

**Mémoire présenté devant  
l'UFR de Mathématique et Informatique  
pour l'obtention du du Diplôme Universitaire d'Actuaire de Strasbourg  
et l'admission à l'Institut des Actuaire**

le 10 décembre 2020

Par : HARIKI Maryam

Titre: Evaluation du risque opérationnel : Benchmark, méthodes et propositions

Confidentialité :  NON  OUI Durée :  1 an  2 ans  3 ans  4 ans  5 ans

Les signataires s'engagent à respecter la confidentialité indiquée ci-dessus

Signature :

Membres du jury de l'Unistra :

Entreprise : ACTUELIA

P. ARTZNER  
J. BERARD  
A. COUSIN  
K.-T. EISELE  
M. MAUMY-BERTRAND

Directeur de mémoire en entreprise:

Nom : FITOUCHI David

Signature :

Invité :

Jury de l'Institut des  
Actuaire :

Nom :

Signature :

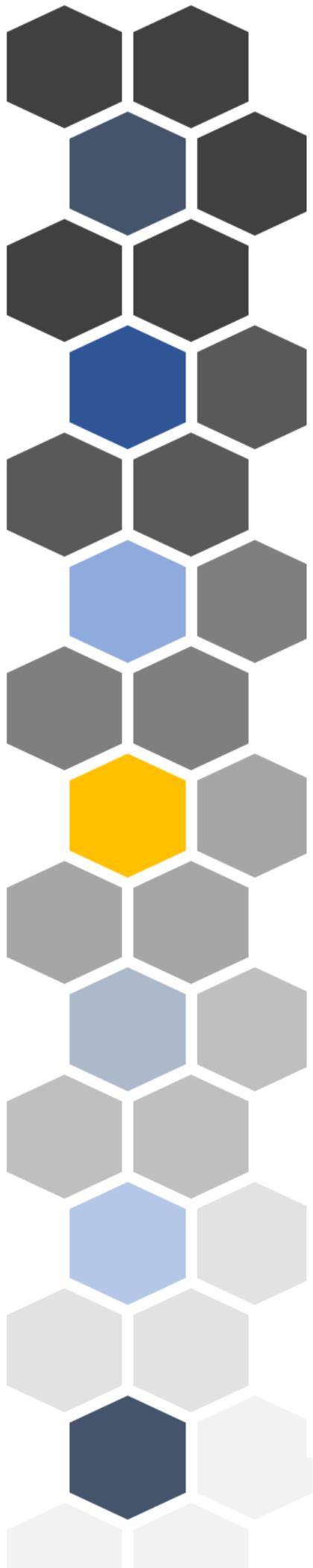
**Autorisation de publication et de  
mise en ligne sur un site de  
diffusion de documents  
actuariels (après expiration de  
l'éventuel délai de confidentialité)**

Signature du responsable entreprise

Secrétariat : Mme Stéphanie Richard

Signature du candidat

Bibliothèque : Mme Christine Disdier



# Évaluation du risque opérationnel : Benchmark, Méthodes et Propositions

MÉMOIRE PRÉSENTÉ DANS LE CADRE DU DIPLÔME UNIVERSITAIRE  
D'ACTUARIAT DE STRASBOURG

Par HARIKI Maryam

## RESUME

Le risque opérationnel correspond au risque de perte directe ou indirecte qui peut être enclenchée par plusieurs événements. Ces derniers peuvent être une erreur humaine, une défaillance des systèmes ou même une catastrophe naturelle.

Le risque opérationnel est sujet aux réglementations bancaires et assurantielles à travers les réformes Bâloises d'une part et la Directive Solvabilité II d'autre part.

Cette dernière appréhende le risque opérationnel à travers la question de sa mesure et sa quantification, mais également à travers sa gouvernance effective et son système de gestion.

Le premier chapitre de ce mémoire définit le risque opérationnel et son référentiel réglementaire. Il développe également les dispositifs de contrôle interne usuels mis en place pour l'appréhender et le gérer.

Le deuxième chapitre présente les notions théoriques et les méthodes de quantification mises en œuvre dans ce mémoire. Une première approche à partir de données de pertes opérationnelles empiriques est mise en œuvre. Face au constat d'une frontière apparente entre les travaux de contrôle interne et ceux d'actuariat et de gestion des risques, une seconde approche par exploitation de la cartographie des risques est développée : quelle exploitation de cet outil de gestion des risques opérationnels à des fins de quantification ?

Le troisième chapitre applique les méthodes choisies à un organisme d'assurance témoin.

Enfin, le dernier chapitre développe une comparaison des résultats des différentes approches, réfléchit à leur complémentarité et en analyse les limites. Il énonce finalement certaines propositions qui se veulent faciliter les approches de quantification du risque opérationnel.

**Mots clés :** *Risque opérationnel, Solvabilité II, Contrôle Interne, Cartographie des risques opérationnels, SCR opérationnel, EMR, Cotations des risques, Loss Distribution Approach .*

## ABSTRACT

The operational risk corresponds to the risk of direct or indirect loss that may be triggered by several events. These may be human errors, systems failure or even natural disasters.

Operational risk is subject to banking and insurance regulations through the Basel Committee on Banking Supervision's standards on the one hand and the Solvency II Directive on the other.

The Solvency II Directive addresses operational risk through its measurement and quantification, but also through its effective governance and management system.

The first chapter of this paper defines operational risk and its regulatory framework. It also develops the usual internal control systems put in place to understand and manage it.

The second chapter presents the theoretical concepts and quantification methods used in this thesis. A first approach based on empirical data is implemented. Faced with the apparent boundary between internal control and actuarial and risk management work, a second approach based on risk mapping is developed.

The third chapter applies the chosen methods to a pilot insurance organization.

Finally, the last chapter compares the results of the different approaches and analyses their limitations. It sets out some proposals that are intended to facilitate the implementation of the approaches undertaken.

