Le risque que les concepts de modélisation ne conviennent pas à l'utilisation prévue du modèle, ce qui inclut le risque méthodologique. Nous estimons qu'un concept est un peu plus général qu'une méthode, par exemple la question de savoir si un certain facteur de risque est pris en compte dans un modèle est conceptuellement importante, même si nous n'avons pas encore décrit de méthode explicite pour traiter ce facteur de risque dans le modèle. Les décisions concernant quels facteurs de risque simuler et quelles méthodes employer pour les simuler appartiennent à cette catégorie.
2. *Risque de mise en œuvre* : Il en existe deux types :
 - Le risque d'avoir choisi de mauvais algorithmes pour appliquer les concepts de modélisation précisés;
 - Le risque que les algorithmes choisis, bien qu'adéquats, contiennent des erreurs de codage ou des bogues.
3. *Risque lié aux données d'entrée* : Le risque que les paramètres d'entrée soient inadéquats, incomplets ou inexacts.
4. *Risque lié aux données de sortie* : Le risque que les principales données et statistiques que peut produire le modèle n'aient pas d'utilité commerciale ou soient trop sensibles aux paramètres d'entrée fournis. Cette dernière possibilité n'est pas toujours détectée au niveau conceptuel. Et ce n'est généralement pas une mauvaise chose d'avoir un modèle sensible. Un risque de modélisation est introduit si les données d'entrée ne peuvent qu'être grossièrement estimées et que les données de sortie sont très sensibles à ces paramètres.
5. *Risque d'information* : Le risque que les données communiquées aux utilisateurs fonctionnels soient incomplètes ou trompeuses. Cela s'apparente au dénommé test relatif à l'utilisation du modèle prévu par Solvabilité II, selon lequel l'entreprise doit prouver à l'autorité de réglementation que le modèle, c'est-à-dire les rapports, sont utiles à la prise de décisions d'ordre commercial, par exemple, à des fins de tarification ou de planification des activités. Quelques personnes considèrent que cela ne fait pas partie de la validation des modèles, mais nous ne sommes pas d'accord avec elles. Il se peut fort bien que les résultats détaillés du modèle dépeignent très bien l'état des risques pour l'expert technique, mais si ces résultats sont

regroupés en quelques données statistiques clés qui sont communiquées à la direction sans les détails, celles-ci pourraient aisément se prêter à une mauvaise interprétation.

L'exemple type est celui de la mesure de la volatilité des revenus, c'est-à-dire l'écart-type. Si deux portefeuilles ont des écarts-types identiques, cela ne veut pas dire que les risques dans ces portefeuilles sont les mêmes. Étant donné que l'écart-type est une mesure symétrique autour de la moyenne, il se peut fort bien qu'un portefeuille subisse des effets du hasard qui sont l'opposé de ceux que subit l'autre. Avec presque n'importe quelle donnée statistique clé, y compris la valeur à risque (VaR) et la valeur à risque conditionnelle, nous pouvons créer des exemples de portefeuilles avec des données clés identiques et des caractéristiques de risque très différentes.

La distinction existant entre le risque lié aux données de sortie et le risque d'information n'est pas nette, parce que tous deux se rapportent aux résultats du modèle. L'importance de les distinguer deviendra plus claire lorsque nous analyserons, à la section traitant du processus de validation, de l'intégration de ce dernier dans le cycle de contrôle de gestion des risques. Pour l'heure, nous nous contenterons de dire que la différence entre ces deux risques est qu'ils sont pris en charge par deux différents groupes de personnes ayant des compétences et des responsabilités différentes, et que différents niveaux de détail sont présentés à ces deux groupes distincts. Le précédent exemple d'un écart-type ou d'une valeur VaR identique ne devrait pas amener un expert technique à penser que l'état des risques est inchangé, mais, selon la façon dont ce résultat est présenté, cela pourrait subtilement laisser entendre à la direction que rien n'a changé. Donc, le *risque d'information* a beaucoup à voir avec la communication efficace des résultats aux décideurs, alors que le *risque lié aux données de sortie* a trait à la question technique de savoir si les données de sortie sont exactes et peuvent être interprétées dans le contexte de leur utilisation prévue.

Il est très important d'avoir une définition claire et pratique des éléments constituant le risque de modélisation, car celle-ci sert de fondement à la communication entre les diverses parties qui participent à la validation du modèle. En l'absence d'une distinction claire des sources du risque de modélisation, on pourrait discuter de principes de validation très généraux auxquels tous souscrivent, mais sans savoir en quoi consiste une validation. Les instructions en matière de validation des modèles que la Lloyd's de Londres a produites à l'intention de ses agents généraux en application de Solvabilité II [2] peuvent servir de référence [2]. Toutefois, ce document ne comporte pas de définition du risque de modélisation et, par conséquent, omet l'une des sources importantes du risque de modélisation, à savoir le risque de mise en œuvre. Nous estimons que les éléments du risque de modélisation ici définis, accompagnés des mesures spécifiques que nous proposons pour prendre en compte chaque élément, forment une méthode complète et concrète de validation des modèles que l'on ne trouve nulle part ailleurs dans la littérature produite à ce jour.

Recensement des méthodes de validation en usage ailleurs

Nous pouvons apprendre des nombreuses expériences avec les processus de validation conduites dans d'autres domaines. La validation des modèles a lieu dans le contexte des produits d'ingénierie, du développement de logiciels, des aliments et médicaments et des modèles environnementaux.

Les résultats qui s'appliquent le plus directement sont issus de l'activité de développement de logiciels, pour laquelle on consacre d'importants efforts aux procédures de tests [4]. Les modèles actuariels que nous souhaitons valider sont implantés dans un logiciel, et l'équipe chargée du développement devrait donc appliquer ces procédures pour réduire le risque de mise en œuvre. L'équipe chargée de la validation

peut utiliser les paramètres du logiciel pour détecter si les procédures de tests ont été appliquées avec soin. L'un des paramètres types des logiciels mesure le taux de couverture du code par des scénarios de tests automatisés. Les processus de certification des logiciels utilisés pour le matériel d'avionique prescrivent le taux de couverture du code. D'autres mesures traitent de la complexité du programme, et d'autres encore mesurent le nombre de personnes indépendantes ayant participé à la création et à la vérification des sections du code ou de sa documentation. Il est étonnant que ces mesures permettent d'apprécier la qualité de la mise en œuvre, surtout la dernière, qui ne fait qu'indiquer le nombre de personnes ayant participé, ce qui va à l'encontre de l'intuition de la plupart des décideurs. Dans ses études, Panko [7] a montré que les utilisateurs de tableurs sont trop confiants : s'ils ont créé eux-mêmes un modèle de tableur sans l'aide de personne, ils croient que la mise en œuvre a moins de chance d'être sujette à erreur que si d'autres personnes y avaient participé – or, c'est le contraire qui semble vrai.

Bien que le lien existant entre le risque de mise en œuvre et la vérification de logiciels soit très clair, nous sommes étonnés de constater que de nombreux services de gestion des risques n'ont pas adopté de procédures professionnelles relatives aux tests. Vu que le marché des logiciels n'est pas réglementé, les procédures de validation des logiciels ne couvrent pas certains des autres éléments du risque de modélisation, plus particulièrement le risque de conception et le risque d'information.

Bien que le marché des produits d'ingénierie ne soit pas réglementé de la même façon que le marché de l'assurance, la défaillance de certains de ces produits (p. ex., les moteurs à réaction) aurait un impact considérable sur la vie des passagers, et c'est pourquoi il existe des procédures strictes (p. ex., des règlements de la Federal Aviation Administration (FAA)) qui régissent la mise en marché de ces produits et leur fonctionnement. Étant donné que ces produits ne changent pas habituellement et qu'ils sont utilisés dans un environnement stable, les procédures de validation s'apparentent davantage à un ensemble de tests standardisés.

Le cas des aliments et médicaments est différent, car le produit reste stable et peu de modèles sont utilisés. Pourtant, cet environnement est similaire à l'environnement de modélisation des risques, et ce, pour deux raisons : tout d'abord, le fabricant ne peut tester entièrement son produit en situation d'utilisation réelle. Les souris de laboratoire jouent le rôle du modèle, mais elles ne sont pas des humains. Et les essais cliniques s'effectuent habituellement selon la posologie normale, alors qu'en réalité il est impossible de contrôler la manière dont les patients utilisent le produit – ils peuvent prendre trop de médicaments ou pas assez ou encore un cocktail de médicaments, de même que l'on peut acheter trop ou trop peu de produits financiers ou une étrange combinaison d'entre eux. Deuxièmement, l'autorité de réglementation est là pour protéger les particuliers.

Le parallèle le plus étroit que l'on puisse établir avec la validation des modèles de risque se trouve dans la validation des modèles environnementaux. Il est question ici de modèles climatiques ou de modèles relatifs à un écosystème spécifique qui servent à évaluer l'impact environnemental d'une mesure particulière. La situation de la direction et de celle des autorités de réglementation est exactement la même que celle prévalant dans le secteur des services financiers. Les données du passé sont rares et pourtant elles servent à étalonner les modèles. Mais qui peut garantir que les données couvrent un éventail assez large d'éventualités? Deuxièmement, les données sont traitées par des modèles que seuls des experts peuvent comprendre et elles peuvent être compilées de différentes façons. Les résultats de ces modèles servent à définir des politiques. Et comme dans le cas du secteur des services financiers, le seul

véritable test a lieu en situation d'utilisation réelle, ce qui comporte des dangers, car les effets des politiques ne peuvent être évalués qu'après un certain temps; et lorsque les effets potentiellement négatifs d'une politique se concrétisent, ils représentent un coût important pour la société – ce sont les contribuables qui paient les travaux de dépollution ou le sauvetage des institutions financières d'importance systémique. Notre définition du risque de modélisation s'applique donc entièrement à la modélisation environnementale. Il ne faut pas s'étonner que ce champ d'études ait produit des ouvrages sur la validation des modèles [5]¹.

Bien entendu, le secteur bancaire doit lui aussi procéder à la validation des modèles [6]. Et il existe des parallèles entre certains des risques d'investissement auxquels les banques font face et les risques d'investissement auxquels sont confrontés les assureurs actifs dans les domaines de l'assurance-vie et des régimes de retraite. Mais même lorsque les risques d'investissement coïncident, il existe d'importantes différences sur le plan temporel – les modèles d'assurance s'appliquent habituellement sur des horizons beaucoup plus longs – et sur le plan des liquidités – les sociétés d'assurance ne détiennent pas d'ordinaire de portefeuille de négociation –, qui font que les modèles des banques s'appliquent moins bien aux assureurs. Et les banques ne sont pas exposées au risque de réclamations d'assurance comme celles découlant de dommages matériels causés par des catastrophes, ni aux coûts des soins de santé et ni au risque de longévité. Qui plus est, les modèles des assureurs doivent prendre en compte certaines considérations comme le manque de données disponibles et l'absence de standardisation. Toutes ces différences expliquent pourquoi les assureurs ne devraient pas adopter aveuglément les modèles de risque que les banques utilisent. Le processus de validation des modèles permet de déterminer si et quand un modèle utilisé ailleurs peut être appliqué à la gestion des risques d'assurance.

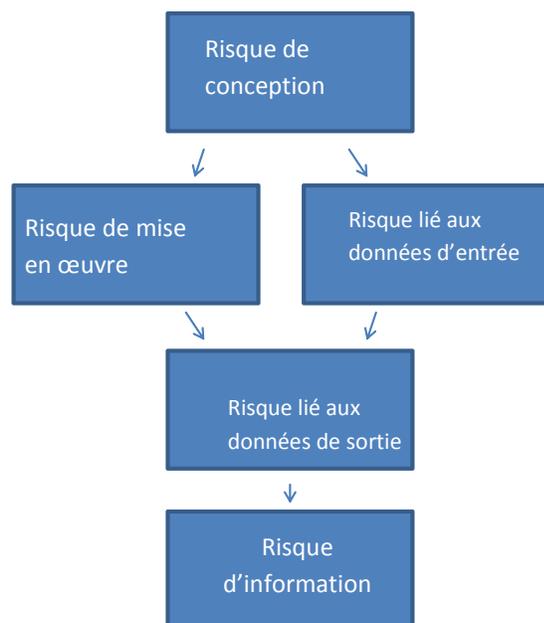
Guide pour le processus

Il n'existe pas encore de normes généralement reconnues pour la création d'un processus de validation; la plupart du temps, il s'agit seulement de principes de validation qui indiquent, pour l'essentiel, que l'étendue et la rigueur doivent être proportionnées au risque encouru. Mais cela laisse trop de place à l'interprétation : Quel type de documents le responsable de la validation doit-il vérifier, et en quoi consiste cette vérification? Et comment structurer et documenter un processus de validation?

Le processus de validation devrait suivre les principales sous-catégories susmentionnées du risque de modélisation. Pour l'efficacité du processus, il importe de noter qu'il existe des liens de dépendance entre les sous-catégories :

¹ Le sommaire figurant en première partie de ce livre se veut une excellente introduction à de nombreux aspects que nous développons ici dans le contexte des modèles de risque des sociétés d'assurance. La liste des principales questions de la validation, présentée à la page 145, ressemble à notre définition du risque de modélisation.

Ordre du risque de validation des modèles



La conséquence de l'existence de ces liens de dépendance est que si la validation d'une sous-catégorie du risque échoue, il est inutile de valider les sous-catégories dépendantes. Si le modèle se divise en sous-modèles, cet argument vaut pour chaque sous-modèle. Il est à noter que si le modèle est divisé en sous-modèles, l'agrégation doit être considérée comme un sous-modèle devant être validé selon les mêmes normes. Même si tous les sous-modèles sont parfaitement adéquats, cela ne signifie pas que leur agrégation peut être effectuée de manière cohérente.

Un grand nombre des étapes explicites de la validation en ce qui concerne le risque de conception, le risque lié aux données d'entrée, le risque lié aux données de sortie et le risque de mise en œuvre ont déjà été mentionnées [14]². Les processus de validation qui s'appliquent à chacune des sous-catégories du risque de modélisation font l'objet de sections distinctes ci-après. Dans ces sections, les paragraphes marqués d'une coche peuvent être considérés comme faisant partie d'une liste de contrôle des étapes à accomplir durant la validation.

Risque de conception

Le risque de conception ne peut être évalué sans connaître le but du modèle.

But du modèle

Souvent, nous avons constaté que le but du modèle était traité comme une introduction à la documentation du modèle : une brève déclaration rappelant pourquoi le modèle est construit. Nous considérons cela inadéquat, car aucune des personnes responsables de la validation ne peut apprécier la pertinence des concepts de la modélisation sans savoir comment les utilisateurs intégreront le modèle à la

² La section du présent rapport traitant du risque d'information a été considérablement développée par rapport à la version précédente.

prise de décision. Nous croyons donc qu'il est essentiel que chacun des membres de l'équipe de validation sache bien qui sont les utilisateurs prévus et quel usage ils feront des résultats des données de sortie du modèle.

Plutôt que de décrire le contexte d'application en termes généraux, nous recommandons de documenter le but du modèle comme suit :

- ✓ Faire renvoi aux sections pertinentes des lignes directrices traitant de la souscription, des placements ou de la gestion des risques ou à d'autres documents qui traitent de l'utilisation des données de sortie des modèles. Il faut se méfier si, à la lecture de ces textes, on ne sait pas très bien quelles décisions les données de sortie du modèle appuient et dans quelle mesure les utilisateurs peuvent remplacer ou augmenter ces dernières par de l'information qualitative ou l'exercice du jugement. Les données de sortie du modèle servent à prendre des décisions quantitatives. La direction doit inclure d'autres sources d'information, faire preuve de jugement et éventuellement mettre en doute les résultats du modèle. Loin de nous l'idée de proposer la prise de décision automatisée à partir des résultats du modèle, mais le rôle du modèle et la place du jugement dans le processus décisionnel doivent être documentés.
- ✓ Inclure une description des utilisateurs : À ce stade de la validation, nous devons seulement vérifier si les rapports s'adressent à une audience bien définie. Il n'est pas encore nécessaire de déterminer si l'information contenue dans les rapports aide les utilisateurs à prendre des décisions. Cela sera traité plus tard à la section portant sur le risque d'information et le test relatif à l'utilisation du modèle, où nous évaluerons de façon explicite la présentation du contenu pour déterminer s'il est approprié pour les utilisateurs.

Du point de vue réglementaire, le but de l'exercice de modélisation revêt aussi de l'importance. Les autorités de réglementation veulent savoir si les résultats du modèle auront une incidence importante sur l'activité de l'entreprise. L'argument est que l'entreprise investit davantage dans la modélisation adéquate des situations de risque si son activité en dépend. Le Committee of European Insurance and Occupational Pensions Supervisors (CEIOPS), par exemple, indique ce qui suit dans sa directive sur les mesures d'exécution de niveau 2 pour Solvabilité II [8] : « Les entreprises d'assurance et de réassurance démontrent qu'elles utilisent largement leur modèle interne et que celui-ci joue un rôle important dans leur système de gouvernance [...] » Il est évident que les autorités de réglementation ne se fieront pas au modèle si la direction de l'entreprise ne le fait pas, et c'est pourquoi elles appliquent un test relatif à son utilisation.

Cela introduit un paradoxe qui, semble-t-il, n'a pas été résolu par les autorités de réglementation. Celles-ci veulent que les entreprises utilisent leurs modèles de risque à grande échelle afin qu'elles cherchent à construire de bons modèles et réduisent ainsi au minimum, espère-t-on, le risque de modélisation. Mais si l'utilisation d'un modèle est trop répandue, même une faible quantité de risque de modélisation pourrait avoir des conséquences désastreuses pour l'entreprise, car trop de décisions dépendent des données de sortie du modèle. Pire encore, si les autorités de réglementation prescrivent l'utilisation d'un certain modèle (p. ex., le modèle standard de Solvabilité II), et si toutes les entreprises doivent utiliser ce même modèle, le risque de modélisation peut entraîner un risque systémique.

Selon nous, la personne responsable de la validation devrait vérifier si le modèle est en usage, soit procéder aux deux vérifications susmentionnées, mais il ne devrait pas chercher à élargir le champ d'application du modèle, car toute application du modèle en dehors de son utilisation prévue à l'origine constitue un risque de modélisation. Il faut donc interpréter avec prudence l'invitation du CEIOPS à utiliser le modèle le plus possible; il est plus important de veiller à l'utiliser de façon judicieuse et appropriée. L'élargissement de l'utilisation peut nécessiter des changements ou des améliorations au modèle. Les entreprises doivent être conscientes du compromis à faire entre une utilisation *répandue* et une utilisation *judicieuse*.

Les concepts et leurs limites

À moins qu'un modèle standard ne soit utilisé comme le prévoit Solvabilité II, deux questions fondamentales se posent :

1. Quels risques faut-il modéliser?
2. Quelles méthodes de modélisation appliquer pour les modéliser?

Il est important de répondre en premier lieu, et indépendamment du choix de la méthode modélisation, à la question de savoir quels risques sont assez importants pour devoir faire l'objet d'une modélisation. Souvent, nous avons vu que la première question était répondue implicitement par le choix de la méthode de modélisation, ce qui, à notre avis, est incorrect, car l'ordre est inversé; le point de départ doit être l'identification des risques à modéliser. Vient ensuite le choix de la méthode.

Le choix des risques à modéliser occupe une place absolument centrale dans l'appréciation du risque de modélisation. Certains auteurs proposent un classement subjectif des risques ou la réalisation de tests sur l'importance relative [2]. Nous considérons ces tests problématiques, car l'application de statistiques de risque au classement linéaire de facteurs de risque ne tient pas compte du fait que certains risques influent sur le modèle plus que d'autres. Ce classement des risques (p. ex., en fonction du coefficient de variation ou de l'écart-type, ou de la mesure de l'épaisseur de l'extrémité de la distribution) suppose que tous les facteurs de risque influent de la même manière sur le modèle. Si différentes statistiques sont appliquées à différents facteurs de risque, il sera difficile de les comparer; ou si une autre statistique est appliquée, l'ordre pourrait changer. La décision de savoir quels facteurs de risque modéliser doit être prise par un expert. Par conséquent, il est important que le motif de cette décision soit bien documenté. Une fois que le choix des risques à modéliser est fait, les données de sortie du modèle ne tiendront plus compte des risques qui ont été exclus. Cela peut sembler futile, mais il s'agit là d'une déclaration importante. Si l'on ne prend pas le temps de choisir à ce stade les risques qu'il faut modéliser, on pourrait avoir des surprises plus tard et avoir à résoudre des problèmes qui demanderont beaucoup plus de temps et d'efforts.

- ✓ Vérifier si un processus est en place pour déterminer quels risques il faut modéliser. Il faut se méfier si les risques modélisés sont déterminés implicitement par les méthodes de modélisation des risques ou par un classement linéaire des risques obtenu au moyen de statistiques de tests, car cela peut indiquer que les techniciens ont entrepris la modélisation sans faire intervenir les décideurs, qui eux connaissent les raisons pratiques pour lesquelles le modèle est utilisé en premier lieu.

Il est à noter qu'une fois cette étape franchie, toutes les autres étapes de la validation font allusion uniquement aux risques modélisés. Ainsi, lorsque la question de l'importance relative sera soulevée dans

les sections traitant des risques liés aux données d'entrée et aux données de sortie, ce ne sera pas la même que celle que l'on vient d'aborder. Les questions qui suivent au sujet de l'importance relative dépendent toutes de la décision sur la sélection des risques. Par conséquent, les méthodes de validation qui ne font pas de distinction nette entre l'importance relative dans le contexte de la sélection des risques et l'importance relative dans le contexte de la sensibilité des résultats du modèle seront forcément imprécises dans leur réponse à la question de l'importance relative.

La plupart des nouveaux modèles sont en grande partie construits par recombinaison des concepts des modèles existants. Il est avantageux d'utiliser les concepts des modèles existants parce que leurs avantages et leurs limites sont bien connus. La validation des concepts devrait consister à :

- ✓ Vérifier si la documentation sur les concepts fait mention des sources externes. Si les concepts des modèles existants sont utilisés, ils devraient être mis par écrit accompagnés d'une mention d'une source publiquement accessible. Il faut se méfier si l'entreprise affirme que tous les concepts de modélisation lui appartiennent.
- ✓ Vérifier si la documentation sur les concepts décrit la façon dont les éléments de la modélisation sont liés entre eux et pourquoi ils peuvent être utilisés ensemble. Parfois, cela est appelé à tort l'agrégation. La documentation sur l'agrégation des modèles doit soutenir la cohérence des sous-modèles, mais ce n'est pas le seul endroit où cette question se pose : toutes les unités de traitement subséquentes du modèle doivent veiller à ce que les données de sortie d'une partie du modèle puissent être utilisées de manière cohérente par la partie suivante. Par exemple, si une entreprise décide de modéliser les réclamations au niveau annuel agrégé et que, pour le même modèle, elle décrit un modèle détaillé de réassurance non proportionnelle, elle fait preuve d'incohérence.
- ✓ Vérifier si l'on décrit de façon suffisante les limites des concepts. Nous ne saurions trop insister sur l'importance de s'assurer que les limites ont été documentées. Premièrement, il est important que les utilisateurs fonctionnels soient informés des limites, autrement dit, que celles-ci soient mentionnées dans le rapport. Deuxièmement, cela revêt de l'importance pour les personnes qui mettent en œuvre le modèle, car elles sont habituellement moins au fait des concepts de la modélisation et ne savent donc pas quelles limites il faut vérifier durant la mise en œuvre. Si les limites du modèle ne sont pas bien documentées, cela créera probablement un grand risque de mise en œuvre ainsi qu'un grand risque d'information. Par exemple, si les méthodes ne prévoient pas la dépendance d'extrémité, ce modèle ne produira aucune dépendance d'extrémité, et cela doit être directement déclaré. Cela peut sembler de peu d'importance, mais si cette restriction n'est pas explicitement déclarée, l'utilisateur pourrait faire l'erreur d'interpréter l'excellente diversification dans l'extrémité comme étant le résultat d'une décision d'affaires plutôt que la conséquence d'une limite du modèle. En voici un autre exemple : si un générateur de scénarios économiques ne tient pas compte de l'inflation des réclamations, ou si le modèle n'utilise pas l'inflation des réclamations prévue, l'utilisateur doit être informé d'une telle limite.
- ✓ Vérifier les concepts des modèles commercialisés : Si des modèles commercialisés sont utilisés comme sous-modèles du modèle de risque, l'équipe chargée de la modélisation doit se fier aux renseignements produits par le fournisseur au sujet des concepts de la modélisation. La documentation des limites est particulièrement difficile lorsqu'on emploie des modèles de fournisseurs, car ces derniers sont réticents à divulguer les limites de leurs produits. Si un fournisseur ne pourvoit pas de documentation sur les limites, l'équipe chargée de la modélisation

doit elle-même les déterminer ou collaborer avec un prestataire de services qui a l'expérience de cette approche de modélisation. Dans tous les cas, la validation doit permettre de déterminer si les concepts de modélisation du fournisseur et les limites ont été produits par le fournisseur lui-même ou obtenus de manière autonome. Il faut prendre garde si une part importante d'entre eux a été produite par le fournisseur. S'il semble que les limites du modèle du fournisseur n'ont pas été examinées, il y a de quoi se méfier encore davantage. Dans ce cas, l'équipe chargée de la validation devra vérifier si les spécialistes de la modélisation comprennent assez les modèles pour pouvoir accomplir leur objectif, ce qui n'est pas une tâche facile, car la plupart des équipes de validation sont de petite taille en comparaison des équipes chargées de la modélisation, et il est donc difficile pour l'équipe de validation d'égaliser l'ensemble des compétences des diverses équipes de modélisation.

Risque de mise en œuvre

Vu que la mise en œuvre des modèles de risque s'effectue au moyen de logiciels, il est donc réaliste de supposer qu'elle s'accompagnera d'erreurs. Le risque de mise en œuvre est sans doute celui des risques de modélisation qui est le plus sous-estimé. La plupart des actuaires et des gestionnaires du risque veulent implanter leurs modèles dans leurs services, lesquels ne sont habituellement pas bien pourvus en spécialistes de l'informatique. Ils soutiennent que la connaissance du domaine de la gestion des risques est plus importante que la connaissance du génie logiciel. Selon nous, ils ont la même importance. La passion notoire qu'éprouvent de nombreux professionnels du risque pour les systèmes dans lesquels ils peuvent facilement changer les modèles, tels qu'Excel et bon nombre des outils reconnus de modélisation actuarielle, s'explique par leur manque de connaissance des outils modernes du génie logiciel et leur absence de collaboration avec les personnes qui maîtrisent ces outils. Il est bien établi que le risque lié à la mise en œuvre de systèmes de type Excel est fortement sous-estimé par les experts du domaine chargés de les mettre en œuvre [7].

Cela est étonnant compte tenu de l'importance de l'expérience de l'industrie du logiciel et des recherches qu'elle a réalisées [7] : les systèmes de calcul grand public, tels que les classeurs Excel, sont très difficiles à tester et à valider de manière professionnelle, la principale difficulté étant l'application et la conformité aux méthodes du génie logiciel considérées exemplaires.

Dans de nombreuses situations, les modèles à valider peuvent faire l'objet d'une inspection détaillée, ce qui inclut la documentation sur les algorithmes et le code informatique utilisé pour l'implantation. Néanmoins, notre approche de validation des modèles ne prévoit pas d'examen direct du code informatique, car, dans de nombreux cas, il est peu réaliste de procéder à l'analyse du code informatique, car cela demande trop de temps. De fait, l'analyse du code nécessiterait l'implantation d'un repère pouvant prendre la forme d'un test indépendant ou d'une longue série de tests indépendants.

La validation de la mise en œuvre devrait consister en les activités suivantes :

- ✓ Vérifier si les experts de la modélisation des risques ont participé à la sélection des algorithmes qui exécutent les concepts de la modélisation. Cette question ne se pose pas si ces experts ont exécuté eux-mêmes le modèle. En fait, elle a trait au processus de développement : l'équipe chargée de la validation devrait vérifier si les experts de la modélisation ont approuvé les algorithmes et non juste les concepts.

- ✓ Vérifier si tout ce qui a trait au développement du modèle est versionné, à savoir le code du modèle, les rapports, les scénarios de tests et les rapports des tests. Il ne suffit pas de versionner seulement le logiciel lancé avec succès, car il pourrait être nécessaire de défaire un changement qui n'a pas produit le résultat escompté. Il faut se méfier si le versionnage est absent ou s'il a été réalisé en renommant manuellement les fichiers. Le processus de développement nécessite des changements fréquents, et un processus manuel n'est pas fiable et est trop sujet à erreurs.
- ✓ Vérifier si la responsabilité à l'égard des changements de codes, de la correction des bogues, ou des améliorations est clairement établie : les changements doivent être entrepris par une personne autorisée, codés par un programmeur désigné et assignés à un testeur. Ces trois personnes ou équipes doivent être visibles dans l'outil de suivi des problèmes ou le système de versionnage des codes.
- ✓ Vérifier si une procédure de test automatisée est en place et est exécutée à intervalles réguliers ou, mieux encore, après la vérification de chaque nouvelle version dans le système de versionnage. Il faut se méfier si un modèle de risque n'est testé que manuellement, car ces tests sont trop peu nombreux et ne portent habituellement que sur les nouvelles fonctionnalités ou les nouvelles corrections de bogues. On omet souvent de s'assurer que les derniers changements apportés n'ont pas affecté des parties du modèle qui fonctionnaient déjà bien.
- ✓ Vérifier qui a spécifié les scénarios de tests : ceux-ci doivent être spécifiés par les experts du domaine d'activité et non par les spécialistes de la mise en œuvre. Il faut se méfier si ce sont ces derniers qui ont spécifié les scénarios de tests.
- ✓ Vérifier la couverture des tests : il existe des logiciels permettant de produire des rapports sur la couverture des tests. Dans l'idéal, ce sont les concepteurs de logiciels qui produisent ces rapports à l'intention de l'équipe chargée de la validation. En l'absence de tests automatisés, la seule façon pour l'équipe de la validation d'apprécier la qualité des tests est de s'assurer de l'existence de protocoles et de vérifier si assez de temps a été consacré à la réalisation des tests. Il est à noter que cette simple vérification des heures consacrées ne représente qu'une validation superficielle du risque de mise en œuvre.
- ✓ Vérifier le contenu des tests : l'équipe chargée de la validation doit décider si les scénarios de tests sont vérifiés dans le moindre détail. Dans l'idéal, il devrait s'agir de ceux ayant un impact majeur sur les données de sortie. Mais cela n'est pas toujours facile à déterminer, car il se peut qu'une erreur majeure dans une routine mineure ait autant d'effets négatifs qu'une erreur mineure dans une routine majeure. C'est pourquoi il importe de vérifier si les scénarios de tests choisis sont bien exécutés et que les autres éléments de la procédure énumérés ici sont suivis de manière stricte.
- ✓ Vérifier les limites des algorithmes : à vrai dire, cette question a été traitée au point précédent. L'un des défauts courants des procédures de tests est que seuls les tests positifs sont formulés; c'est pourquoi nous l'abordons comme un point distinct. Les scénarios de tests positifs permettent de s'assurer que, si les paramètres d'entrée sont bons, les données de sortie le sont aussi. Les algorithmes ont des limites, et celles-ci devraient correspondre avec les limites conceptuelles formulées à la rubrique traitant du risque de conception. Les tests négatifs doivent être formulés de façon que le logiciel prenne en compte les situations dans lesquelles les paramètres sont à l'extérieur d'un intervalle acceptable. Dans ces situations, il faut vérifier si le logiciel prévient l'utilisateur ou même arrête le calcul. Ce type de test est souvent jugé inutile par les utilisateurs experts, car ils sont convaincus qu'ils ne saisiront pas de paramètres qui ne sont pas admissibles.

Or, sachant que ces modèles contiennent un grand nombre de paramètres – dans le cas du modèle standard de Solvabilité II, il s’agit de plusieurs centaines –, il est peu probable qu’un expert puisse suivre à la trace la totalité des paramètres utilisés dans un passage (*run*) et en garder une bonne vue d’ensemble.

- ✓ Vérifier si le processus de téléchargement automatique des données des systèmes sources est testé au moyen de tests d’intégration. Ici encore, cette question a été traitée à vrai dire au point portant sur la vérification générale du contenu des tests. Mais la nature de ces tests est très différente. Pendant la conception, les concepteurs emploient habituellement les données de la maquette afin d’être indépendants des systèmes sources. Ces tests doivent être effectués par des professionnels de l’informatique. L’équipe chargée de la validation ne fait que s’assurer qu’ils ont été exécutés et que le taux de défaillance est raisonnablement bas, et que si des défaillances surviennent, les données sont étiquetées et déclarées comme telles.
- ✓ Vérifier si des tests d’acceptation ont été réalisés : les tests d’acceptation sont très différents des autres formes de tests. Ils ne peuvent être automatisés et sont habituellement exécutés uniquement sur des versions stables dont la mise en service est prévue. Les utilisateurs peuvent avoir testé des scénarios de la vie réelle ou les pires scénarios théoriques ou ils peuvent avoir simplement vérifié que le résultat moyen d’un modèle coïncide avec le résultat espéré. Il est important que cela soit bien consigné dans un protocole qui enregistre les tests effectués par les utilisateurs. Souvent, il n’existe pas de protocole pour les tests d’acceptation. Dans ce cas, la seule chose qui puisse être vérifiée est que les utilisateurs ont pu accéder à l’environnement de test et qu’ils ont eu assez de temps pour tester la nouvelle version du modèle. Il faut se méfier si les utilisateurs ne sont pas intervenus avant la mise en service d’une nouvelle version ou lorsqu’il n’y a pas de documentation sur les tests d’acceptation.
- ✓ Effectuer, si possible, un contrôle a posteriori. Toutefois, la méthode retenue peut dépendre de la nature de l’activité modélisée et du modèle lui-même.
 - Certains modèles d’assurance reposent sur des données à très faible fréquence, ce qui diminue l’utilité des contrôles a posteriori des résultats stochastiques, du fait de la grande variabilité des résultats, par exemple, l’occurrence de catastrophes naturelles. En ce cas, on peut remplacer le modèle probabiliste par un modèle déterministe. Il est possible d’exécuter le modèle avec d’anciens rendements d’actif réalisés, des ratios sinistres-primés et de grandes pertes explicites, puis de vérifier si le modèle produit des valeurs de profits et pertes qui sont compatibles avec les valeurs réalisées. Deux choses devraient être prises en compte si l’on adopte cette approche. Tout d’abord, le modèle doit pouvoir produire des valeurs de profits et pertes, et un grand nombre de modèles de risque ne sont toujours pas en mesure de le faire. Deuxièmement, bien que la réussite à ce test permette de vérifier que les mécanismes du modèle fonctionnent probablement bien, elle ne nous dit rien absolument rien au sujet de la probabilité de pertes et d’événements extrêmes à même de menacer la solvabilité de l’entreprise.
 - Certains modèles, surtout ceux des sociétés d’assurance-vie, portent sur des activités pour lesquelles l’éventail des résultats a été comparativement restreint et pour lesquelles il existe une ligne de tendance nette sous-jacente. Dans le contexte de ces modèles, le contrôle a posteriori peut être particulièrement utile, car les modèles devraient être en mesure de reproduire les tendances de plusieurs mesures, telles que les primes,

réclamations, montants d'assurance en vigueur, dépenses et rendements de base des placements.

Cela nous étonne peut-être que seule une fraction des contrôles suggérés portent sur le contenu, alors que la plus grande partie d'entre eux ont trait au processus. L'application de tests approfondis automatisés et de bonnes techniques empruntées au domaine du génie logiciel ne peut garantir l'absence d'erreurs. Mais elle permet de réduire considérablement le risque de mise en œuvre.