**Key words** : *Operational risk, Solvency II, Internal Control, Operational risk mapping, Operational SCR, Risk Control Elements, Risk Cotations, Loss Distribution Approach.*

## REMERCIEMENTS

Je tiens dans un premier temps à remercier les associés du cabinet Actuelia, pour m'avoir donné l'opportunité de poursuivre mon alternance au sein de leur entreprise et plus particulièrement David FITOUCHI pour son accompagnement.

Je souhaite remercier chaleureusement Patrick COHEN pour son encadrement tout au long de la réalisation de ce mémoire, pour ses idées créatives. J'adresse un grand merci également à toute l'équipe d'Actuelia avec laquelle j'ai l'occasion d'évoluer, pour son accueil, sa bonne humeur quotidienne et ses conseils.

Mes sincères remerciements vont également à l'organisation ORX et plus particulièrement à Steve BISHOP son directeur des risques et des assurances. Sa coopération bienveillante et nos entretiens réguliers ont fortement collaboré à la réussite de ce mémoire.

J'aimerais ensuite remercier l'ensemble du corps professoral du DUAS et notamment son directeur, Jean BERARD, pour la qualité de l'enseignement dispensé tout au long de la formation. De plus, je le remercie particulièrement pour son encadrement, sa disponibilité et ses conseils avisés en tant que tuteur académique de ce mémoire.

Ces remerciements s'adressent également à l'ensemble des personnes m'ayant apporté un soutien quotidien, en particulier Yann DISERBEAU pour son intérêt et nos longs échanges constructifs, ainsi que Matthieu RESLIN pour ses précieux encouragements, son soutien sans faille.

Enfin, j'adresse une pensée particulière à mes parents, mon frère et ma sœur, pour leur confiance indéfectible. La réussite de ce mémoire leur appartient.

<b>RESUME .....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>3</b>
<b>REMERCIEMENTS .....</b>	<b>4</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>7</b>
<b>SYNTHESE.....</b>	<b>9</b>
Le risque opérationnel .....	9
La cartographie des risques.....	10
Problématique assurantielle .....	10
Méthode de quantification du risque opérationnel par approche de la distribution des pertes .....	11
Méthode CORAL® .....	11
Application à un cas pratique.....	12
Conclusion .....	14
<b>SYNTHESIS.....</b>	<b>16</b>
Operational risk.....	16
Risk Mapping .....	16
Insurance issues .....	17
Methods for quantifying operational risk using a loss distribution approach .....	17
CORAL® method .....	18
<b>CHAPITRE I :   <b>Presentation du risque operationnel.....</b></b>	<b>22</b>
<i>PARTIE I :   Qu'est-ce que le risque opérationnel ?.....</i>	<i>23</i>
1.   Le risque opérationnel selon les réglementations .....	24
2.   La typologie des risques opérationnels .....	33
<i>PARTIE II :   La gestion du risque opérationnel d'une compagnie d'assurance .....</i>	<i>36</i>
1.   La cartographie des risques .....	37
2.   Complémentarité des approches <i>top-down</i> et <i>bottom-up</i> .....	42
3.   La base incidents .....	45
4.   Un dispositif type de gestion des risques opérationnels.....	46
<i>Conclusion du premier chapitre .....</i>	<i>47</i>
<b>CHAPITRE II :   <b>La quantification du risque operationnel.....</b></b>	<b>48</b>
<i>PARTIE I :   Exploitation de données historiques .....</i>	<i>48</i>
1.   Les différents types de données.....	48
2.   Modèles théoriques.....	49
<i>PARTIE II :   Exploitation des outils de gestion des risques.....</i>	<i>52</i>
1.   Construction de la cartographie des risques opérationnels .....	52
2.   Quantification du risque opérationnel à travers l'outil CORAL® .....	55
<b>CHAPITRE III :   <b>Application a un organisme d'assurance .....</b></b>	<b>59</b>
<i>PARTIE I :   Exploitation des données et approche par distribution des pertes (LDA) .....</i>	<i>59</i>

1. La base incidents d'Actyam .....	60
2. La base incidents publique du consortium ORX .....	80
<i>PARTIE II : Utilisation de l'outil CORAL .....</i>	<i>92</i>
1. Présentation de la cartographie des risques .....	92
2. Quantification du risque opérationnel .....	96
<b>CHAPITRE IV : Analyse critique des résultats et propositions .....</b>	<b>104</b>
1. Récapitulatif des résultats .....	104
2. Propositions .....	106
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>111</b>
<b>TABLES DES FIGURES .....</b>	<b>113</b>
<b>TABLES DES TABLEAUX .....</b>	<b>113</b>
<b>TABLES DES GRAPHIQUES .....</b>	<b>115</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>117</b>
Textes réglementaires .....	117
Articles et Ouvrages .....	117
Mémoires et documents de recherches .....	117
Références internet .....	117
Supports de cours .....	117
<b>ANNEXES .....</b>	<b>118</b>
Annexe I - Calcul du SCR opérationnel selon la formule standard : .....	118
Annexe II – Différentes lois probabilistes .....	119
Annexe III – Graphiques des ajustements de fréquence sur les données d'Actyam .....	121
Annexe IV – Graphiques des ajustements de sévérité sur les données d'Actyam .....	125
Annexe V – Graphiques des ajustements de fréquence sur les données O.R.X. ....	129
Annexe VI – Graphiques des ajustements de sévérité sur les données O.R.X .....	132
ANNEXE VII : Liste des variables de la base de données O.R.X. ....	135

## INTRODUCTION

Dans un environnement en constante innovation, les secteurs bancaire et assurantiel ne cessent de se développer. Leurs chiffres d'affaires grandissant chaque année en témoignent. Cette indéniable croissance s'inscrit dans un cadre réglementaire en permanente évolution, toujours plus structurant. La mise en place des réglementations bâloises dans le secteur bancaire ainsi que de Solvabilité I, puis Solvabilité II, dans le secteur assurantiel souligne cette nécessité de contrôle. Tout particulièrement, la volonté de maîtriser les risques intrinsèques à l'exercice des activités de ces deux secteurs.

Parmi eux, il est possible de retrouver un risque commun à tous les secteurs, à toutes les entreprises. Un risque dont l'importance et la reconnaissance se sont accrues avec celles des secteurs bancaire et assurantiel. Et pourtant, un risque qu'il est toujours difficile de définir précisément. De nombreux faits divers l'ont fait connaître aux yeux du grand public, avec pertes et fracas. Il s'agit du risque opérationnel.

L'internationalisation des activités multiplie les interconnexions. Les techniques financières sont de plus en plus sophistiquées, la sensibilité aux systèmes d'information est croissante et les techniques de fraudes de plus en plus inventives. Le risque opérationnel ne cesse donc de prendre de l'importance, aussi bien pour les autorités de régulation que pour les banquiers, les assureurs et les chercheurs académiques.

Cependant, les approches et méthodes au regard de la quantification du risque opérationnel, quand elles n'utilisent pas la Formule Standard forfaitaire de Solvabilité II, sont très coûteuses en temps, ressources et compétences. De ce fait, elles ne sont pas accessibles pour la plupart des petites à moyennes structures.

D'autre part, le risque opérationnel constitue une composante fondamentale du pilotage des risques et de la gouvernance des établissements. Des procédures et outils, tels que la cartographie des risques, permettent de renforcer la surveillance, l'éventuelle maîtrise et la réactivité aux incidents, à condition de bien intégrer tous les acteurs internes.

De ce constat découle un questionnement sur le besoin d'exploitation des outils de contrôle interne à des fins de quantification du risque opérationnel. *Dans quelle mesure une cartographie des risques pourrait-elle contribuer à l'objectif de quantification du risque opérationnel ?*

Il est présenté au sein du premier chapitre une mise en contexte du sujet comprenant la définition du risque opérationnel, sa prise en compte dans les réglementations bancaires et assurantielles et son cadre de gestion dans un organisme d'assurance.

L'ensemble du cadre de l'étude présenté, le second chapitre expose les deux méthodes mises en place dans le cadre de ce mémoire. Une approche de quantification du risque opérationnel sur la base de données empiriques est d'abord présentée. La seconde approche développe l'initiative d'une méthode de quantification du risque opérationnel à partir de la cartographie des risques opérationnels. Cette dernière implique l'utilisation de l'outil CORAL<sup>®</sup>, élaboré dans le cadre de ce mémoire.

Le chapitre III met en application les méthodes annoncées et en présente les résultats.

Une fois les méthodes appliquées et les résultats analysés, la dernière partie du mémoire tente de mettre en avant les limites, avantages et points d'attention de chacune des démarches entreprises. Elle vient ensuite émettre certaines propositions d'amélioration et de bonnes pratiques à mettre en place face aux limites rencontrées.

## SYNTHESE

### Le risque opérationnel

Le risque opérationnel correspond au risque de perte directe ou indirecte qui peut être enclenchée par plusieurs événements. Ces derniers peuvent être une erreur humaine, une défaillance des systèmes ou même une catastrophe naturelle.

Allant des petits dysfonctionnements anodins de tous les jours à des cas de fraudes extrêmes, le risque opérationnel est susceptible de toucher chaque opération de tout type d'activité. De ce fait, il est sujet à la réglementation assurantielle à travers la Directive Solvabilité II.

En particulier, le traitement du risque opérationnel concerne sa mesure et sa quantification mais également sa gouvernance effective et son système de gestion.

Afin de calculer l'exigence de capital au regard du risque opérationnel, les organismes ont le choix entre deux approches :

- L'approche par formule standard : forfaitaire, elle calcule l'exigence de fonds propres en prenant le maximum des capitaux pour risque opérationnel associé aux primes et aux provisions techniques,
- L'approche par modèle interne : dont les pratiques de marché s'inspirent fortement des méthodes de quantification préconisées par Bâle II dans le secteur bancaire. Cette alternative autorise l'utilisation de méthodes résultats du modèle interne des organismes d'assurance.

L'importance du suivi et du contrôle du risque opérationnel à lui été mis en exergue avec l'échec de la gestion des risques bancaires avec la crise de 2007, qui a démontré la nécessité de renforcer les exigences qualitatives.

Ainsi, il est nécessaire de mettre en place un dispositif de contrôle interne capable d'identifier, quantifier et maîtriser l'ensemble des risques opérationnels auxquels une entité est soumise. Un tel dispositif permet d'avoir une vision exhaustive des risques opérationnels de l'organisme afin d'en cibler les risques majeurs.

En particulier, la maîtrise des risques par le contrôle interne est grandement réalisée au travers d'une cartographie des risques, véritable outil de suivi et de gestion, complexe par sa mise en place et son exploitation, mais pourtant imposé par la réglementation bancaire et assurantielle.

## La cartographie des risques

Une cartographie des risques est un outil permettant d'identifier, d'évaluer, de hiérarchiser et de gérer l'ensemble des risques inhérents aux activités d'une organisation. Son rôle est de mettre en avant les risques majeurs sur lesquels il est impératif d'agir au plus vite.

L'identification des risques vise à dresser un inventaire précis des risques auxquels l'organisation est exposée dans le cadre de ses activités. Le recensement exhaustif des risques inhérents aux activités nécessite la connaissance de l'organisation et des rôles de chacun, ainsi qu'une maîtrise fine des processus mis en œuvre.