Risque lié aux données d'entrée

Le principe qui sous-tend la validation des données d'entrée s'exprime très simplement : on doit pouvoir montrer que les données internes et externes sont appropriées, exactes et complètes [13]. Cela est facile à comprendre, et pourtant, il est très difficile d'en tirer des conseils explicites utiles à la validation de ce principe. L'autre problème que pose la définition de ce principe est que les trois termes caractérisent des notions qui se chevauchent partiellement et qui, parfois, vont dans des directions opposées : le fait que des données soient plus appropriées ne veut pas forcément dire qu'elles sont plus exactes – le contraire peut être vrai. De plus, il est très difficile de quantifier l'exactitude dans ce contexte. La formulation de ce principe n'est donc pas indiscutable, et nous aurions préféré un principe qui mentionne la cohérence au lieu ou en plus de l'exactitude.

Les données d'entrée appartiennent à deux catégories :

1. *Données brutes* : Données d'un système source qui servent d'intrants au modèle sans faire l'objet d'un traitement.
- ✓ *Données étalonnées* : Paramètres ou intrants du modèle de risque qui ont été obtenus par groupement de données sources afin de réduire la quantité de données, ou par une procédure statistique telle l'ajustement de la distribution.
- ✓ La validation doit permettre de déterminer si les données d'entrée et les paramètres du modèle ont été manifestement assignés à l'une de ces catégories. Il faut se méfier si des données brutes sont directement chargées dans le modèle et peuvent faire l'objet de modifications par les utilisateurs sans laisser de trace, car cela voudrait dire que des données étalonnées sont déclarées comme étant des données brutes. En ce qui concerne les données étalonnées, la validation doit permettre de déterminer si les données sources sont bien définies, si la procédure d'étalonnage est documentée et si les personnes qui procèdent à l'étalonnage ont les compétences requises.
- ✓ Vérifier si les données brutes sont correctement interprétées. La définition et le codage des éléments de données d'un système source devraient être cohérents avec la façon dont chaque élément est interprété dans le modèle. Cela vaut surtout lorsque des codes spécifiques à l'entreprise sont utilisés pour désigner des renseignements importants tels que le type de contrat ou les options choisies. Il arrive que le codage des données dans un système source soit changé sans que les modélisateurs en soient informés.
- ✓ En ce qui concerne les données brutes, il faut s'assurer que l'outil ne permet pas aux utilisateurs de modifier ces données. S'il le permet, il crée un risque de mise en œuvre. Nous l'évoquons ici, car il n'a pas été question de la séparation des données d'entrée en deux catégories à la section traitant du risque de mise en œuvre.

Il est généralement vrai que la qualité de l'étalonnage augmente en fonction de la quantité de données. Mais dans le contexte des modèles de risque, qui souvent traitent différemment du point de vue conceptuel les divers phénomènes, il faut s'assurer que les données servant à étalonner les paramètres soient cohérentes avec le concept de la modélisation. Plus particulièrement, dans certains modèles d'assurance, les pertes ordinaires et les pertes importantes ou catastrophiques sont modélisées différemment et les deux types diffèrent dans les simulations de crise. Bien que ces deux premiers soient modélisés de façon probabiliste, les scénarios ne prévoient normalement qu'une simple liste de paramètres dont les valeurs sont fixes et prédéterminées.

- ✓ La validation doit permettre de déterminer si l'étalonnage utilise les données de façon cohérente : les données servant à l'étalonnage des pertes ordinaires ne doivent pas servir aussi à l'étalonnage des pertes importantes et vice versa. Il doit donc exister un seuil clairement défini, et il faut s'assurer que celui-ci est significatif. Selon le degré d'intégration des scénarios et des données de sortie du modèle probabiliste, le même problème se pose entre les pertes importantes et les scénarios. Si les pertes découlant des scénarios sont intégrées aux résultats du modèle probabiliste, les pertes importantes découlant des scénarios doivent être exclues de l'étalonnage des pertes importantes.

L'établissement d'hypothèses prudentes est parfois considéré comme étant une méthode bonne ou acceptable pour réduire le risque lié aux données d'entrée. Nous rejetons cette idée. L'utilisation de données brutes ne permet pas, par définition, l'incorporation de marges de prudence. Celles-ci peuvent être parfois introduites lorsque les données ont été étalonnées, mais cela augmente l'opacité de la procédure. Nous ne pensons pas qu'il y ait avantage à incorporer des marges de prudence dans les paramètres d'entrée. L'adoption d'une approche prudente en matière de gestion des risques vaut la peine d'être considérée, mais il s'agit là d'une décision appartenant à la direction et qui nécessitera l'établissement de scénarios qui sont nettement distincts de l'étalonnage de base du modèle créé à partir des données réelles.

De plus, l'incorporation de marges de prudence dans l'estimation des paramètres complique la comparaison avec les paramètres que l'entreprise a utilisés antérieurement. De fait, cette pratique constitue un changement de méthode actuarielle. Qui plus est, toute comparaison avec les valeurs de référence de l'industrie perd de son sens. Pourtant, ces deux comparaisons sont utiles à la validation.

- ✓ Vérifier si tout écart important entre les paramètres d'entrée et les valeurs utilisées lors du dernier cycle de production de rapports a pu être expliqué. Les paramètres inchangés par rapport au dernier cycle ne sont pas forcément bons, car il se pourrait que des changements dans le portefeuille sous-jacent nécessitent l'établissement de nouveaux paramètres. Ces changements sont difficiles à détecter et à apprécier dans un processus de validation. Nous recommandons à l'équipe chargée de la validation de demander un résumé des principaux changements apportés aux données sources utilisées pour l'étalonnage.
- ✓ Comparer les paramètres d'entrée d'importance à la distribution des paramètres dans l'industrie ou à la sélection d'un groupe comparable : nous ne voulons pas nous étendre ici sur la façon de déterminer quels paramètres sont considérés comme étant d'importance. Cette question sera abordée à la section traitant du risque lié aux données de sortie. Les comparaisons sont un aspect très utile de la validation. Nous proposons que, si les paramètres choisis se situent dans l'intervalle interquartile de la distribution de référence du paramètre considéré, c'est-à-dire dans

l'intervalle compris entre 25 % et 75 %, la validation doit consister uniquement à vérifier si la procédure d'étalonnage est bien documentée. Si la valeur du paramètre se situe en dehors de l'intervalle interquartile de la distribution de référence, la validation devrait être plus rigoureuse : en plus de s'assurer de l'existence d'une documentation sur la procédure d'étalonnage, il sera nécessaire, selon nous, de rechercher une explication plus détaillée des valeurs des paramètres ou de vérifier la procédure actuelle d'étalonnage.

- ✓ Un grand nombre des paramètres d'entrée des modèles de risque ne peuvent être obtenus uniquement par l'application de méthodes statistiques. En pareils cas, la validation doit consister à s'assurer qu'un processus efficace de contrôle par les pairs est en place et qu'il est effectué adéquatement par des personnes qualifiées.

La ligne directrice précédente insiste beaucoup sur les comparaisons. Les constructeurs de modèles doivent souvent accomplir leur travail avec peu ou pas de données de référence. Bien que les comparaisons soient utiles à la validation, il reste beaucoup de recherches à faire en la matière : Devrait-on examiner les données de référence de l'ensemble de l'industrie, ou des données plus segmentées? Dans le second cas, quel degré de segmentation des données globales de l'industrie faut-il retenir? Sur quel horizon construire les distributions de référence?

Risque lié aux données de sortie

Nous tenons à rappeler aux lecteurs que, avant de pouvoir apprécier le risque lié aux données de sortie, il faut tout d'abord évaluer le risque de mise en œuvre et le risque lié aux données d'entrée et les juger acceptables. La validation du risque lié aux données de sortie est un processus additionnel et subséquent. L'appréciation de ce dernier risque consiste à déterminer si des personnes compétentes peuvent interpréter les données de sortie du modèle dans le contexte de leur utilisation prévue. La présentation et la communication des données de sortie aux décideurs de l'entreprise sont abordées à la section traitant du risque d'information.

Avant de procéder à une interprétation, nous devons nous assurer que tous comprennent bien les données de sortie et savent exactement ce qu'elles représentent.

- ✓ Vérifier si les données de sortie font référence au bon ensemble de données d'entrée et à la bonne version du modèle. Durant un passage (*run*) opérationnel, plusieurs ensembles de données sont utilisés et peut-être même plusieurs versions d'un modèle. Il est donc essentiel qu'une bonne gestion des données soit en place : les données de sortie doivent faire référence aux données d'entrée et au modèle utilisé. Les données d'entrée doivent être bloquées tant que les données de sortie sont mises à la disposition des utilisateurs. Il faut se méfier si tout cela est fait manuellement.
- ✓ Vérifier si les données de sortie peuvent être reproduites. En ce qui concerne les modèles déterministes, cela signifie s'assurer que personne ne peut modifier ou supprimer les ensembles de données d'entrée s'ils ont servi à produire les données de sortie. Bien que cela s'applique également aux modèles de Monte Carlo, c'est infiniment plus complexe dans cette situation-ci. Bien entendu, l'ensemble de données de sortie doit faire mention de la ou des valeurs de départ du générateur de nombres aléatoires. Si l'application est exécutée dans un environnement distribué, cet environnement de calcul doit être mentionné aussi dans les

résultats. La plupart des mises en œuvre des méthodes de simulations distribuées de Monte Carlo ne garantissent pas la reproductibilité à l'échelle des différents environnements de calcul. Certains modèles de risque sont très compacts et fonctionnent dans un seul environnement. En ce qui concerne les nouveaux modèles, plus gros et plus détaillés, il est probable qu'au moins trois environnements de calcul soient utilisés :

- les concepteurs de logiciels utilisent leurs ordinateurs portatifs;
- les testeurs utilisent un serveur;
- le passage (*run*) opérationnel pourrait, ici encore, utiliser un environnement de serveur différent et plus puissant.

On notera qu'il est possible de construire des méthodes de simulations distribuées de Monte Carlo qui ne dépendent pas de l'environnement de calcul, mais pareilles considérations sont en dehors du champ d'application du présent document.

- ✓ Vérifier si des violations des limites des paramètres d'entrée sont indiquées dans les résultats. Il existe de bonnes raisons d'exécuter un modèle dont l'ensemble de données d'entrée contient des violations des limites des paramètres, notamment pour déterminer si ces limites sont très sensibles ou pour montrer que l'absence de telles limites pourrait entraîner la production de résultats qui se prêtent à de mauvaises interprétations. De tels ensembles de données de sortie doivent être clairement identifiés.

Une fois que les points opérationnels susmentionnés ont fait l'objet d'une vérification, il faut valider le comportement dynamique du modèle. Il s'agit de la tâche la plus ardue du processus de validation, car elle requiert un savoir-faire technique et une compréhension de l'activité. L'objectif général consiste à vérifier si les résultats sont significatifs. Il est généralement reconnu que la sensibilité des principales valeurs de sortie aux paramètres d'entrée représente une bonne mesure de la dynamique d'un modèle. Mais cela n'est vrai qu'en partie. Même si toutes les dérivées d'une fonction comme le capital économique sont nulles ou très petites, il peut y avoir une sensibilité importante aux variations conjointes des paramètres d'entrée. Il n'existe aucune procédure mathématique permettant de déterminer quelles sensibilités calculer. Vu que les modèles comportent habituellement un grand nombre de paramètres, il est assez long et coûteux de calculer la mesure de la sensibilité à tous les paramètres d'entrée. Le temps de calcul augmente de façon exponentielle lorsque nous calculons la sensibilité aux variations simultanées de variables multiples. Il faut mettre à profit sa connaissance de l'activité pour pouvoir proposer quelles sensibilités il serait intéressant d'étudier, ce qui crée un risque lié aux données de sortie : même si le modèle correspondait parfaitement à la réalité et que les données d'entrée étaient absolument exactes et complètes, il se pourrait que les résultats du modèle induisent en erreur les utilisateurs. Cela pourrait se produire si ces derniers n'étaient pas au courant de la dynamique créée par le changement de quelques paramètres. La question de savoir comment étudier le comportement dynamique d'un modèle fait toujours l'objet de recherches. Dans la section traitant du risque d'information, nous analyserons une technique d'exploration des données qui peut servir à cette fin.

La validation devrait consister en les vérifications suivantes :

- ✓ Vérifier s'il existe de la documentation concernant la sélection des paramètres d'entrée en fonction desquels se mesure la sensibilité des résultats. Les personnes ayant une connaissance

de l'activité devraient intervenir à ce stade. Toutes les parties concernées doivent bien comprendre l'importance vitale que revêt la sélection des paramètres d'entrée.

- ✓ Vérifier si les sensibilités sont documentées. Si elles sont exprimées sous forme d'estimations de dérivées premières, la signification de ces estimations doit être expliquée dans le détail. Nous recommandons la représentation graphique des sensibilités.
- ✓ Vérifier l'importance relative des paramètres d'entrée en se fondant sur les sensibilités. Celles-ci constituent une importante boucle de rétroaction entre les données de sortie et les données d'entrée. Les paramètres d'entrée, qui sont très sensibles, doivent faire l'objet d'une estimation approfondie et d'une documentation détaillée et leurs limites doivent être strictement observées.
- ✓ Vérifier si l'étendue des principales valeurs de sortie est communiquée. Étant donné que la plupart des paramètres d'entrée ne peuvent être estimés avec exactitude, la validation doit permettre de s'assurer que l'incertitude des principales valeurs de sortie est communiquée de façon explicite, ce qui peut se faire au moyen d'intervalles de confiance autour des estimations ponctuelles.

En plus de permettre la mesure et l'interprétation des sensibilités, les comparaisons permettent d'apprécier la validité des résultats. Il ne s'agit pas ici de comparer les paramètres d'entrée, mais plutôt de comparer les résultats du modèle avec ceux issus de modèles généralement plus simples. Après tout, il est fort probable que c'est ce que font aussi les autorités de réglementation. Les modèles de référence candidats sont les modèles standards retenus par l'autorité de réglementation, les modèles qu'utilisent les agences de notation, ou des modèles plus simples créés par l'équipe chargée de la validation. Il ne faut pas s'attendre à ce que ces modèles plus simples produisent les mêmes résultats; sinon il eût été inutile de construire le modèle plus compliqué issu de la nouvelle génération. Mais les experts devraient être en mesure d'expliquer les écarts entre les résultats des différents modèles, surtout entre ceux du nouveau modèle et de ses prédécesseurs.

- ✓ Vérifier si des modèles de référence ont servi à valider les résultats. Les experts devraient expliciter par écrit les raisons pour lesquelles leur modèle produit des résultats qui diffèrent de ceux d'un modèle de référence. On notera que cela équivaut presque à présenter la proposition de la valeur du modèle interne. Si le modèle n'en est pas à sa première version, les résultats et les données d'entrée des versions précédentes peuvent être disponibles pour comparaison. L'analyse comparée du nouveau modèle par rapport à l'ancien modèle peut aussi être utile. Cet exercice est généralement désigné sous le nom d'analyse des changements. Il en existe deux formes caractéristiques :
 1. La première consiste à exécuter une nouvelle version du modèle avec un vieil ensemble de données, puis à comparer les résultats avec ceux issus de l'ancienne version du modèle. Afin de mieux comprendre les effets des changements apportés au modèle, les divers changements sont appliqués l'un à la suite de l'autre.
 2. La seconde forme d'analyse des changements suit la même procédure, sauf qu'elle s'applique aux changements dans les données alors que le modèle reste le même. Par conséquent, les divers changements d'un ensemble de données à un autre sont appliqués l'un à la suite de l'autre et leurs effets sont mesurés.

L'analyse des changements fait problème, car elle dépend de l'ordre dans lequel les changements sont appliqués. En conséquence, si cette analyse est utilisée à des fins de validation, la documentation doit expliciter les motifs justifiant l'ordre privilégié des changements.

- ✓ S'assurer que l'analyse des changements s'effectue à partir d'un modèle et d'un ensemble de données d'entrée validées. L'ordre dans lequel les changements sont appliqués doit être consigné, de même que les motifs justifiant l'ordre des changements retenu.

Risque d'information

Il s'agit de la dernière et de la plus importante étape de la validation d'un modèle. Pourtant, certains considèrent qu'elle n'en fait pas partie, alléguant qu'elle est étroitement liée au test relatif à l'utilisation du modèle. Si cette étape n'est pas incluse dans le processus de validation, il n'est pas possible d'évaluer l'utilité d'un modèle dans une application réelle. Nous estimons qu'il s'agit là du point le plus essentiel.

Nous supposons ici que nous avons déjà résolu la question du choix des données à présenter dans le rapport. Néanmoins, nous devons valider que la façon dont elles sont communiquées – le mode et l'ordre de présentation – n'est pas trompeuse. Le rapport comporte des données quantitatives utiles à la prise de décision : l'utilisation qui en est prévue et les destinataires revêtent donc de l'importance. Tous les rapports ont pour but de communiquer quelque chose. La façon dont l'information est formulée et présentée dans le rapport a une incidence sur les décisions qui reposent sur celui-ci. Ce fait est bien connu et a fait l'objet de recherches par des auteurs tels que Kahneman et Paulson. Plus particulièrement, si des probabilités sont utilisées, par exemple la VaR, ou que des scénarios doivent être évalués, il est surprenant de voir combien de personnes tirent de mauvaises conclusions en raison de la *formulation* de l'information présentée. La communication des risques constitue sans doute la tâche la plus difficile des gestionnaires du risque, et il ne faut donc pas s'étonner que l'évaluation du risque d'information représente la partie la plus difficile de la validation. Les membres de l'équipe de validation peuvent être affectés en interprétant mal le rapport, et doivent par ailleurs évaluer comment d'autres personnes pourraient mal l'interpréter. Il importe de noter qu'il ne s'agit pas ici de déterminer si les destinataires du rapport sont compétents. L'autorité de réglementation se penchera peut-être sur cette question, mais l'équipe chargée de la validation du modèle tient pour acquis la composition de l'équipe de direction, et elle ne fait qu'évaluer si l'outil d'aide à la décision sous leur main est convenable.

Cette difficulté de communication est amplifiée par le fait que les personnes qui construisent les modèles et les examinent ont une formation qui repose presque exclusivement sur les méthodes quantitatives (actuaire, ingénieurs financiers, etc.), alors que, souvent, les destinataires du rapport n'ont pas cette formation. Le problème que pose la méconnaissance des méthodes quantitatives est immense : les utilisateurs finaux doivent bien comprendre le rapport et le communiquer à leurs gestionnaires qui s'y connaissent sans doute moins en matière de risque³.