La cartographie des risques met en jeu trois principaux critères pour chaque risque :

- les impacts : financiers, juridiques, sur l'image et la réputation,
- la fréquence : la probabilité de survenance du risque ou de réalisation du processus auquel ce dernier est rattaché,
- le niveau d'efficacité des éléments de maitrises des risques (ensemble des éléments mis en place dans l'objectif de contrôler, atténuer ou supprimer les risques) : définit pour chaque risque en fonction des éléments de maitrises qui lui sont attribués.

L'évaluation de chacun de ces critères se fait selon **des échelles de cotations** spécifiques. Ces dernières sont définies par les opérationnels, les responsables de processus et la gestion des risques.

La catégorisation du risque brut se fait selon le croisement de la fréquence et l'impact du risque :

$$\text{Risque brut} = \text{Fréquence} \times \text{Impact}$$

Le risque net s'obtient par le croisement entre le risque brut et le niveau d'efficacité des éléments de maitrises

$$\text{Risque net} = \text{Risque brut} \times \text{Elément de maîtrise}$$

Le processus de construction d'une cartographie des risques, bien que présenté succinctement ici, est un travail lourd et fastidieux qui met en jeu toutes les équipes. En effet, pour chaque risque identifié, rattaché à chacun des processus, la fréquence et l'impact doivent être discutés et côtés par les experts. Les éléments de maîtrise de chacun de ces risques doivent être ensuite identifiés et côtés à leur tour.

## Problématique assurantielle

Le risque opérationnel fait l'objet d'un calcul d'exigence de fonds propres. Bien que les tendances de marché plébiscitent l'utilisation de modèles internes des assurances, ceux-ci ne sont pas à la portée de tous, et en particulier des plus petites structures. Faisant souvent appel aux avis d'experts, ils sont d'autant plus coûteux en matière de temps et de compétences.

D'autre part, certains dispositifs conséquents sont déjà mis en place pour assurer la gestion efficiente du risque opérationnel.

De ce constat apparait ce qui constitue une frontière entre les travaux de quantification et les dispositifs de contrôle et de gestion des risques, mais qui pourrait finalement se révéler être une opportunité. La construction de la cartographie des risques est un travail lourd et fastidieux qui fait appel à toutes les équipes mais qui n'est jusqu'alors pas utilisé dans le chiffrage des exigences de capitaux.

Qu'en est-il alors de **l'exploitation d'une cartographie des risques pour quantifier son risque opérationnel** ? Pourquoi ne pas **capitaliser sur les travaux déjà réalisés** par **chaque organisme** pour **établir une méthode** de calcul d'exigence de fonds propres **accessible à tous** ?

## Méthode de quantification du risque opérationnel par approche de la distribution des pertes

Plusieurs axes d'approches sont envisageables lorsqu'il s'agit de développer son propre modèle de quantification du risque opérationnel autour d'une base de données.

La méthode par approche de la distribution des pertes (*LDA*<sup>1</sup>) est une des plus populaires sur les différents modèles internes sur le marché. Elle consiste à ajuster des distributions de fréquence et de sévérité sur des données de pertes empiriques.

Ainsi, partant d'une sélection de lois pour la fréquence et la sévérité de chaque catégorie de risque opérationnels, les paramètres des lois sont estimés par maximum de vraisemblance à partir des échantillons de données.

Pour les modélisation de fréquences, les loi de Poisson et Binomiale Négative sont plébiscitées. Les loi de Weibull, Log-normale et Gamma comptent parmi les plus utilisées pour les lois de sévérité.

A la suite de certains tests d'ajustements (graphiques et statistiques), une loi pour modéliser chacun des deux critères est sélectionnée pour modéliser la fréquence et le cout de la catégorie du risque associé. Ces deux lois sont ensuite mélangées par simulation de Monte Carlo et forment la distribution des pertes annuelle de la catégorie de risque en question.

Enfin, les distributions de pertes par catégories de risques sont agrégées et la distribution des pertes globales annuelles est obtenue afin d'en déduire la VaR<sub>99,5%</sub>.

## Méthode CORAL®

Approche développée dans le cadre de ce mémoire, cette méthode de quantification du risque opérationnel est basée exclusivement sur l'exploitation d'informations issues de la cartographie des risques et donc, des travaux du contrôle interne. Partant d'un choix de lois pour la fréquence et la sévérité des risques motivé en partie par les recommandations de l'Institut Français( de l'Audit et du Contrôle Interne (IFACI), elle consiste en une simulation des montants de pertes opérationnelles annuelles par l'outil CORAL®.

---

<sup>1</sup> Loss Distribution Approach

A la suite d'une étude statistique réalisée sur un organisme témoin, c'est la loi de Poisson qui a été choisie pour modéliser la fréquence des risques, loi usuelle pour ce type de modélisation.

En ce qui concerne la sévérité, les différents niveaux d'impacts financiers tels que définis par la gestion des risques sont exprimés par des intervalles de coût. De plus, conformément aux normes IFACI, la distribution du coût doit être régulière sur l'ensemble du seuil retenu. Une loi uniforme de support égal à l'intervalle donné par l'échelle de cotation est alors choisie pour modéliser la sévérité des risques. De ce fait, tous les montants contenus dans un intervalle donné ont la même probabilité d'être tiré.

Enfin, les modalités de prise en compte des éléments de maîtrise sur les critères d'impact financier et de fréquence des risques sont décidés avec les experts métiers en entretien.

A chaque niveau d'efficacité d'élément de maîtrise est alors associé un ajustement respectif à appliquer au critère de fréquence et/ou d'impact financier du risque concerné.

Cependant, le recours à la cartographie des risques dans l'objectif de quantifier le risque opérationnel nécessite le recensement de quelques informations supplémentaires lors des entretiens avec les experts. En effet, dans un objectif de quantification du risque, la cartographie doit fournir une fréquence d'occurrence du risque et non pas seulement de réalisation du processus auquel le risque est rattaché. Elle doit également fournir une échelle d'impact financier rattaché à une occurrence ponctuelle du risque et non pas à la perte annualisée engendrée. Enfin, les échelles d'ajustements des critères (fréquence et impact financier) en fonction des niveaux d'efficacité des éléments de maîtrises doivent être définies en toute conscience de l'impact engendré sur le calcul du coût du risque. En somme, il s'agit de répertorier trois paramètres supplémentaires aux XXX paramètres couramment renseignés.

### Application à un cas pratique

Afin d'évaluer et d'analyser le capital pour risque opérationnel obtenu avec les méthodes présentées ci-dessus, ces dernières ont été appliquées aux données de risques opérationnelles de l'organisme Actyam dont le nom a été modifié pour des raisons de confidentialité. Ce dernier a un chiffre d'affaires compris entre 500 millions € et 1 milliards d'euros et exerce dans les branches vie et santé.

Ainsi, la méthode LDA a été appliquée à la base incidents d'Actyam et la méthode CORAL® à sa cartographie des risques opérationnels.

En ce qui concerne la méthode LDA, cette dernière a également été appliquée sur une base de données externes fournie par le consortium O.R.X.<sup>2</sup> une des plus grandes organisations sur le risque opérationnel. La base de données en question recense plus de 476 pertes opérationnelles médiatisées, subies par près de 150 organismes d'assurances différents, partout dans le monde. Afin de conserver une cohérence dans l'analyse et les résultats, un retraitement a été réalisé en tenant compte du chiffre d'affaires desdits organismes au moment de la survenance du risque recensé

---

<sup>2</sup> Operationnal Riskdata eXchange

Pour chacune des bases incidents à disposition (interne et externe), les survenances de risques sont classées par catégories de risques opérationnels parmi les suivantes :

- Fraude interne,
- Fraude externe,
- Clients, produits et pratiques commerciales,
- Défaillance des systèmes,
- Risque d'exécution, de livraison et de gestion des processus,
- Pratiques des employés et sécurité sur le lieu de travail.

La méthode par approche de la distribution des pertes est alors appliquée aux données de pertes relatives à chacune de ces catégories, aboutissant à une mesure de risque annuelle spécifique. Ces dernières sont ensuite agrégées avec application d'un effet de diversification (par la prise en compte d'une matrice de corrélation avec les coefficients de Spearman) et aboutissent à une exigence de capital pour risque opérationnel globale.

De son côté, la cartographie des risques opérationnels d'Actyam identifie et évalue 236 risques opérationnels classés par processus. Chacun des risques est coté conformément aux échelles définies pour la cartographie. Des ajustements sur les impacts et la fréquence sont induits par le niveau d'efficacité des éléments de maîtrises du risque. Les éléments détaillés sur les critères d'évaluation des risques sont présentés dans le corps du mémoire, au chapitre III. Un test de sensibilité sur les ajustements a également été réalisé.

A l'issue des applications de ces méthodes, les résultats de capitaux pour risque au regard du risque opérationnel retenus sont présentés dans la figure ci-dessous.

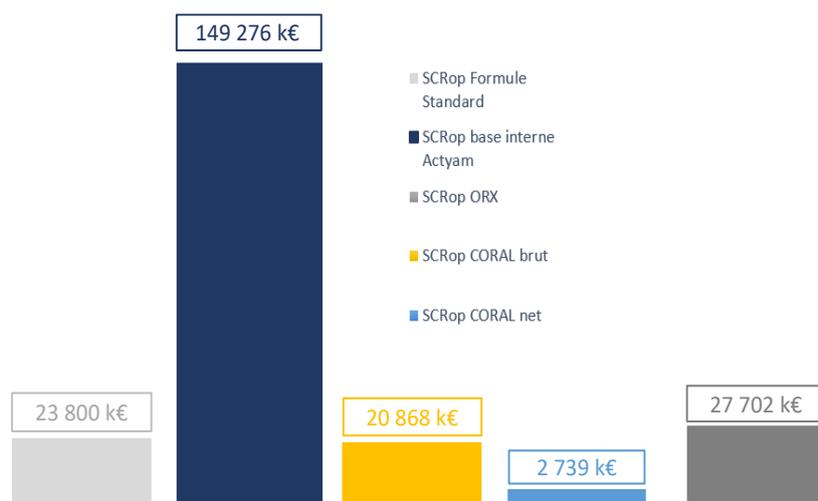


Figure 1 : Récapitulatif des principales mesures de risques opérationnels obtenues par méthode

## Conclusion

Après avoir d'une part exploiter deux types de base incidents et d'autre part développer une démarche de quantification du risque opérationnel à partir d'une cartographie des risques d'autre part, les résultats se sont avérés ne pas être comparables. Les méthodes ne se remplacent pas l'une l'autre mais apportent des appréciations alternatives du risque qui peuvent s'emboîter ou se compléter dans une démarche de quantification.

Les méthodes LDA sur base interne et CORAL® sont assez complémentaires. Là où la première approche la quantification du risque d'une vision rétrospective, l'autre le fait de façon prospective.

Enfin, la méthode LDA sur données externes apporte une information supplémentaire sur les risques d'un autre périmètre : ceux sur lesquels l'organisme n'a pas forcément d'informations en interne.

Cependant, chacune de ces méthodes rencontre certaines limites.

La constitution d'une base incidents opérationnels exige la mise en place d'un dispositif de recensement permanent. Ce dernier doit avoir été étudié et choisi, de façon à ce que chaque perte recensée réponde à certains critères (seuil de collecte, périmètre de définition des risques, etc). Il nécessite également une sensibilisation des opérationnels à son utilisation. De plus, l'accès aux données externes et/ou publiques concernant les pertes opérationnelles d'autres assureurs est difficile.