L'équipe chargée de la validation peut et devrait demander aux utilisateurs fonctionnels s'ils jugent les rapports utiles à la prise de décision. Mais elle ne peut se fier exclusivement à la seule opinion des utilisateurs. Les commentaires des utilisateurs sont asymétriques pour plus d'une raison : l'utilisateur peu

³ On trouvera un bon résumé des problèmes que posent la communication et la méconnaissance des méthodes quantitatives au chapitre 4.3.6 du livre de Franzetti [12].

affecté par les résultats d'un modèle est peu enclin à formuler de commentaires. Mais cela ne veut pas dire qu'il n'existe pas d'autres utilisateurs gravement affectés par les résultats du modèle. De fait, les utilisateurs fortement affectés par ces résultats sont portés à formuler plus de commentaires : ils confondent souvent l'utilité du rapport avec les effets que les données du rapport ont sur leurs activités. Si les résultats du modèle sont favorables, ces utilisateurs sont portés à faire une évaluation plus positive que si les résultats mettent sous tension le service auquel le gestionnaire appartient. Cette situation est peut-être plus évidente lorsque la rémunération des gestionnaires est étroitement liée aux résultats du rapport.

La validation doit prévoir la vérification de quelques points opérationnels avant la réalisation de l'évaluation des risques, qui est plus compliquée :

- ✓ Vérifier si les rapports font clairement mention des versions du modèle et des données utilisées.
- ✓ Vérifier si les utilisateurs fonctionnels sont informés des situations dans lesquelles certains des paramètres sont en dehors d'un intervalle jugé acceptable ou même en dehors des limites convenues.
- ✓ Vérifier si la fréquence et la date de production des rapports concordent avec les décisions que ceux-ci soutiennent. Il faut souligner que cela n'a rien à voir avec un processus décisionnel automatisé.
- ✓ Vérifier si les résultats sont communiqués au moyen de mesures institutionnellement reconnues qui sont faciles à comprendre pour tous les utilisateurs finaux. Les mesures qui prennent en compte les risques ou les représentent bien, mais qui ne sont pas bien connues ou utilisées dans l'entreprise, font naître un risque d'information.
- ✓ Vérifier si le rapport cherche à communiquer, par n'importe quel moyen, le degré de robustesse des valeurs clés. La simple présentation d'estimations ponctuelles des valeurs clés ne renseigne pas assez les décideurs, qui doivent savoir que les erreurs d'estimation des paramètres et les différentes hypothèses de modélisation produisent des résultats très divers.

Les autres intervalles à communiquer sont ceux relatifs à la variabilité normale des activités. Même si l'utilisation prévue du modèle est de faciliter la prise de décision concernant le capital économique requis, c'est-à-dire, les résultats extrêmes, il importe que les utilisateurs fonctionnels soient au courant de la variabilité normale des activités. On ne peut bien comprendre les situations extrêmes sans savoir ce qui est considéré comme étant normal. Les intervalles interquartiles sont considérés comme une bonne mesure de la fluctuation normale.

Cycle de contrôle de gestion des risques

Comme il a sans doute fallu consacrer un grand nombre d'années-personnes à l'élaboration du modèle de risque, il faut s'attendre à ce qu'une validation rigoureuse prenne beaucoup de temps et fasse intervenir de nombreux professionnels. Dans le cas des modèles ou entreprises de grande taille, il est probable que le processus de validation varie en intensité en fonction des diverses fréquences des rapports et qu'il prévoit l'approbation temporaire des autorités de réglementation ou de la direction. Il est donc intimement lié au cycle de contrôle de gestion des risques, posant ainsi une difficulté énorme pour la direction : les portefeuilles et les paramètres changent pendant la validation du modèle. Nous analyserons ici l'intégration de la validation dans le cycle de contrôle de gestion des risques et nous indiquerons comment la transparence peut être accrue pour réduire les problèmes que pose la validation d'une cible mobile.

Pour toutes ces raisons, il est important de bien structurer et documenter le processus de validation, afin d'assurer l'utilisation d'une norme commune et qu'il n'y ait aucune lacune dans le processus.

Enfin, la validation est un processus continu. Même si le modèle de risque demeure stable, il y aura certainement de nouvelles données d'entrée, et il faudra donc au moins réévaluer régulièrement le risque lié aux données d'entrée. Un processus standard devrait être en place pour vérifier la validité des données d'entrée, tel qu'un rapprochement avec les principaux totaux de contrôle ou avec les analyses de changements. Avec une fréquence un peu moindre, l'équipe chargée de la validation devrait vérifier si le processus ordinaire de validation des données d'entrée est toujours efficace.

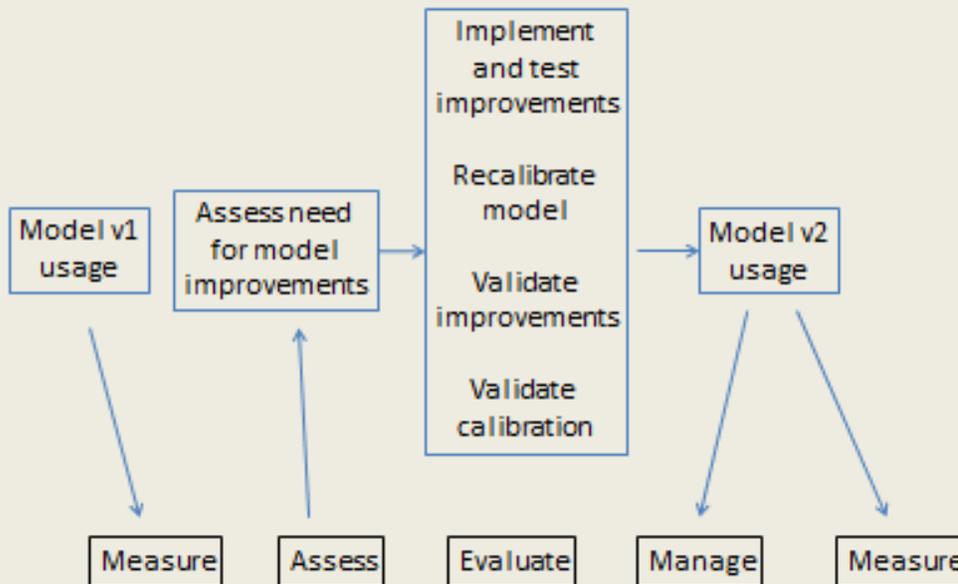
Vraisemblablement, en raison de contraintes en matière de ressources, la validation initiale ne couvrira pas également tous les risques de modélisation. Tout cela rend la validation des modèles une cible mobile pour la direction et les autorités de réglementation, et il est fort important que les gestionnaires du risque connaissent l'état d'avancement et le niveau de la validation.

Normalement, le cycle de contrôle de gestion des risques est représenté par les stades suivants : déterminer, évaluer, gérer, mesurer, puis recommencer. Ces stades peuvent être mis en correspondance avec le processus d'élaboration et de validation des modèles et être utilisés comme suit :

- *Déterminer* : Déterminer le besoin d'un modèle (ou de changements et améliorations à apporter au modèle existant);
- *Évaluer* : Concevoir, mettre en œuvre et valider le modèle (ou des changements et améliorations);
- *Gérer* : Utiliser les résultats du modèle pour faciliter la prise de décisions;
- *Mesurer* : Communiquer les résultats financiers et les comparer avec les résultats anticipés du modèle.

Cette mise en correspondance est illustrée ci-dessous.

Model risk management without branching



[Figure disponible en anglais seulement]

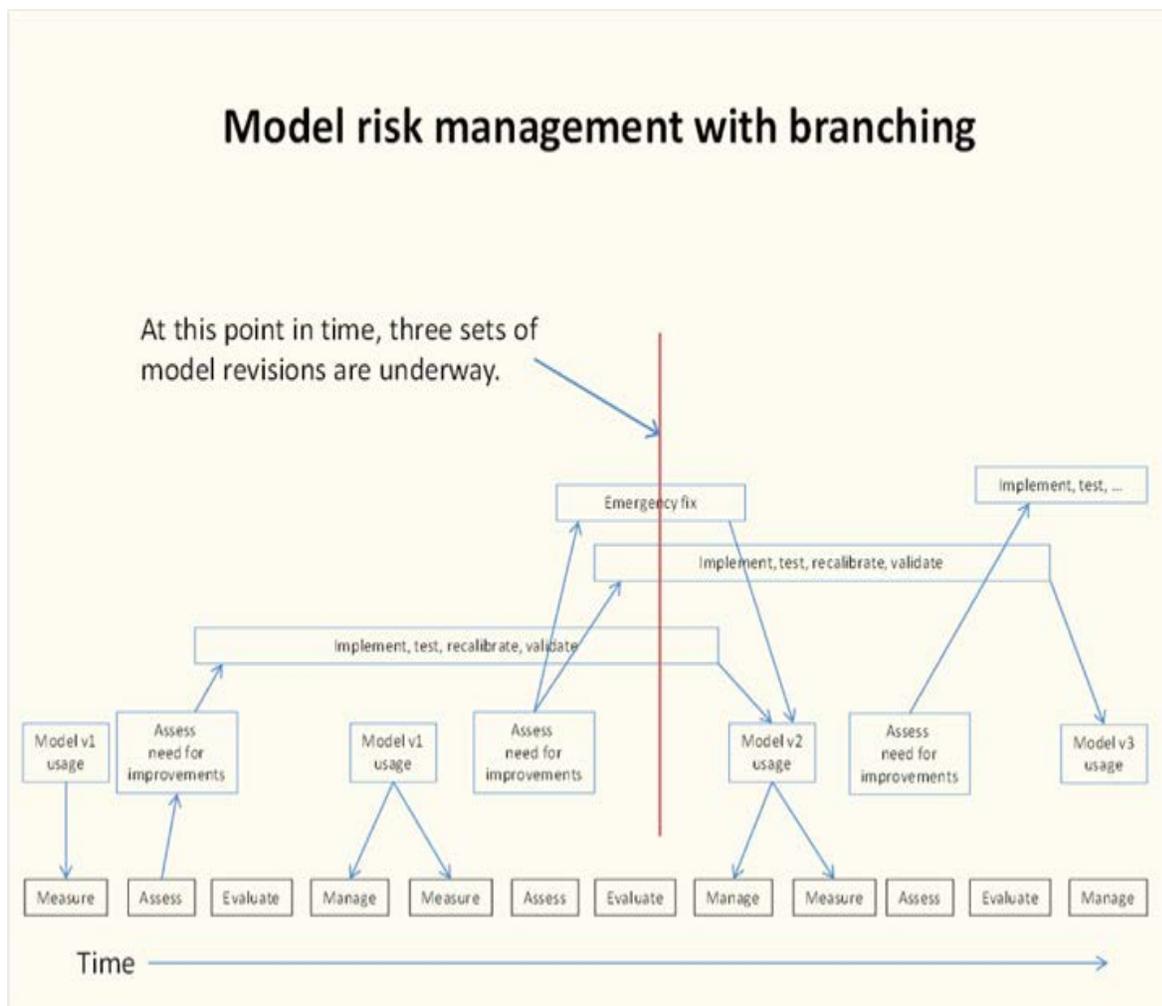
Cette figure montre bien que l'élaboration et la validation du modèle correspondent toutes deux au stade d'évaluation du cycle de contrôle de gestion des risques. Dans la réalité, le temps requis pour mettre en œuvre, mettre à l'essai, étalonner et valider les changements qu'on apporte au modèle peut dépasser la durée d'un cycle. Cela vaut surtout si le stade « mesurer » du cycle est associé à l'information financière externe. Le temps requis pour mettre en œuvre, mettre à l'essai, étalonner et valider les changements qu'on apporte au modèle peut facilement dépasser la durée du cycle d'information financière. C'est pourquoi les changements entrepris au cours d'un certain cycle ne sont opérationnels qu'au bout de plusieurs cycles.

La situation se complique davantage lorsque le stade « déterminer » des différents cycles entraîne différents changements dans le modèle. On peut se retrouver dans une situation dans laquelle plusieurs changements sont en cours de mise en œuvre, de mise à l'essai, d'étalonnage et de validation simultanément et à différents stades de ce processus. Cela a plus de chance de se produire lorsque les modèles sont utilisés dans un contexte de réglementation, parce que le besoin de changements peut être imposé aussi bien par les autorités de réglementation que par la direction.

Cette complexité est bien connue dans le milieu du développement de logiciels et porte généralement le nom de branchement. Pour maintenir la qualité, la structure organisationnelle ne doit pas être trop complexe. Le manque de qualité entraînera un rejet de la part de l'équipe chargée de la validation, des

cycles supplémentaires de développement et, par voie de conséquence, des surcoûts. Malheureusement, la structure organisationnelle pour le développement de logiciels faisant intervenir des branchements nécessite le développement simultané de plus d'une version du même produit, ce qui requiert la participation de plusieurs équipes ou une très grande discipline organisationnelle ainsi qu'une surveillance considérablement accrue. Il a été dit dans la littérature [9] et empiriquement observé [10] que le taux de défaillance augmente de façon significative dans ces circonstances. La conséquence pour le processus de validation est la même que pour la conception : dans un environnement de branchement, les choses deviennent plus difficiles et plus longues et, par conséquent, plus coûteuses.

La figure suivante représente une situation de branchement relativement simple. À l'instant indiqué par la verticale, trois ensembles de révisions du modèle sont en cours. L'un est quasiment achevé et en passe d'être validé, tandis que pour un autre, la mise en œuvre ne fait que commencer. Le troisième ensemble représente une révision d'urgence pouvant découler de la découverte d'une erreur ou d'une obligation réglementaire. Du point de vue organisationnel, il faut s'assurer que les personnes qui mettent en œuvre et valident chaque ensemble de révisions sont informés des autres, même si ceux-ci ne sont pas encore validés ou en usage. De plus, la direction doit bien comprendre l'état d'avancement des diverses améliorations apportées au modèle lorsque plusieurs d'entre elles sont en cours simultanément.



[Figure disponible en anglais seulement]

La gestion d'un processus de validation dans un environnement de branchement consiste à gérer simultanément plusieurs dimensions ou aspects, ce qui est très difficile à accomplir dans un environnement normal, statique d'information de gestion. Les problèmes sont généralement associés à plusieurs aspects, par exemple, le sous-modèle, la version du modèle et la version logicielle (remarque : ces deux dernières versions ne sont pas généralement pas identiques) – qu'il s'agisse d'une demande pour une nouvelle fonctionnalité, de l'amélioration d'une fonctionnalité existante ou de la correction d'une fonctionnalité défectueuse –, la gravité, l'échéance, la structure hiérarchique, etc. Selon l'objet et le destinataire du rapport, nous devons être en mesure de décortiquer les problèmes de validation en fonction de plusieurs critères. De plus, la résolution des problèmes doit être documentée et sauvegardée avec une piste de vérification, sinon il fera repartir à zéro lorsqu'il s'agira de valider de nouveaux changements apportés au modèle. Nous recommandons fermement d'utiliser à cette fin un système de suivi des problèmes. Dans l'idéal, l'équipe chargée du développement et l'équipe chargée de la validation s'en partagent l'utilisation. Cela leur fournirait des renseignements utiles ainsi qu'une excellente piste de vérification, depuis le point des demandes de fonctionnalités jusqu'à la mise en œuvre, et enfin jusqu'à la validation.

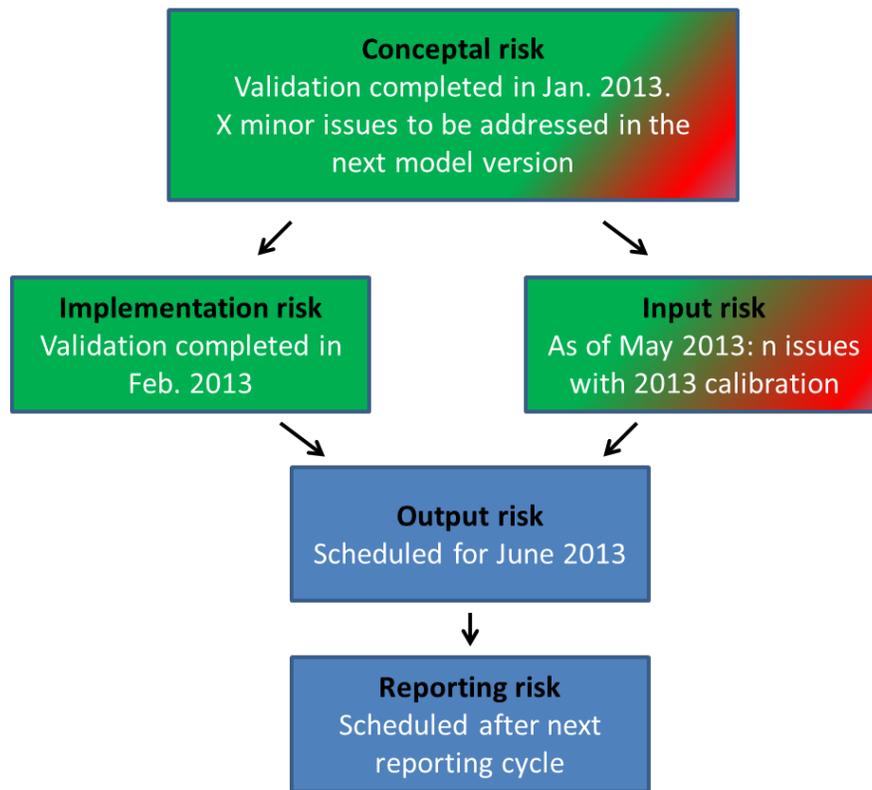
La validation des modèles commercialisés devrait suivre les mêmes principes et les mêmes normes que la validation des modèles développés à l'interne. Les modèles commercialisés permettent d'économiser le temps de mise en œuvre, mais il faut bien les comprendre si l'on veut éviter le risque de conception. On ne peut tout simplement pas accepter la validation effectuée par un tiers. L'utilisation prévue des résultats du modèle joue un rôle central dans la validation, et elle peut être différente de celle anticipée par le fournisseur. Ainsi, si un tiers a validé le modèle, il doit l'avoir fait dans l'hypothèse d'une utilisation bien définie. Dans le contexte des modèles de catastrophes naturelles, il est tout à fait possible que l'un des usages soit la tarification plutôt que la modélisation du capital économique. Les modèles de catastrophes sont loin d'être les seuls sous-modèles d'un modèle de capital économique qui puissent avoir différentes applications ailleurs dans l'entreprise. Les modèles de taux d'intérêt souffrent du même problème : les modèles utilisés pour la tarification des produits peuvent devoir être sans arbitrage, alors que ce n'est peut-être pas le cas de ceux utilisés pour la modélisation du capital économique.

Présentation et communication

Le produit à livrer au terme du processus de validation est le rapport de validation. Si le modèle est gros, il est probablement composé de sous-modèles, chacun devant faire l'objet d'une validation distincte, sans doute réalisée par différentes équipes : par exemple, les modèles d'actifs, les modèles de catastrophes naturelles ou les générateurs de scénarios économiques. Il est donc important d'employer une terminologie commune, comme celle proposée ci-après, ainsi qu'une structure similaire pour les divers rapports. Il ne faut pas confondre le rapport de validation avec la documentation du modèle. La vérification de la documentation du modèle fait partie intégrante du processus de validation.

Nous proposons de présenter à la direction un aperçu des progrès réalisés ou de l'état d'avancement de la validation de chaque sous-modèle au moyen de graphiques annotés, tels que celui ci-dessous.

Progress / status of the validation for a submodel



[Figure disponible en anglais seulement]

Le rapport de validation doit indiquer quelles parties doivent faire l'objet d'une validation approfondie au cours des prochains cycles de validation. Nous recommandons de classer en trois catégories l'intensité du travail de validation :

1. Validation superficielle requise : Dans cette catégorie, il faut mentionner si la raison est une contrainte de temps ou de compétences.
2. Validation adéquate, aucun autre travail de validation requis : Dans cette catégorie, il faut mentionner sous quelle condition la validation doit être renouvelée, telle qu'un changement majeur apporté au modèle ou le rééchantillonnage de ses paramètres d'entrée. S'il faut avoir certaines compétences pour exécuter un modèle, la condition pourrait être que la composition de l'équipe chargée de l'exécution ne change pas.
3. Validation adéquate, mais travail continu de validation requis : Cela pourrait découler d'une situation dans laquelle on saisit dans le modèle différentes données à chaque cycle de production de rapports, par exemple, des scénarios macroéconomiques. Ce peut être le cas aussi d'un modèle ponctuel qui doit probablement faire l'objet de modifications à chaque cycle de production de rapports, tels que les modèles conçus pour les petits portefeuilles de produits très personnalisés, pour lesquels il ne vaudrait pas la peine de suivre le long processus consistant à réviser le modèle dans son entier.

Cette classification ne doit pas être confondue avec l'évaluation, qui est le résultat de la validation. Les résultats devraient être classés selon l'une ou l'autre des catégories suivantes :

- ✓ Résultats inadéquats qui nécessitent des changements ou des améliorations;
- ✓ Résultats acceptés.

Nous sommes d'avis que tout problème de validation signalé selon ces modes de classification est à la fois riche et pourtant assez simple pour être facilement interprété par la direction. Il ne faut pas y voir là un système de pointage offrant un moyen simple d'additionner les évaluations individuelles pour produire une seule note pour le modèle.

Gouvernance

Au fil des ans, nous croyons que le service de vérification interne sera chargé de vérifier si la politique de validation des modèles est mise en application. Ce qui ne veut pas dire que le service de vérification interne effectuera la validation. Il participera à la formulation de la politique de validation et veillera à son maintien. Le précurseur de l'Autorité européenne des assurances et des pensions professionnelles (EIOPA), le CEIOPS [8], a produit une courte liste de ce que la politique de validation devrait contenir. Il convient de noter que la politique de validation du CEIOPS mentionne, à la rubrique traitant de la gouvernance, que la fonction de gestion des risques devrait être responsable de la validation des modèles. Dans le même ouvrage, le CEIOPS indique qu'il est essentiel qu'il y ait indépendance au sein du processus de validation des modèles. Cela pourrait donner lieu à des conflits, car la fonction de gestion des risques participe souvent de façon active à l'activité de modélisation. Par conséquent, si la fonction de gestion des risques participe aux deux activités, il faut prévoir clairement en tout temps laquelle des deux activités les personnes accomplissent. De plus, la documentation du modèle et le rapport de validation du modèle doivent être conservés séparément.

Étude du cas du modèle de swaps sur défaillance d'AIG

Voici un exemple historique d'un échec de la gouvernance d'un modèle de risque : une validation insuffisante liée à une définition incomplète de l'objet du modèle. AIG est un important conglomerat international d'assurance qui a joué un rôle notoire dans la crise financière de 2008. L'une des principales causes des problèmes d'AIG était son portefeuille de swaps sur défaillance. Lorsqu'AIG s'est lancée dans cette activité, elle a fait confiance aux modèles créés par Gary Gorton, professeur en finances à la Yale School of Management. Les modèles de M. Gorton ont servi à déterminer les frais exigés sur les contrats de swaps sur défaillance. Ils reposaient sur d'énormes quantités de données historiques relatives aux défaillances et faisaient appel à un processus avancé de simulation mathématique.

Alors, qu'est-ce qui a fait défaut? Pourquoi l'activité de swaps sur défaillance a-t-elle échoué? Qu'est-ce qui manquait dans le processus de validation du modèle qui aurait permis à AIG de prendre de meilleures décisions?

Dans ce cas, le modèle a servi à justifier l'exploitation financière courante de l'activité. Or, le modèle n'avait pas été validé dans ce contexte. Dans un article du 31 octobre 2008 du *Wall Street Journal* [16], on peut y lire la remarque suivante :

[Traduction]

AIG n'avait pas prévu combien les forces du marché et les conditions des contrats non prises en compte par les modèles devaient transformer, à court terme, les swaps en d'énormes passifs financiers. AIG n'avait pas chargé M. Gorton d'analyser ces menaces, et il savait que les modèles de ce dernier n'en tenaient pas compte.

On y lit plus loin :

Les modèles de M. Gorton exploitaient des tas de données et étaient axés sur la probabilité de défaillance, et sur ce point ils se sont avérés exacts. Mais, comme le savait AIG, les modèles ne cherchaient pas à mesurer le risque d'appels en garantie ou de dépréciation des garanties, qui a dévasté les finances d'AIG.

Ces remarques ne laissent planer aucun doute sur le fait que la validation du modèle d'AIG relatif aux swaps sur défaillance a été effectuée seulement par rapport aux éventuelles réclamations, et non en tant que modèle représentant la totalité de l'exploitation financière de l'activité. Les contrats de swaps sur défaillance obligeaient AIG à constituer des garanties si la valeur de prêts assurés diminuait. Le modèle ne tenait pas compte de cette obligation de garantie, ni de la façon dont les fluctuations de la valeur des prêts pouvaient faire augmenter de façon spectaculaire le coût à court terme du respect de cette obligation. Le modèle utile à l'exploitation de l'activité était incomplet parce qu'il ne simulait pas tous les risques importants de l'activité. En conséquence, la direction n'avait pas mis en réserve les liquidités ou les capitaux requis pour pouvoir constituer les garanties lorsqu'il en a été obligé.

Dans ce contexte, le processus de validation du modèle aurait pu prévenir la direction du grave risque de modélisation que l'entreprise encourait en raison des considérations suivantes (ou étapes du processus de validation) :

- *Définition incomplète de l'objet du modèle* : Le modèle n'a pas été utilisé simplement pour déterminer les frais à exiger sur les contrats de swaps sur défaillance, mais a servi à justifier la viabilité financière de l'activité dans son entier. L'article cite à cet effet des déclarations que la direction d'AIG a faites à l'intention des investisseurs.
- *Risques importants non pris en compte par le modèle* : Le modèle se focalisait sur la collecte de frais et sur les paiements en cas de défaillance. Il ne tenait pas compte de la fluctuation des obligations de garantie ni des effets des fluctuations dans la valeur déclarée des prêts assurés.

La leçon à tirer en l'espèce est que la définition de l'objet d'un modèle joue un rôle essentiel dans l'efficacité du processus de validation. Une définition incomplète peut rendre la validation inefficace et augmenter de façon significative le risque de modélisation.

Échec de la gouvernance des modèles : le cas de JPMorgan Chase et de la baleine de Londres

JPMorgan Chase est la première banque en importance des États-Unis et est généralement considérée comme étant un expert en gestion du risque. Le Chief Investment Office (CIO) de la banque joue un rôle de premier plan dans la gestion des risques de la banque. Au début de 2012, le CIO a créé une perte imprévue de plus de 6,2 milliards de dollars en raison d'activités qui visaient censément à réduire et à gérer le risque.

Le Permanent Subcommittee on Investigations du Sénat des États-Unis a publié un rapport sur cet incident, intitulé « JPMorgan Chase Whale Trades: A Case History of Derivatives Risks and Abuses » [15]. Bien qu'un grand nombre de questions soient soulevées dans le rapport, il en ressort clairement que l'utilisation et l'abus des modèles ont joué un rôle important dans les activités à l'origine de la perte.

Le CIO a utilisé des modèles et des mesures de risque (basées sur des modèles) dans une très large mesure. Selon le rapport du Subcommittee :

[Traduction]

Le CIO a employé cinq mesures et limites pour apprécier et contrôler les risques associés à ses activités de négociation, dont la limite valeur à risque (VaR), la limite *credit spread widening 01* (CS01), la limite *credit spread widening 10%* (CSW10%), les *stress loss limits* et les *stop loss advisories*.

Malheureusement, il semble que le CIO ait souvent omis de respecter ces limites ou a été souvent en mesure de manipuler les modèles sous-jacents afin de les modifier. Jetons un coup d'œil aux deux extraits suivants tirés encore une fois du rapport du Subcommittee :

Au cours des trois premiers mois de 2012, tandis que les courtiers du CIO ajoutaient pour plusieurs milliards de dollars en dérivés de crédit au portefeuille de crédit synthétique, les opérations du portefeuille violaient les limites des cinq mesures de risque. En fait, du 1^{er} janvier au 30 avril 2012, les limites de risque et les avis du CIO ont été dépassés plus de 330 fois.

Les courtiers, le personnel chargé de la gestion des risques et les analystes quantitatifs ont souvent contesté l'exactitude des mesures de risque, minimisant l'importance du risque que représentent les dérivés de crédit et proposant des changements aux modèles et aux mesures de risque afin de réduire les résultats de risque du portefeuille de crédit synthétique. Dans le cas de la VaR du CIO, après que les analystes aient conclu que le modèle en usage était trop prudent et surestimait le risque, le CIO a adopté à la hâte un autre modèle à la fin de janvier 2012, alors qu'il était en violation de sa propre limite VaR et de celle s'appliquant à l'ensemble de la banque.

Il ressort clairement de ces extraits que, si les modèles ont manifestement joué un rôle important dans la gestion des risques, ils ont été constamment ignorés ou manipulés. Il semblerait qu'on ait permis au CIO de modifier un modèle lorsque ses résultats contraignaient ses activités. Le CIO jouait sur deux tableaux : il était à la fois l'utilisateur du modèle et le responsable de sa validation. Cette absence d'indépendance a largement favorisé l'utilisation abusive des modèles et a été à l'origine de la perte.

Le risque de modélisation : étude du cas de l'assurance-vie universelle avec garanties secondaires (VUGS)

Le contrat VUGS a été l'un des produits d'assurance-vie les plus controversés aux États-Unis. Les motifs à l'origine de sa création, et la controverse qui l'entoure en raison de ses tarifs, pourraient très bien être considérés comme un cas d'école des modèles en opposition, qui sont une manifestation du risque de modélisation. Celui-ci existe aussi bien pour les autorités de réglementation – en raison de la possibilité d'un usage abusif du modèle réglementaire de calcul des réserves – que pour les assureurs, parce que les

hypothèses de tarification qui se sont avérées audacieuses pourraient être caractérisées dans certains modèles d'une manière qui les fait sembler raisonnables plutôt qu'audacieuses.

Les produits VUGS sont essentiellement une assurance-vie permanente à primes variables, c'est-à-dire une « assurance-vie universelle ». Dans le cas des contrats traditionnels d'assurance-vie universelle, les primes sont versées dans un compte qui rapporte des intérêts. Chaque mois, le coût de la protection d'assurance-vie est déduit du solde du compte, et le contrat reste en vigueur tant et aussi longtemps que le solde du compte suffit à payer le coût d'assurance. Les produits VUGS sont une variante de ce produit traditionnel, garantissant par surcroît que le contrat restera en vigueur tant que certaines primes seront payées ou que la valeur du compte théorique (*shadow*) demeurera positive, quelle que soit la valeur accumulée dans le compte principal.

Souvent, ces contrats sont conçus de façon que la prime minimale requise pour maintenir le contrat en vigueur en vertu de la garantie secondaire soit très inférieure à la prime requise pour maintenir positive la valeur du compte. On crée pour ce type de contrats un compte secondaire ou théorique dont la valeur s'accumule à des taux d'intérêt plus élevés ou à laquelle s'appliquent des frais moindres pour le coût d'assurance. Le contrat reste en vigueur tant que la valeur du compte théorique reste positive.

Le contrat d'assurance-vie temporaire qui n'expire jamais tant que la prime est versée est pratiquement l'équivalent de ces contrats. La différence existant entre un tel contrat et le contrat d'assurance-vie permanente réside dans l'absence pratique d'une valeur de rachat. Pour de nombreux contrats VUGS, la valeur du compte principal (non pas la valeur du compte théorique) est assujettie à des frais pour le coût d'assurance qui sont si élevés qu'elle devient nulle très rapidement, si bien que la valeur de rachat devient nulle elle aussi.

Nous l'avons dit, les motifs à l'origine de la création de ces contrats, et la controverse qui les entoure en raison de leurs tarifs, pourraient très bien être considérés comme un cas d'école des modèles en opposition, qui sont une manifestation du risque de modélisation. Celui-ci existe aussi bien pour les autorités de réglementation – en raison de la possibilité d'un usage abusif du modèle réglementaire de calcul des réserves – que pour les assureurs, parce que les hypothèses de tarification qui se sont avérées audacieuses pourraient être caractérisées dans certains modèles d'une manière qui les fait sembler raisonnables plutôt qu'audacieuses.

Le risque de modélisation dans le contexte de la réglementation

En règle générale, on n'imagine pas que le secteur de la réglementation puisse être exposé à un risque de modélisation. Or, les réserves réglementaires et les exigences en capital sont basées sur des modèles, et ceux-ci sont parfois inadéquats compte tenu de leur utilisation prévue. Voilà où commence la saga des produits VUGS.

Aux États-Unis, les réserves réglementaires constituées pour les produits d'assurance-vie ont été et sont toujours basées dans une large mesure sur les primes nettes. Leur calcul se fonde sur une formule simple conçue pour des produits à primes et à prestations fixes, qui fonctionne bien dans ce contexte. Or, les contrats VUGS sont à primes variables et le comportement de leurs titulaires peut jouer un rôle important.

Pour calculer les réserves pour primes nettes, il suffit de déduire la valeur actualisée des primes futures de la valeur actualisée des prestations futures. Les primes et les prestations sont toutes deux projetées en

utilisant, pour seul décrétement, les taux de mortalité tirés d'une table standard, ainsi que le taux d'actualisation prévu par règlement.

Ce modèle a été efficace pendant plus d'un siècle. Durant cette période, les produits d'assurance-vie sont généralement restés à l'intérieur des limites du modèle, avec des primes et des prestations fixes. Or, vers la fin du 20^e siècle, des produits variables ont fait leur entrée, et l'expérience de mortalité a changé – s'est améliorée – de façon spectaculaire. Ces deux effets ont créé un risque de modélisation en raison de l'inadéquation du modèle utilisé pour calculer les réserves réglementaires.

Lorsque les produits à primes variables comme les VUGS ont été lancés sur le marché, il a fallu améliorer le modèle basé sur les primes nettes et définir quelles primes utiliser aux fins des évaluations.

L'amélioration consistait à exiger que, aux fins des évaluations, les primes à utiliser fussent être les primes futures minimales requises pour maintenir le contrat en vigueur. L'idée était de maximiser la réserve, parce qu'en théorie l'utilisation de primes minimales devait permettre de minimiser la valeur actualisée des primes qui sont déduites de la valeur actualisée des prestations.

Il a été plus difficile de s'adapter au problème que pose l'amélioration de la mortalité, car il y a deux aspects à la question. Non seulement les taux de mortalité générale se sont améliorés, rendant ainsi désuètes les tables standards, mais aussi les progrès réalisés en matière de souscription médicale ainsi que la diversité des pratiques de souscription employées par les sociétés ont fait en sorte que la disparité des expériences de mortalité enregistrées par ces dernières s'est creusée encore davantage entre les assureurs. Une table standard ne pouvait plus être considérée comme étant une approximation raisonnable de l'expérience de chaque assureur. Les assureurs qui appliquaient les critères de souscription les plus stricts et qui enregistraient la meilleure expérience de mortalité se sont rendus compte que les réserves prévues par la loi étaient plus élevées que de raison, et que l'obligation de détenir ces réserves se traduisait par des coûts inutilement plus élevés pour leurs clients.

L'imposition de coûts inutiles à la population d'assurés inquiète aussi bien les autorités de réglementation que les assureurs. Les produits avaient été conçus de façon que l'application littérale du calcul des réserves pour primes nettes donne lieu à des réserves très basses⁴. Le modèle réglementaire de calcul des réserves était donc inadéquat. Dans certains États, les autorités de réglementation se sont mises d'accord avec les assureurs et leur ont permis d'appliquer d'autres méthodes de calcul, ce qui a suscité une grande controverse et s'est traduit finalement par une volonté de changer le modèle réglementaire de calcul des réserves. Beaucoup d'efforts ont été déployés pour élaborer le nouveau modèle « fondé sur des principes », qui est maintenant en passe d'être adopté.