En pratique, les données, quand elles existent, ne sont pas facilement exploitables. Des biais quant aux pertes recensées, aux informations qui les caractérisent ou au seuil de collecte sont identifiés. De ce fait, l'ajustement de lois usuelles sur les données de sévérité n'est pas toujours évident. L'utilisation de bases incidents à des fins de détermination du capital pour risque opérationnel exige un certain nombre de compétences et des ressources conséquentes. Souvent, elle fait également appel aux avis d'experts pour venir compléter les résultats.

Pour pallier les difficultés soulevées par les approches d'exploitation de données, certaines propositions ont été suggérées dans le corps du mémoire. La mise en place d'un pool d'assurance et la normalisation réglementaire d'un processus de recensement des pertes opérationnelles en font parties. Certaines propositions de bonnes pratiques quant à l'alimentation d'une base incidents ont également été émises.

La sélection de lois pour modéliser les fréquences et les sévérités par catégorie de risque a été menée sur la base de tests statistiques sur la qualité des ajustements. L'impact de l'estimation des paramètres de lois à partir des données historiques sur la fiabilité des test statistiques reste à approfondir. Une étude de quantification des biais présents dans les bases de données respectives pourrait être menée en dehors de ce mémoire.

Face au manque de communication et d'échanges entre équipes de gestion des risques et contrôle interne sur leur travaux, ce mémoire propose une démarche de quantification du risque opérationnel basée sur la cartographie des risques.

Cette dernière met à disposition une source exhaustive de données sur les risques opérationnels. Sous réserve de quelques informations supplémentaires à recenser par rapport à ce qui peut être fait aujourd'hui en matière de contrôle interne, il a été montré qu'une mesure du SCR<sub>op</sub> peut être obtenue à partir de la cartographie des risques. Cela implique la mise au point de certaines bonnes pratiques à rajouter aux méthodologies d'usage pour la création d'une cartographie des risques fiable.

Une telle approche permet la hiérarchisation des risques les plus importants. Elle permet également de chiffrer l'impact des éléments de maîtrise sur le SCR<sub>op</sub>. Une limite de la Formule Standard de Solvabilité II pour le risque opérationnel est que cette dernière ne prend en compte aucun ajustement en fonction des éléments de maîtrise investis par les organismes.

Les résultats obtenus à partir de l'outil CORAL<sup>®</sup> peuvent alors servir la remise en cause de la quantification du risque opérationnel par la Formule Standard dans le cadre d'une Évaluation Interne des Risques et de la Solvabilité (ORSA).

L'approche introduite avec l'outil CORAL<sup>®</sup> demande finalement l'alignement des informations recensées par le contrôle interne avec les objectifs de la gestion des risques et de l'actuariat. Bien que cela nécessite de nouvelles pratiques à intégrer aux protocoles actuellement appliqués, cette méthode apparaît plus accessible aux petites et moyennes structures. En effet, la majorité de ces dernières travaillent déjà avec des cartographies des risques.

La principale limite de cette approche reste la nécessité de recenser des informations cohérentes et fiables sur les risques et leurs impacts. La prise d'une telle initiative implique de reprendre toutes les démarches de cotations des risques d'une cartographie. En effet, les résultats de l'outil CORAL<sup>®</sup> sont très sensibles à la vision prise lors de la cotation des risques. Cette dernière doit donc être faite de façon cohérente avec un objectif de quantification à posteriori. Enfin, se pose la question des risques majeurs liés aux événements rares ou extérieurs, qui peuvent être très coûteux. Ces derniers peuvent éventuellement être rajoutés à la cartographie des risques, dans l'optique d'être soumis à des scénarios de stress imaginés ou inspirés des données publiques sur les événements rares.

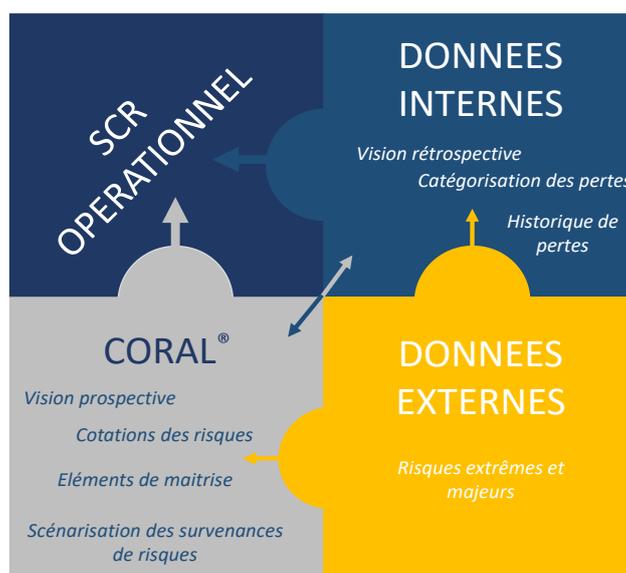


Figure 2 : Schéma de synthèse de l'étude

## SYNTHESIS

### Operational risk

Operational risk corresponds to the risk of direct or indirect loss that may be triggered by several events. These may be human error, system failure or even natural disasters.

Ranging from minor, everyday malfunctions to extreme cases of fraud, operational risk is likely to affect every operation in any type of business. As a result, it is subject to insurance regulation through the Solvency II Directive.

In particular, the treatment of operational risk concerns its measurement and quantification, but also its effective governance and management system.

In order to calculate the capital requirement with respect to operational risk, organizations have the choice between two approaches:

- The standard formula approach: a lump-sum approach, it calculates the capital requirement by taking the maximum capital for operational risk associated with premiums and technical provisions,
- The internal model approach: whose market practices draw heavily on the quantification methods recommended by Basel II in the banking sector. This alternative authorizes the use of methods resulting from the internal model of insurance organizations.