⁴ On se rappellera que la réserve pour primes nettes relative à un produit à primes variables vise le paiement de la prime la plus basse possible qui assure le maintien du contrat en vigueur. Dans le cas des produits vie universelle, cela équivaut à maintenir la valeur accumulée du compte près de zéro. Certains produits ont été conçus de façon que si la valeur du compte approchait de zéro, les frais déduits du compte augmentaient de façon spectaculaire, de sorte que le versement de la prime minimale pendant les premières années du contrat nécessitait le paiement de primes extrêmement élevées par la suite afin de maintenir le contrat en vigueur. Et comme la valeur actualisée des primes futures était déduite au moment de calculer la réserve, celle-ci était très basse. Bien entendu, tout titulaire de police, s'il est raisonnable, serait prêt à verser plus que la prime minimale pendant les premières années du contrat afin d'éviter d'avoir à payer les frais élevés par la suite. Mais il s'agit là d'un aspect du comportement des titulaires de polices qui n'était pas pris en compte par le modèle réglementaire de calcul des réserves.

Le risque de modélisation dans le contexte de la tarification

Dans les États où les autorités de réglementation le permettaient, la tarification des produits VUGS et le calcul des réserves s’y rapportant se fondaient directement sur les estimations des flux monétaires et des rendements des placements, qui étaient basées sur l’expérience prévue, majorée d’une marge. Le véritable risque de modélisation résidait dans l’établissement des hypothèses relatives aux réclamations et aux rendements des placements. Les modèles ont joué un rôle dans l’établissement des hypothèses, et le risque de modélisation est apparu.

Un modèle limité pour les taux de mortalité futurs

Tel que discuté précédemment, l’expérience de mortalité s’est améliorée, et les taux actuels de mortalité enregistrés par de nombreux assureurs sont considérablement inférieurs à ceux figurant dans les tables standards. Si les taux de mortalité pour la population assurée actuelle correspondent à 75 % des taux d’une table standard, il ne semble pas déraisonnable de supposer qu’ils resteront à ce niveau dans l’avenir. La tarification et le calcul des réserves pourraient reposer sur l’hypothèse que les taux de mortalité correspondent à 75 % des taux d’une table standard.

Pareil modèle à l’égard des taux de mortalité est inadéquat, car il ne tient pas compte des variations selon l’âge ou le sexe ou d’autres variables. Dans ce cas, le ratio entre l’expérience actuelle et la table standard était fonction de l’âge et il était plus bas durant les âges d’activité et plus élevé durant les âges de retraite (âges avancés). Si ce lien de dépendance était pris en compte dans les hypothèses de tarification et de calcul des réserves, le ratio correspondant à un groupe fermé de titulaires de polices devrait augmenter au fur et à mesure que le groupe avance en âge. Un modèle simple qui ne tient pas compte de ce lien de dépendance avec l’âge pourrait donner lieu à des tarifs inadéquats, surtout dans le cas des contrats émis aux personnes plus âgées.

Bien entendu, nous n’avons pas encore discuté de la probabilité que les taux de mortalité continuent de s’améliorer au fil du temps. L’amélioration récente des taux de mortalité globale se chiffre à près de 2 % par année. Il n’est pas déraisonnable de supposer qu’une certaine amélioration continuera de s’opérer dans l’avenir. Les tarifs peuvent reposer sur l’hypothèse d’une amélioration continue des taux de mortalité à, disons, 1,5 % par année, soit un taux d’amélioration inférieur à l’expérience récente, par prudence.

Pareil modèle à l’égard des taux de mortalité est inadéquat, car, nous l’avons dit, il ne tient pas compte des variations selon l’âge. La tendance dans l’amélioration de la mortalité a fait l’objet de recherches approfondies au fil des ans, et il a souvent été démontré que le taux d’amélioration était fonction de l’âge, avec une amélioration plus rapide aux âges d’activité et une amélioration plus lente aux âges avancés. À notre connaissance, toutes les échelles de projection de la mortalité développées de concert avec des tables standards présentent cette caractéristique. Par conséquent, il se peut qu’un modèle simple, qui projette une amélioration à hauteur de 1,5 % à tous les âges, sous-estime les taux de mortalité aux âges plus avancés, soit les âges auxquels sont censées avoir lieu la plupart des réclamations au titre des contrats VUGS. L’utilisation d’une telle hypothèse dans le modèle de tarification pourrait donc donner lieu à des tarifs inadéquats.

Certains faits tendent à prouver que des tarifs ont bel et bien été établis à l’aide de modèles de mortalité comme ceux dont il est question ici. Lorsque les produits VUGS ont été lancés sur le marché, leurs tarifs étaient inférieurs à ceux des produits comparables, surtout dans le cas des âges plus avancés à l’émission.

Et les tout premiers changements apportés à ces produits ont consisté soit à ne plus offrir ces produits aux personnes d'âges plus avancés, soit à augmenter leurs taux de primes.

Modèles en opposition pour les taux d'intérêt futurs

Bien que les primes d'un contrat VUGS soient variables, dans la plupart des cas, elles ne sont pas toutes versées à l'émission mais plutôt réparties sur de nombreuses années. Ce qui veut dire que les tarifs doivent prendre en compte le revenu de placement que rapportera l'argent reçu au cours des années ultérieures.

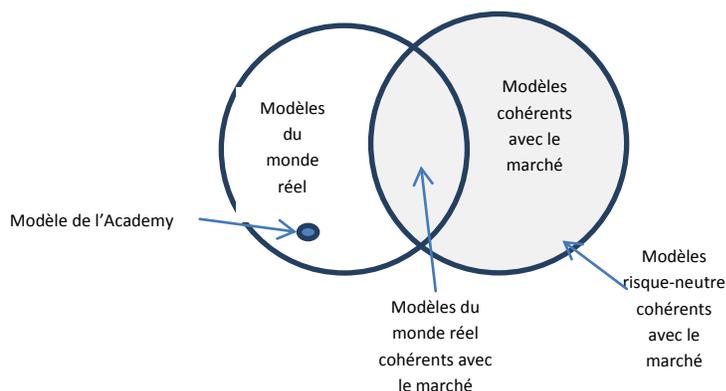
Ces dernières décennies ont vu apparaître un grand nombre de modèles décrivant le comportement des taux d'intérêt. Il peut être tentant de simplement adopter un modèle d'usage répandu et de s'en servir pour la tarification, sans que l'on comprenne bien l'objet premier du modèle. Il s'agit là de l'une des formes les plus subtiles du risque de modélisation.

Considérons par exemple un modèle dont l'usage est répandu, soit le modèle de taux d'intérêt mis au point par l'American Academy of Actuaries (le « modèle de l'Academy ») et dont se servent les autorités américaines de réglementation pour mesurer le risque de taux d'intérêt afin d'établir les exigences minimales en capital. Il s'agit d'un modèle stochastique qui a été soigneusement étalonné de façon à ce que la distribution des scénarios qu'il produit corresponde de près à la distribution des taux d'intérêt observée au cours des quelque 50 dernières années, selon la proportion de taux d'intérêt faibles et élevés et selon d'autres mesures.

On pourrait être tenté d'appliquer ce modèle de taux d'intérêt dans la tarification. Si l'on estime que le passé est garant de l'avenir, il semble logique d'utiliser un modèle bien étalonné qui reproduit la distribution des taux d'intérêt historiques.

Ou peut-être pas. Le modèle de l'Academy a pour but de mesurer la volatilité des résultats financiers des assureurs selon des scénarios extrêmes, c'est-à-dire ceux correspondant aux extrémités de la distribution. La plus grande partie des scénarios correspondant au milieu de la distribution n'ont pas d'importance dans le contexte de cet exercice, et même le niveau du milieu de la distribution n'a pas grande importance. Or, dans le contexte de la tarification, le plus grand poids de probabilité est affecté à la plus grande partie des scénarios correspondant au milieu de la distribution, accordant ainsi le plus de poids aux résultats du modèle qui s'écartent le plus de l'objet prévu du modèle de l'Academy. L'utilisation de ce dernier pour le calcul des tarifs plutôt que pour l'estimation des exigences en capital ne correspond pas à l'objet prévu du modèle et introduit donc un risque de modélisation.

L'univers des modèles de taux d'intérêt futurs se répartit en trois grandes catégories : les modèles du monde réel, les modèles conformes au marché et les modèles risque-neutre. Ces catégories se recouvrent en partie, comme on peut le voir dans le diagramme ci-dessous.



Dans ce diagramme, l'univers des modèles cohérents avec le marché englobe les modèles risque-neutre et certains modèles du monde réel, mais pas tous. Seuls les modèles cohérents avec le marché sont appropriés pour tarifier les instruments financiers ou, plus précisément, les produits d'assurance. L'une des caractéristiques qui distinguent les modèles du monde réel cohérents avec le marché des autres modèles du monde réel est leur étalonnage. Les modèles cohérents avec le marché sont étalonnés en cohérence avec les prix du marché en vigueur à une date particulière⁵. Les modèles du monde réel peuvent parfois être transformés par réétalonnage en des modèles cohérents avec le marché.

Le modèle de l'Academy, tel qu'il est utilisé aujourd'hui pour mesurer le risque C-3 (risque de taux d'intérêt), ne fait pas périodiquement l'objet d'un nouvel étalonnage. Il a pour but de reproduire le comportement général des taux d'intérêt, mais il n'est pas étalonné périodiquement pour tenir compte de la nouvelle perception du marché à l'égard de ce comportement, au fur et à mesure qu'elle évolue. C'est pourquoi le modèle de l'Academy n'est pas cohérent avec le marché et ne devrait pas être utilisé pour tarifier un contrat pour lequel il est important que son prix soit compatible avec ceux en vigueur sur les marchés financiers. Lorsque les contrats VUGS ont été mis en vente pour la première fois, les taux d'intérêt du marché étaient sensiblement inférieurs à la moyenne de la distribution future des taux d'intérêt produite par le modèle de l'Academy. L'utilisation de ce dernier à des fins de tarification aurait équivalu à faire le pari que les taux d'intérêt allaient grimper pour atteindre des niveaux moyens historiques, pari auquel le marché accordait une faible cote.

Dans le cas des contrats VUGS, on peut se demander pourquoi il faudrait que leurs prix soient cohérents avec ceux d'autres instruments financiers. Pour réponse, on peut citer l'activité entreprise par les banquiers d'investissement lorsqu'ils ont découvert une incohérence entre les prix des contrats VUGS et ceux des rentes viagères.

Vu que les rentes viagères sont des contrats à prime unique, la totalité de la prime est payée à l'émission, et l'assureur étalonne le prix de façon qu'il soit raisonnablement cohérent avec les taux d'intérêt du marché en vigueur à la date d'achat. Par contre, dans le cas d'un contrat VUGS, la plupart des primes seront payées ultérieurement, et l'assureur doit estimer les taux d'intérêt futurs auxquels celles-ci pourraient être investies.

⁵ En matière de tarification de l'assurance, il se peut que l'étalonnage s'effectue de façon approximative afin de prendre en compte diverses dates couvrant la période durant laquelle les contrats peuvent être vendus à un prix donné.

Les banquiers d'investissement se sont rendu compte qu'ils pouvaient investir une somme forfaitaire dans une rente viagère sur une tête et se servir des paiements de la rente pour payer les primes d'un contrat VUGS pris sur cette même tête. Ce faisant, ils transformaient le contrat VUGS en quelque chose d'équivalent à un contrat d'assurance-vie à prime unique. Les prestations de décès versées par ce mécanisme étaient élevées parce que les taux de primes VUGS étaient bas. Les banquiers d'investissement ont utilisé une hypothèse de mortalité raisonnable pour calculer que les prestations de décès leur garantiraient presque des rendements supérieurs à 7 % sur leur investissement initial, et des rendements peut-être encore plus élevés en cas de décès prématurés. À cette époque, les taux d'intérêt du marché étaient généralement inférieurs à 7 %.

Les banquiers d'investissement ont tiré profit de l'incohérence existant entre les prix des rentes à prime unique et ceux des contrats VUGS. Au moment de la souscription d'un grand nombre de ces contrats, les taux d'intérêt du marché étaient sensiblement inférieurs à la moyenne de la distribution future des taux d'intérêt produite par le modèle de l'Academy, qui n'avait pas été réétalonné et n'était pas cohérent avec le marché⁶. L'utilisation obligatoire du modèle de l'Academy pour mesurer le capital réglementaire peut avoir été à l'origine de son utilisation malencontreuse dans la tarification, et c'est peut-être pour cette raison que les contrats VUGS ont été offerts à des taux qui semblaient incohérents avec le reste du marché, situation que les banquiers d'investissement ont exploitée.

Cette analyse serait incomplète si nous ne citons pas la relation existant entre les modèles risque-neutre et les modèles du monde réel cohérents avec le marché en ce qui concerne les taux d'intérêt. Cette relation est souvent mal comprise, et cette méprise peut créer un risque de modélisation. Certains spécialistes soutiennent qu'un modèle qui n'est pas risque-neutre ne peut être cohérent avec le marché, mais ce n'est pas le cas.

Sans entrer trop dans les détails techniques, le problème est que la moyenne projetée des taux d'intérêt à court terme pondérée par leurs probabilités est plus élevée dans un modèle risque-neutre que dans un modèle du monde réel cohérent avec le marché, du fait de l'utilisation de probabilités « risque-neutre » plutôt que de probabilités « réelles ».

Tous les modèles cohérents avec le marché doivent attribuer une valeur au risque d'événements défavorables. C'est ce que font explicitement les modèles du monde réel, sans changer la probabilité d'événements défavorables, alors que les modèles risque-neutre le font au moyen de probabilités « risque-neutre » qui affectent un poids de probabilité supplémentaire aux événements défavorables.

Dans le contexte de la tarification ou de l'évaluation des valeurs mobilières, les événements défavorables sont ceux qui en réduisent la valeur. En ce qui concerne les titres à revenu fixe, les hausses de taux d'intérêt constituent un événement défavorable qui en réduit la valeur. Par conséquent, les probabilités risque-neutre sont biaisées en faveur des hausses de taux d'intérêt, ce qui signifie que, dans un modèle risque-neutre, la moyenne de la trajectoire des taux d'intérêt à court terme pondérée selon leurs probabilités est généralement plus élevée que dans un modèle du monde réel cohérent avec le marché qui est étalonné en fonction des mêmes prix du marché. Cette différence découle non pas du fait qu'on

⁶ Le modèle de l'Academy était toujours approprié pour l'utilisation qu'on avait prévue d'en faire, à savoir estimer le risque dans les extrémités de la distribution des taux d'intérêt. Lorsque le but premier est d'estimer les valeurs extrêmes de la distribution, on peut considérer peu important le fait que le centre de la distribution ne cesse de changer en fonction des prix courants du marché.

s'attend à ce que les taux d'intérêt soient plus élevés dans un modèle risque-neutre, mais plutôt parce que les poids de probabilité dans ce modèle ne sont pas les probabilités réelles. Le fait de les utiliser comme s'il s'agissait de probabilités réelles introduit un risque de modélisation.

Les modèles risque-neutre de taux d'intérêt ont pour but d'évaluer des valeurs mobilières d'une façon qui est cohérente avec le marché, sans avoir à calculer explicitement le prix du marché du risque, et ils remplissent admirablement bien leur rôle. Toutefois, vouloir les utiliser pour projeter les taux d'intérêt dans le futur est impropre à leur utilisation prévue, et cela crée toujours un risque de modélisation.

Bibliographie

- [1] North American CRO Council. « Model Validation Principles Applied to Risk and Capital Models in the Insurance Industry », 2012.
- [2] Lloyd's. « Solvency II—Model Validation Guidance », juin 2012.
- [3] Board of Governors of the Federal Reserve System, OCC 2011-12. « Supervisory Guidance on Model Risk Management », avril 2011.
- [4] C. Kaner, J. Bach, et B. Pettichord. *Lessons Learned in Software Testing: A Context Driven Approach*, Wiley Computer Publishing, 2001.
- [5] Commission on Models in the Regulatory Decision Process of the National Research Council. *Models in Environmental Regulatory Decision Making*, 2007.
- [6] Basel Committee on Banking Supervision. « Update on Work of the Accord Implementation Group Related to Validation under the Basel II Framework », *Basel Committee Newsletter*, n° 4, janvier 2005.
- [7] Raymond R. Panko. « What We Know about Spreadsheet Errors », *Journal of End User Computing's*, vol. 10, n° 2 (numéro spécial sur la mise à niveau des logiciels grand public), printemps 1998, p. 15-21.
- [8] « CEIOPS' Advice for Level 2 Implementing Measures on Solvency II: Articles 120 to 126, Tests and Standards for Internal Model Approval », CEIOPS-DOC-48/09, 2009.
- [9] Frederick P. Brooks. *The Mythical Man Month: Essays on Software Engineering*, Addison-Wesley, 1995.
- [10] N. Nagappan et coll. « The Influence of Organizational Structure on Software Quality: An Empirical Case Study », *Proceedings of the 30th Annual Conference on Software Engineering*, 2008, p. 521-530.
- [11] C. Franzetti. « Operational Risk Modeling and Management », Chapman & Hall, 2011.
- [12] A. Inselberg. « Multidimensional Detective », *Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization*, 1997.
- [13] CEIOPS. « CEIOPS' Advice for Level 2 Implementing Measures on Solvency II: Article 86f, Standards for Data Quality », CEIOPS-DOC-37/09, 2009.
- [14] M. Stricker, D. Ingram, et D. Simmons. « Economic Capital Model Validation », livre blanc, Willis Economic Capital Forum, 2013.
- [15] Senate Permanent Subcommittee on Investigations. « JPMorgan Chase and the London Whale: A Case History of Derivatives Risks and Abuses »
- [16] Carrick Mollenkamp, Serena Ng, Liam Plevin, et Randall Smith. « Behind AIG's Fall, Risk Models Failed to Pass Real-World Test », *Wall Street Journal*, 31 octobre 2008.

Annexe 1 : Quelques approches de représentation graphique du risque

Nous analysons ici quelques techniques de visualisation appropriées pour un large auditoire. En premier lieu, nous présentons à nouveau quelques-unes des données du rapport au moyen des graphiques proposés ci-dessous. Les nouveaux chiffres ne renferment donc aucune information nouvelle; cela est très important pour le test suivant. Nous présentons ensuite ces nouveaux graphiques au public cible, et la question est de savoir si cette nouvelle présentation de l'information existante lui permet de tirer des conclusions nouvelles ou différentes. Si tel n'est pas le cas, cela est une indication que les utilisateurs sont proches de l'équilibre réfléchi, ce qui signifie que leur jugement repose sur le contenu plutôt que sur la présentation du contenu.