The importance of monitoring and controlling operational risk was highlighted by the failure of banking risk management with the 2007 crisis, which demonstrated the need to strengthen qualitative requirements.

It is therefore necessary to set up an internal control system capable of identifying, quantifying and controlling all the operational risks to which an entity is exposed. Such a system provides an exhaustive view of the organization's operational risks in order to target the major risks.

In particular, risk management through internal control is largely achieved through risk mapping, a genuine monitoring and management tool, which is complex to set up and operate, but which is nonetheless required by banking and insurance regulations.

### Risk Mapping

Risk mapping is a tool for identifying, assessing, prioritizing and managing all the risks inherent in an organization's activities. Its role is to highlight the major risks on which it is imperative to act as quickly as possible.

The purpose of risk identification is to draw up a precise inventory of the risks to which the organization is exposed in the course of its activities. An exhaustive inventory of the risks inherent in the Group's activities requires knowledge of the organization and the roles of each individual, as well as a thorough understanding of the processes implemented.

Risk mapping involves three main criteria for each risk:

- impacts: financial, legal, image and reputation,

- Frequency: the probability of the risk occurring or of the process to which it is attached occurring,
- the level of effectiveness of the risk control elements (all the elements put in place with the aim of controlling, mitigating or eliminating risks): defined for each risk according to the control elements assigned to it.

Each of these criteria is assessed according to specific rating scales. These are defined by operational staff, process managers and risk management.

The gross risk is categorized according to the cross-reference between the frequency and impact of the risk:

$$\text{Gross risk} = \text{Frequency} \times \text{Impact}$$

The net risk is obtained by cross-referencing the gross risk and the level of efficiency of the control elements.

$$\text{Net risk} = \text{Gross risk} \times \text{Control element}$$

The process of constructing a risk map, although briefly presented here, is a heavy and tedious work that involves all the teams. Indeed, for each risk identified, linked to each of the processes, the frequency and impact must be discussed and assessed by the experts. The elements of control of each of these risks must then be identified and assessed in turn.

### Insurance issues

Operational risk is the subject of a capital requirement calculation. Although market trends favor the use of internal insurance models, these are not available to everyone, particularly to smaller structures. They often require the advice of experts, which makes them all the more expensive in terms of time and skills.

On the other hand, certain significant measures have already been put in place to ensure efficient management of operational risk

From this observation emerges what constitutes a frontier between quantification work and risk control and management systems, but which could ultimately prove to be an opportunity. The construction of risk mapping is a heavy and tedious task that calls on all the teams, but which has so far not been used in the quantification of capital requirements.

So what about using a risk map to quantify operational risk? Why not capitalize on the work already carried out by each organization to establish a capital requirement calculation method that is accessible to all?

### Methods for quantifying operational risk using a loss distribution approach

There are several possible approaches when it comes to developing your own operational risk quantification model based on a database.

The Loss Distribution Approach (LDA) is one of the most popular methods for the various internal models on the market. It consists in fitting frequency and severity distributions on empirical loss data.

Thus, starting from a selection of distributions for the frequency and severity of each category of operational risk, the parameters of the distributions are estimated by maximum likelihood from the data samples.

For frequency modelling, Poisson's law and Binomial Negative law are favored. Weibull, Log-normal and Gamma laws are among the most widely used for severity laws.

Following certain fit tests (graphs and statistics), a law to model each of the two criteria is selected to model the frequency and cost of the associated risk category. These two laws are then mixed by Monte Carlo simulation and form the annual loss distribution for the risk category in question.

Finally, the loss distributions by risk category are aggregated and the annual global loss distribution is obtained in order to derive the VaR99.5%.

### CORAL<sup>®</sup> method

An approach developed in the context of this dissertation, this method of quantifying operational risk is based exclusively on the use of information from risk mapping and, therefore, internal control work. Based on a choice of laws for the frequency and severity of risks motivated in part by the recommendations of the French Institute of Audit and Internal Control (IFACI), it consists of a simulation of the amounts of annual operational losses using the CORAL<sup>®</sup> tool.

Thus Poisson's law is chosen to model the frequency of risks, which is usual to model this type of phenomena.

With regard to severity, the different levels of financial impact as defined by risk management are expressed by cost intervals. In addition, in accordance with IFACI standards, the distribution of the cost must be regular over the entire threshold selected. A uniform support law equal to the interval given by the rating scale is then chosen to model the severity of the risks. As a result, all the amounts within the predefined interval have the same probability of being drawn.

Finally, the methods used to take into account the elements of control over the criteria of financial impact and risk frequency are decided with the maintenance experts.

Each level of effectiveness of the control elements is then associated with a respective adjustment to be applied to the criterion of frequency and/or financial impact of the risk in question.

However, this approach to quantifying operational risk requires the identification of certain additional information when the risk mapping is completed with the experts. Indeed, in order to quantify the risk, the mapping must provide a frequency of occurrence of the risk and not only of the process to which the risk is attached. It must also provide a scale of financial impact related to a specific occurrence of the risk and not to the annualized loss generated. Finally, the scales for adjusting the criteria (frequency and financial impact) according to the levels of effectiveness of the control elements must be defined in full awareness of the impact on the calculation of the cost of risk.

## Application to a practical case

In order to assess the operational risk capital obtained with the methods presented above, the methods have been applied to the operational risk data of the Actyam organization, whose name has been changed for reasons of confidentiality. Actyam has a turnover of between €500 million and €1 billion and operates in the life and health sectors.

Thus, the LDA method was applied to Actyam's incident database and the CORAL® method to its operational risk mapping.

The LDA method has also been applied to an external database provided by the O.R.X. consortium, one of the largest operational risk organizations in the world today. The database in question records more than 476 mediatized operational losses suffered by nearly 150 different insurance organizations worldwide.