En second lieu, ces graphiques peuvent servir de suggestions aux rédacteurs de rapports. Nous croyons qu'il est important de ne pas considérer les principes de validation comme étant des lignes directrices pour le développement de modèles, bien que les concepteurs puissent certainement tirer parti d'une compréhension approfondie de la façon dont l'équipe chargée de la validation considère un modèle. Cela peut être différent dans le cas de la catégorie du risque d'information, car la bonne présentation des résultats d'un modèle est pratiquement indépendante de la méthode de modélisation technique employée. En fait, nous voyons un avantage à utiliser une présentation indépendante de la méthode de modélisation technique, car cela assure une continuité dans la présentation au cours de divers cycles de développement de modèles et aussi à l'échelle de différents modèles servant à comparer le modèle fait sur mesure.

Puisqu'il soit question ici de modèles de capital économique, le montant de capital économique doit être présenté. Bien qu'il s'agisse d'une seule valeur clé, nous encourageons une présentation qui fait voir le capital économique total, de même que celui correspondant à chacun des segments de l'activité. Bien entendu, cela présuppose que le modèle prévoit une agrégation ascendante, mais, d'après notre expérience, c'est généralement le cas.

Le premier type de présentation aidera à identifier les facteurs de risque et leur importance relative. Ce type d'information peut être représenté à l'aide d'une méthode « en cascade ».

La figure A1-1 illustre la présentation des facteurs de risque à l'aide de la méthode « en cascade ». Dans ce cas, nous recommandons de les présenter par ordre croissant d'importance. La proximité des plus grands facteurs de risque et du capital économique total facilite leur comparaison et procure donc de l'information utile à la gestion des risques.

On notera dans la figure A1-1 que la barre correspondant à chaque segment représente le capital économique propre à ce segment, avant la prise en compte de la diversification. L'impact total de la diversification est indiqué par une barre distincte. Il est possible d'apprécier l'avantage de la diversification qui découle de chaque segment en modifiant le graphique de la manière indiquée à la figure A1-2. Cette dernière approche est peut-être plus cohérente avec l'allocation du capital par segment si cette allocation tient compte de l'avantage de la diversification apporté par chaque segment.

**Les figures qui suivent sont disponibles en anglais seulement.*

Figure A1-1

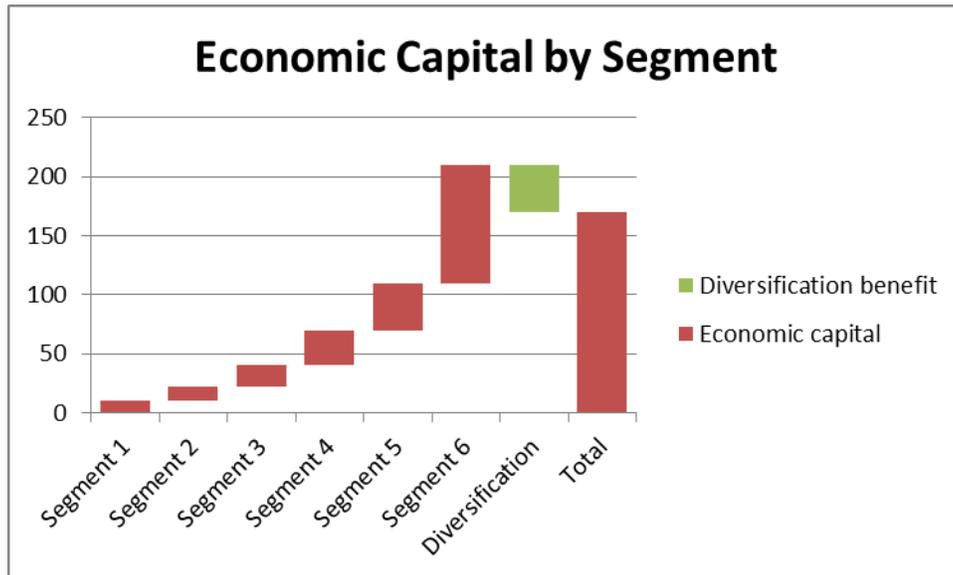
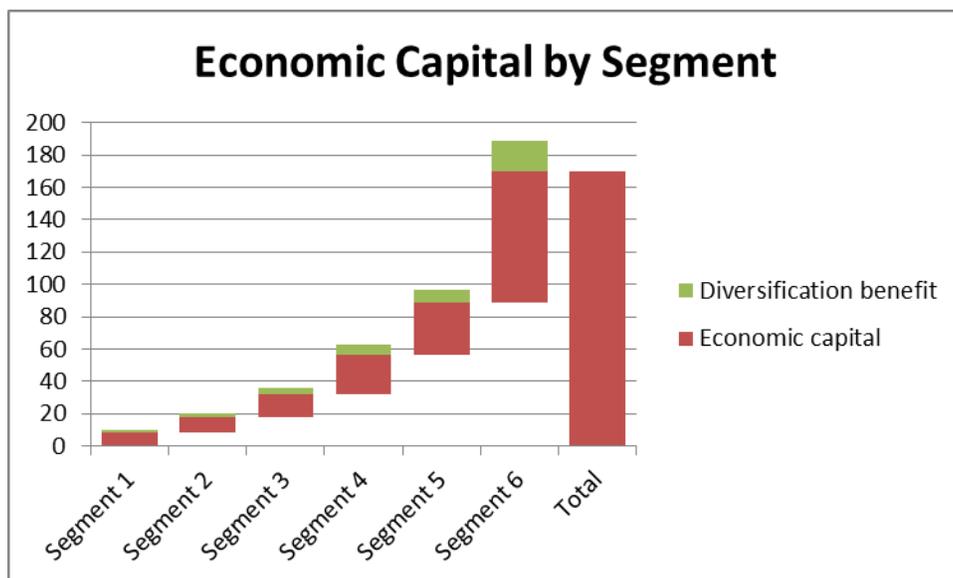


Figure A1-2



Des graphiques semblables peuvent être utilisés pour décomposer le capital économique en divers segments, par exemple, par branches d'activités ou par entités juridiques, facilitant ainsi la détection des anomalies d'un modèle ou d'une allocation. À proprement parler, l'allocation n'est pas obligatoire du point de vue réglementaire, quoiqu'elle est souvent citée comme étant une étape nécessaire dans l'application du modèle pour la conduite de l'activité.

Bien qu'ils soient très utiles, les graphiques ci-dessus ne permettent pas de comprendre le comportement dynamique du modèle. Il est difficile de visualiser la dynamique des modèles de capital économique, car ces modèles, qu'ils soient déterministes ou stochastiques, comportent de nombreux paramètres. Tout

d'abord, il faut déterminer les paramètres auxquels le modèle est très sensible. Cela n'est pas une mince affaire, et nous donnerons, à la section technique, quelques conseils sur la façon de s'y prendre. Pour la suite, nous supposons que les paramètres les plus importants ont été choisis et que nous voulons visualiser leurs effets sur le capital économique.

La présentation des distributions de probabilités n'est certes pas la solution, non plus que la présentation de distributions conjointes à plusieurs dimensions. La plupart des gens ne comprennent même pas les unités dans lesquelles les distributions de probabilités sont présentées. Ils peuvent reconnaître quelques formes caractéristiques, telles que la distribution normale, mais ils seraient très confus d'entendre dire que si la variable aléatoire est exprimée en dollars américains, l'axe des y s'exprime en unités de 1/dollar américain. En revanche, les distributions de probabilité cumulative sont plus faciles à comprendre, vu que les quantiles peuvent être facilement représentés, mais ils ne possèdent pas de formes caractéristiques. De plus, nous nous intéressons aux extrémités de ces distributions, et celles-ci ne peuvent certainement pas être visualisées à l'aide de fonctions de densité de probabilités ou de fonctions de répartition cumulative. Les techniciens utilisent des copules pour dissocier les distributions marginales de la structure de dépendance des distributions de probabilités à plusieurs dimensions. Mais les copules ne sont rien d'autre que des distributions de probabilités à plusieurs dimensions qui sont définies sur le cube unité. Par conséquent, si les distributions de probabilités ne peuvent servir à communiquer les résultats, les copules non plus ne le peuvent. Il existe une autre raison simple pour laquelle nous estimons que les distributions de probabilités ne devraient pas être utilisées dans les rapports : elles ne s'appliquent, à l'évidence, qu'aux modèles stochastiques. Pourtant, certains sous-modèles faisant partie d'un gros modèle ou d'un modèle de référence peuvent être des modèles avec facteurs déterministes, qui requièrent une différente technique de visualisation. Nous nous retrouvons avec la difficile tâche de communiquer le comportement dynamique d'un modèle. Mais comment les utilisateurs d'un rapport peuvent-ils comparer les résultats s'ils ne sont pas comparables dans leur forme de présentation?

On peut utiliser des coordonnées parallèles pour visualiser et analyser des données à plusieurs variables. L'idée sous-jacente est de faire correspondre à un point situé dans un espace à n dimensions une droite située dans le plan normal à deux dimensions.

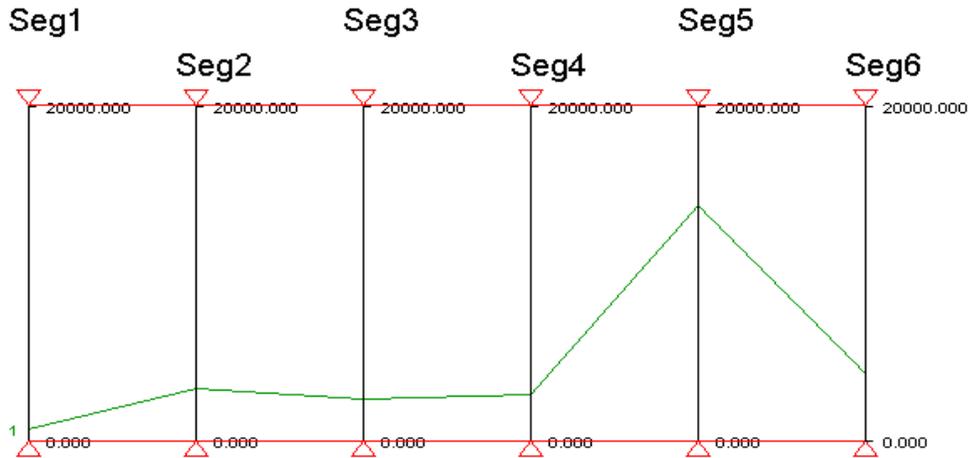
Un point situé dans un espace à n dimensions est déterminé par n coordonnées. Dans le contexte d'un modèle stochastique d'une entreprise, le point peut représenter les résultats d'un scénario appartenant à un ensemble de scénarios stochastiques. Les n dimensions correspondent à n segments d'activités de l'entreprise. Les n coordonnées d'un point sont les n profits d'exploitation de chaque segment selon ce scénario.

Les n axes de coordonnées sont tous représentés par des verticales parallèles équidistantes dans le plan. Chaque verticale correspond à un segment d'activité, et l'étendue des valeurs de son axe est au moins aussi grande que l'étendue des profits d'exploitation tirés de ce segment d'activité. Pour chaque point situé dans l'espace à n dimensions (c'est-à-dire, pour chaque scénario), une droite est tracée à travers toutes les verticales de façon qu'elle coupe chacune d'entre elles (chaque segment d'activité) à la valeur de la coordonnée sur cet axe (soit le profit d'exploitation de ce segment, selon ce scénario).

La figure A1-3 montre comment les résultats d'un scénario pourraient être représentés au moyen de coordonnées parallèles. La droite verte coupe chaque axe vertical à un point correspondant au profit

d'exploitation de ce segment, selon ce scénario.

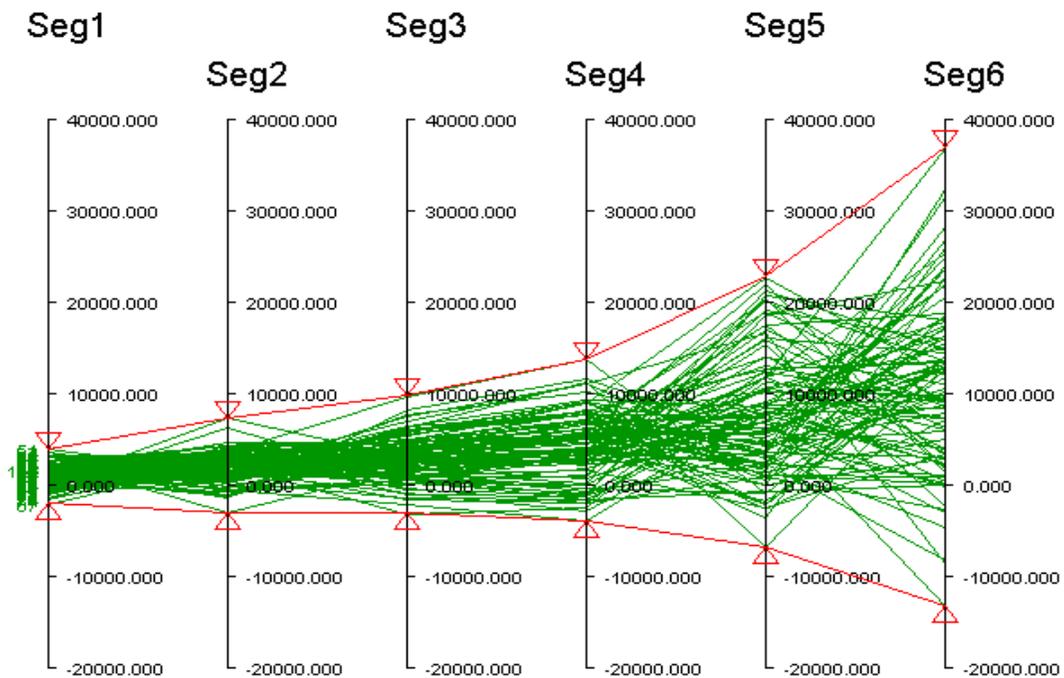
Figure A1-3



La figure A1-4 illustre la forme que pourrait prendre ce graphique lorsque 100 droites (100 scénarios) sont étudiées. On notera que les résultats de certains segments d'activités ne semblent pas beaucoup varier. Cela se produit du fait que l'étendue de l'échelle verticale est la même pour tous les segments d'activités, et que certains segments d'activités sont beaucoup plus petits que d'autres.

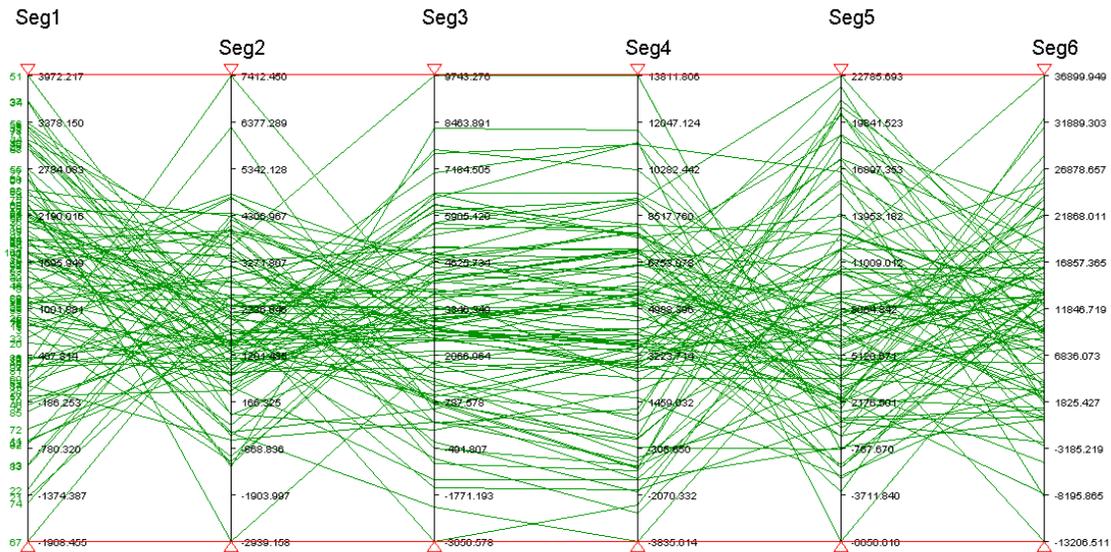
Le logiciel qui produit ces graphiques place un indicateur rouge à chacune des deux extrémités des axes afin de permettre à l'utilisateur de filtrer les résultats. Les seules droites (scénarios) qui sont représentées sont celles qui coupent chaque axe dans l'intervalle du filtre. Dans ce cas, l'étendue de l'intervalle du filtre a été définie assez large de façon à n'exclure aucun scénario. Les droites rouges tracées dans les parties inférieure et supérieure du graphique indiquent les valeurs maximales et minimales pour chaque axe et pour l'ensemble des scénarios.

Figure A1-4



Ce graphique peut être modifié pour mettre en évidence les résultats aberrants obtenus dans des branches d'activités plus petites. Dans la figure A1-5, l'étendue de chaque axe vertical est différente, car il s'agit de l'étendue des profits d'exploitation correspondant à ce seul segment d'activité, et non de l'étendue des profits totaux de l'entreprise. Cela permet d'amplifier l'impact visuel des différences entre les scénarios dans les petits segments d'activités et peut aider à illustrer la façon dont les fluctuations dans un segment sont liées à celles des segments adjacents, sans tenir compte de leur taille. En termes statistiques, cette approche peut aider à illustrer le degré de corrélation existant entre la variabilité des résultats dans des segments d'activités adjacents.

Figure A1-5



À la figure A1-5, tous remarqueront que les droites situées entre les segments 3 et 4 sont presque horizontales, alors que celles comprises entre d'autres segments comprennent un mélange de droites horizontales ou inclinées, ce qui indique que les résultats des segments 3 et 4 sont fortement corrélés, alors que ceux des autres segments semblent l'être dans une bien moindre mesure.

Il arrive qu'en modifiant l'ordre des axes verticaux l'on puisse en dégager des conclusions importantes. Pour illustrer cela, la figure A1-6 utilise les mêmes données qu'auparavant, mais n'inclut que les segments d'activités 1, 5 et 6. On y voit qu'aux résultats élevés du segment 1 correspondent toujours de faibles résultats du segment 5. Par contre, les segments 5 et 6 n'affichent aucune corrélation négative nette.

Cette situation serait encore plus visuellement évidente si l'on inversait l'échelle de l'axe du segment 1, tel qu'il est indiqué à la figure A1-7. Une fois fait, on constate l'existence d'une certaine relation entre les résultats des segments 1 et 5.

Figure A1-6

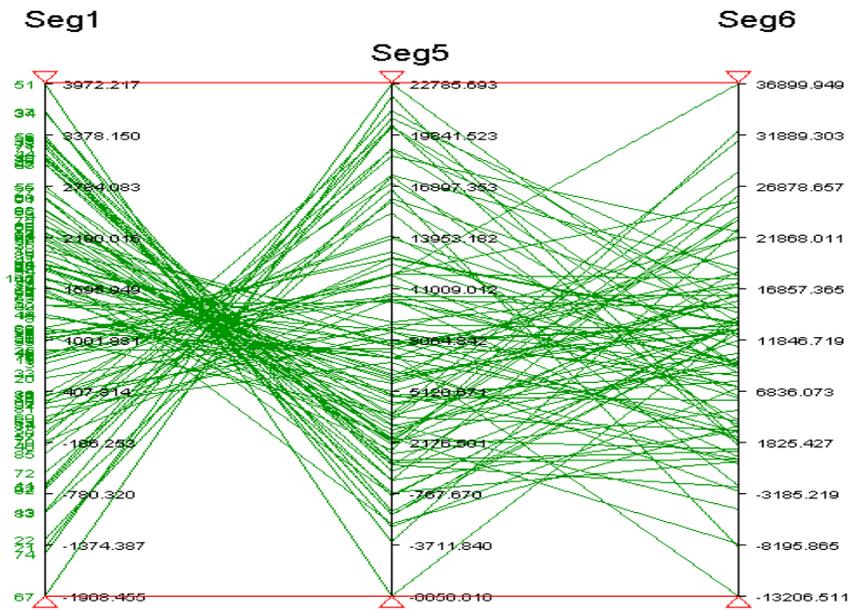
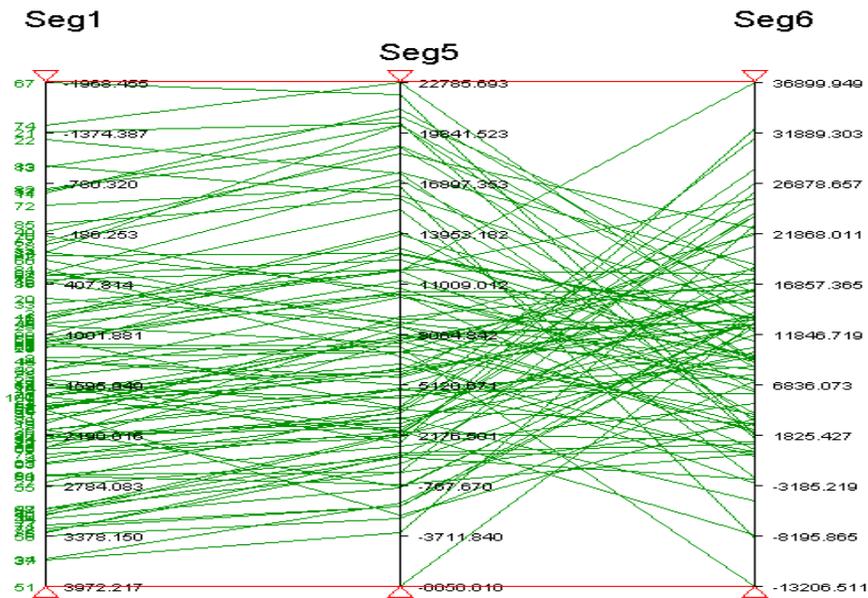


Figure A1-7



Cette technique avait déjà été utilisée à la fin du 19^e siècle, mais elle avait été pratiquement oubliée avant d'émerger de nouveau vers 1960. Nous ne nous intéressons pas ici à la façon dont les propriétés géométriques permettent la transformation de n dimensions en n coordonnées parallèles. C'est plutôt l'aspect de l'analyse des données qui a trait aux coordonnées parallèles que nous tenons à faire valoir⁷.

Des fonctionnalités interactives peuvent être utilisées pour mettre en évidence la relation existant entre deux variables. Mais, en même temps, cela montre une faiblesse des coordonnées parallèles. Si nous réarrangeons différemment l'axe des coordonnées, cela change complètement le graphique et l'information que nous pouvons en tirer. Il est généralement reconnu qu'on peut tirer davantage d'information des données à plusieurs dimensions en réarrangeant l'axe de façon à minimiser le nombre de croisements. Il n'existe pas de moyen facile et automatisé d'accomplir cela. Dans notre contexte, nous avons un axe ayant une signification particulière : le capital économique. Suivant le même argument que celui avancé pour le graphique en cascade, nous recommandons de placer cet axe à droite. De gauche à droite, l'arrangement des facteurs de risque par ordre croissant d'incidence sur le capital économique constitue un bon point de départ pour la visualisation.

Tous les graphiques des exemples précédents ont été créés au moyen de XDAT, un outil libre de visualisation en coordonnées parallèles (<http://www.xdat.org>). Les graphiques présentés ne révèlent peut-être pas la pleine puissance des coordonnées parallèles, car il est mieux de procéder à l'étude du comportement dynamique du modèle de façon interactive. Les données pour cet exemple ont été créées de façon stochastique à l'aide de corrélations prédéfinies.

Il serait utile d'ajouter à chaque axe des indicateurs pour les quantiles; malheureusement, XDAT ne possède pas cette fonctionnalité. La gestion du risque ne consiste pas seulement à détecter les valeurs aberrantes et à les prévenir ou les atténuer. La bonne compréhension de la volatilité normale d'une activité fait partie intégrante de la saine gestion du risque. Après tout, les valeurs aberrantes ne peuvent être définies comme telles que lorsque nous savons ce qui est considéré comme étant normal.

L'une des façons utiles de représenter la volatilité normale d'une activité consiste à créer un ensemble de données contenant tous les scénarios qui produisent une valeur cible – dans notre exemple, les réclamations totales – comprise entre le 25^e et le 75^e percentile. En règle générale, on constatera que l'intervalle des résultats de chaque segment d'activité dans un tel ensemble de données inclut des points situés à l'extérieur de l'intervalle compris entre 25 % et 75 %, même lorsque le total est limité à cet intervalle. Une démonstration de ce fait permettrait de mieux comprendre comment la diversification entraîne une réduction du risque.

Nous tenons à souligner que les techniques de visualisation susmentionnées peuvent aussi bien servir à l'interprétation des résultats des modèles déterministes qu'aux résultats des modèles stochastiques. Les résultats d'un seul scénario reposant sur des hypothèses déterministes peuvent être représentés dans le même graphique (au moyen peut-être d'une couleur différente), afin de montrer dans quelle mesure ils se situent dans l'intervalle des résultats stochastiques.

⁷ Un bon aperçu de cela est présenté dans l'article d'Inselberg [13]. On trouvera un bon exemple de la façon dont ce type de graphiques peut révéler de l'information en consultant <http://eagereyes.org/techniques/parallel-coordinates>.

Annexe 2 : Comparaison avec d'autres cadres de travail

North American CRO Council

En 2012, le North American CRO Council a publié un document intitulé « Model Validation Principles Applied to Risk and Capital Models in the Insurance Industry » [1]. Le tableau A2-1 énumère les huit principes analysés dans cet ouvrage et explique comment chacun est pris en compte dans le présent document.

Tableau A2-1

Principes du CRO Council	Leur prise en compte dans le présent document
1. Assurer la cohérence de la structure et de la construction du modèle avec son utilisation prévue	Le risque de conception, tel qu'il est défini dans le présent document, porte sur la cohérence existant entre la structure du modèle et son utilisation prévue. Nous ne savons pas si le terme « construction » employé par le CRO Council a trait au risque de mise en œuvre, lequel fait l'objet d'une analyse distincte dans notre document.
2. Assurer l'indépendance du processus de validation du modèle	Nous considérons ce point comme étant davantage une question de gouvernance que de validation du modèle; cela dit, nous sommes d'accord qu'il faut que les responsables de la validation fassent preuve d'indépendance, comme nous le faisons remarquer dans notre brève sous-section traitant de la gouvernance.
3. Désigner un responsable de la validation du modèle	Nous considérons ce point comme étant davantage une question de gouvernance que de validation du modèle; cela dit, nous sommes d'accord qu'il faut confier de façon claire des responsabilités en matière de validation.
4. Veiller à la pertinence de la gouvernance en place du modèle	Dans le présent document, nous considérons la validation comme un sous-ensemble de la gouvernance du modèle, plutôt que de considérer la gouvernance comme faisant partie du modèle à valider. À l'évidence, ces sujets sont intimement liés, comme nous le faisons remarquer dans notre brève sous-section traitant de la gouvernance.
5. Veiller à ce que le travail de validation du modèle soit proportionné à l'importance et à la complexité des points mis en évidence	Nous reconnaissons qu'il s'agit là d'un principe général de bonne gestion. Nous avons davantage cherché à ce que la validation soit complète et couvre tous les aspects du risque de modélisation.
6. Valider les composantes du modèle : a. les composantes d'entrée b. les composantes du calcul c. les composantes de sortie	Ces trois parties correspondent grosso modo à trois des cinq éléments du risque de modélisation sur lesquels notre travail de validation est axé dans notre cadre de travail :

	<ul style="list-style-type: none"> a. Risque lié aux données d'entrée; b. Nous ne savons pas si les composantes du calcul se rapportent à l'algorithme ou à sa mise en œuvre. Nous faisons une distinction entre les deux, alors que le CRO Council ne semble pas en faire une; c. Risque lié aux données de sortie, sauf que nous traitons le risque d'information comme étant un risque distinct.
7. Compenser les limites de la validation du modèle	<p>Dans notre document, ce principe se subdivise en trois points distincts :</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Limites conceptuelles; b. Limites de la mise en œuvre des concepts; c. Gestion du cycle de contrôle : difficulté de procéder à la validation du modèle dans un environnement dynamique en constante évolution qui limite toujours l'exhaustivité de la validation.
8. Documenter la validation du modèle	<p>Nous consacrons une sous-section de notre document à la présentation et à la communication de la validation du modèle.</p>

Critères de Solvabilité II pour l'approbation réglementaire des modèles internes

Les articles 100 à 123 du projet de directive Solvabilité II énoncent clairement six critères pour l'approbation réglementaire des modèles internes. Le tableau A2-2 énumère ces critères et les accompagne de commentaires sur la façon dont ils sont pris en compte dans le présent document. On notera que le présent document ne porte pas sur la même question (critère d'approbation réglementaire), mais vu que la validation du modèle est certainement requise pour en accorder l'approbation réglementaire, ces questions ont beaucoup de points en commun.

Tableau A2-2

Critères de Solvabilité II pour l'approbation réglementaire	Leur prise en compte dans le présent document
<p>1. Test relatif à l'utilisation du modèle</p> <ul style="list-style-type: none"> • Preuve d'une utilisation répandue à l'interne • Rôle dans la gouvernance de la gestion du risque et dans la prise de décision • Rôle dans l'allocation du capital économique et du capital de solvabilité • Fréquence d'utilisation • Pertinence du modèle 	<p>Vu que tous les modèles ne sont pas destinés à un usage réglementaire, nous décourageons l'utilisation de tout modèle particulier à des fins inappropriées. Toutefois, le rôle du modèle dans la prise de décision doit être pris en compte pendant la validation, ainsi que sa pertinence, p. ex., la cohérence entre la structure du modèle et son utilisation prévue. Nous avons inclus ces questions dans l'étape de la validation qui traite du risque de conception.</p>
<p>2. Qualité statistique</p> <ul style="list-style-type: none"> • Techniques statistiques et actuarielles adéquates 	<p>Les critères relatifs à la qualité statistique couvrent des points que nous avons classés comme faisant partie partiellement du risque de conception et partiellement du risque lié aux données d'entrée. Le</p>

<ul style="list-style-type: none"> • Cohérence avec les provisions techniques • Information à jour et crédible • Hypothèses réalistes • Capacité de justifier les hypothèses aux autorités • Exactitude, exhaustivité et pertinence des données • Actualisation annuelle des données • Non-imposition de distributions particulières • Prise en compte de tous les risques importants • Prise en compte explicite de tous les risques mentionnés dans le cadre Solvabilité II • Prise en compte autorisée de la diversification • Prise en compte autorisée de techniques d'atténuation du risque • Attention particulière aux options et aux garanties • Prise en compte des mesures futures de la direction • Prise en compte spécifique des paiements non garantis 	<p>risque de mise en œuvre que nous rattachons à cette question n'est pas traité de façon explicite dans Solvabilité II.</p>
<p>3. Étalonnage</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prise en compte de différentes périodes d'évaluation grossièrement équivalentes • Exigences en capital calculées directement à partir de distributions de probabilités, si possible; autrement, des approximations peuvent être utilisées s'il y a preuve d'une protection équivalente • Les autorités de contrôle peuvent exiger une validation en fonction de données externes 	<p>Dans le présent document, l'étalonnage est abordé dans le contexte de la validation des données d'entrée du modèle et dans celui de la boucle de rétroaction, selon laquelle les écarts entre les résultats prévus et les résultats réels servent à réviser l'étalonnage. L'importance accordée aux méthodes statistiques dans Solvabilité II tient du fait que ses exigences en capital sont exprimées en termes d'une probabilité spécifique plutôt qu'en fonction de la capacité à survivre à une simulation de crise particulière.</p>
<p>4. Attribution annuelle des profits et pertes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Attribution annuelle obligatoire des profits et pertes • La classification des risques doit être liée à l'analyse des attributions 	<p>L'attribution des profits et pertes est une technique utile à l'analyse des résultats financiers. Dans le contexte de la validation du modèle, elle fait partie de la boucle de rétroaction, selon laquelle les résultats obtenus sont comparés aux résultats prévus, et les écarts servent à réviser l'étalonnage des hypothèses du modèle ou des paramètres d'entrée.</p>
<p>5. Normes de validation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cycle de validation régulier obligatoire, avec périmètre : suivi de la performance, caractère approprié des spécifications, vérification des résultats en fonction de 	<p>Toutes ces catégories appartenant à l'activité de validation ont été analysées dans le présent document en tant que partie intégrante du processus de validation. L'importance accordée aux méthodes statistiques dans Solvabilité II tient du fait que ses</p>

<p>l'expérience</p> <ul style="list-style-type: none"> • Processus statistique efficace pour démontrer le caractère approprié • Les méthodes statistiques devraient aussi s'appliquer aux nouvelles données ou informations importantes • Analyse de la stabilité du modèle, de la sensibilité des résultats • Exactitude, exhaustivité et pertinence des données 	<p>exigences en capital sont exprimées en termes d'une probabilité spécifique plutôt qu'en fonction de la capacité à survivre à une simulation de crise particulière.</p>
<p>6. Normes de documentation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Normes suffisantes pour prouver la conformité aux tests précités • Théorie, hypothèses, fondement mathématique, fondement empirique • Limites du modèle • Historique des changements à consigner 	<p>Dans le présent document, le processus de validation prévoit des contrôles de l'existence d'une documentation adéquate de la théorie, des hypothèses, des limites et de l'historique des changements.</p>

Conseils de l'Office of the Comptroller of the Currency en matière de gestion du risque de modélisation

En avril 2011, sous la direction du Board of Governors of the Federal Reserve System, l'Office of the Comptroller of the Currency (OCC) a publié un document intitulé « Supervisory Guidance on Model Risk Management » [3]. Bien que ce document analyse un grand nombre des mêmes questions que nous abordons ici, il définit le terme « validation » de façon plus stricte que nous le faisons ici.

Comme l'indique son intitulé, le document de l'OCC porte sur le risque de modélisation. Le présent document assimile la gestion du risque de modélisation à la validation, alors que le document de l'OCC ne le fait pas. Nous avons cité cinq sources du risque de modélisation, tandis que le document de l'OCC indique que ce risque tient principalement à deux raisons :

- Le modèle peut comporter des erreurs fondamentales et produire des résultats inexacts lorsqu'on l'examine sous l'angle de son objectif et de son utilisation prévue;
- Le modèle peut être utilisé de façon incorrecte ou inappropriée.

Cette décomposition est assez vague, et nous estimons que notre décomposition détaillée en cinq parties permettra de détecter d'autres sources du risque de modélisation qu'il faudra étudier dans le cadre du processus de validation.

Le sujet de la validation est envisagé d'un point de vue plus étroit dans le document de l'OCC, où il ne représente qu'une partie de la gestion du risque de modélisation. Selon le document de l'OCC, pour être efficace, le cadre de validation doit comporter trois éléments fondamentaux :

- une évaluation de la validité théorique, y compris des données de développement;
- un suivi permanent, y compris la vérification du processus et la réalisation de comparaisons;
- l'analyse des résultats, y compris le contrôle a posteriori.

Un tel cadre de validation ne permet pas de déterminer si le modèle est utilisé de façon appropriée, ni si ses résultats sont communiqués efficacement aux décideurs ultimes qui dépendent du modèle. Nous sommes d'avis que ces considérations additionnelles devraient faire partie du processus de validation. Le document de l'OCC ne les omet pas, les mettant plutôt à l'extérieur du processus de validation du modèle, implicitement en tant que partie intégrante de la gouvernance des modèles.

D'un point de vue très général, le document de l'OCC considère la gestion du risque de modélisation comme étant synonyme de la gouvernance des modèles. À notre avis, cette dernière se focalise sur les situations d'utilisation et de non-utilisation des modèles, et elle surveille leur création et leur validation. Selon nous, la validation est le processus qui consiste à réduire au minimum le risque de dépendance au modèle, et elle a lieu dans le cadre d'un processus de gouvernance permettant de déterminer si un modèle doit être utilisé, et elle surveille son utilisation.