For each of the incident databases available (internal and external), risk occurrences are classified by operational risk categories among the following :

- Internal fraud,
- External fraud,
- Customers, products and business practices,
- System failure,
- Execution, delivery and process management risk,
- Employee practices and safety in the workplace.

The loss distribution approach method is then applied to the loss data for each of these categories, resulting in a specific annual risk measure. These are then aggregated and result in an overall operational risk capital requirement.

For its part, Actyam's operational risk mapping identifies and assesses 236 operational risks classified by process. Each of the risks is rated according to the scales defined for the mapping and adjustments to impact and frequency are made based on the level of effectiveness of the risk control elements. Detailed information on the risk assessment criteria is presented in the body of the memorandum in chapter III. A sensitivity test on the adjustments was also carried out.

Following the application of these methods, the results of capital at risk in relation to the operational risk retained are presented in the figure below.

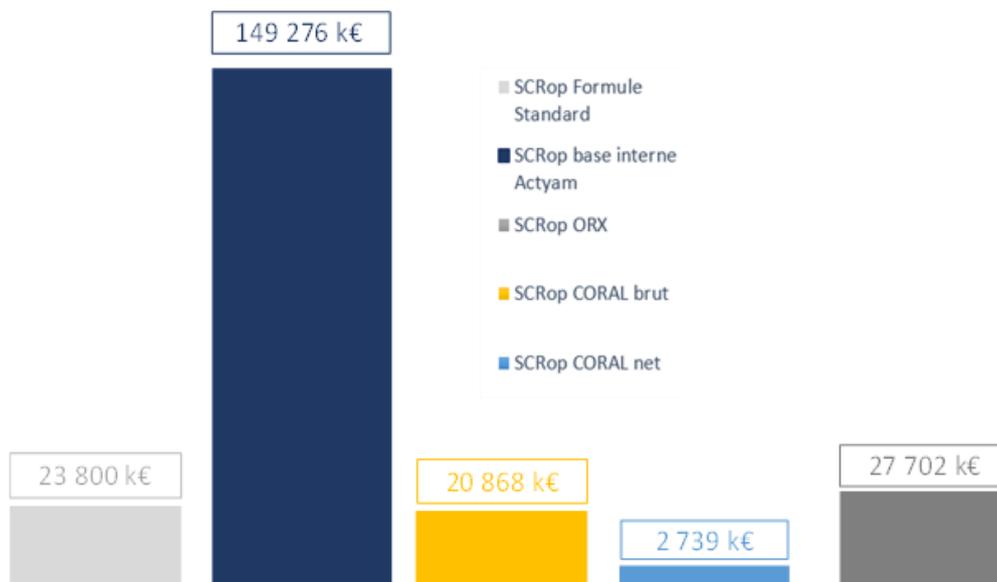


Figure 3 : Main operational risk measures obtained by method

## Conclusion

After using two types of incident databases and developing an approach to quantifying operational risk based on risk mapping, the results are not comparable. The methods do not replace each other, but provide alternative risk assessments that can be used in conjunction or in addition to each other in a quantification process.

The LDA methods on an internal basis and CORAL® are quite complementary. Where the first approaches risk quantification from a retrospective perspective, the other does so prospectively.

Finally, the LDA method on external data provides additional information on risks from another scope: those on which the organization does not necessarily have information internally.

However, each of these methods has certain limitations.

The creation of an operational incident database requires the implementation of a permanent inventory system. The latter must be studied and chosen so that each loss recorded meets certain criteria (collection threshold, risk definition perimeter, etc.). It also requires that operational staff be made aware of its use. In addition, access to external and/or public data concerning operational losses from other insurers is difficult.

In practice, the data, when it exists, is not easily exploitable. Biases as to the losses recorded, the information that characterizes them or the collection threshold are identified. As a result, the adjustment of usual laws on severity data is not always obvious. The use of incident databases for the purpose of determining operational risk capital requires a number of skills and substantial resources. Often, it also requires expert advice to supplement the results.

To overcome the difficulties raised by data mining approaches, a number of proposals have been suggested. These include the establishment of an insurance pool and the regulatory

standardization of a process for identifying operational losses. Some proposals for good practice in feeding an incident database have also been put forward.

The selection of laws for modeling frequencies and severities by risk category was carried out on the basis of statistical tests on the quality of adjustments. The impact of estimating the parameters of the laws from historical data on the reliability of the statistical tests remains to be investigated. A study to quantify the biases present in the respective databases could be conducted outside this paper.

In view of the lack of communication and exchanges between risk management and internal control teams on their work, this memorandum proposes an approach to quantifying operational risk based on risk mapping.

The latter provides an exhaustive source of data on operational risks. Subject to some additional information to be identified, it has been shown that a measure of SCROp can be obtained from risk mapping. This implies the development of certain good practices to be added to the methodologies used to create a risk map.

Such an approach allows the prioritization of the most important risks. It also allows to quantify the impact of the control elements on the SCROp. A limitation of the Standard Solvency II Formula for operational risk is that it does not take into account any adjustment according to the control elements invested by the organizations.

The results obtained from the CORAL tool can then be used to question the quantification of operational risk by the Standard Formula in the context of an Internal Risk and Solvency Assessment (ORSA).

The approach introduced with the CORAL tool finally requires the alignment of the information identified by internal control with risk management and actuarial objectives. Although this requires new practices to be integrated into the protocols currently applied, it seems to be more inclined to be used by small to medium-sized structures. Indeed, most of the latter are already working with risk mapping.

The main limitation of the risk mapping approach remains the need to identify good information on risks and their impacts. Taking such an initiative implies taking over all the risk rating steps of a risk mapping approach. Indeed, the results of the CORAL tool are very sensitive to the vision taken during the risk rating process. The latter must therefore be done in a coherent way with an objective of quantification a posteriori. Finally, there is the question of major risks related to rare or external events, which can be very costly. These could possibly be added to the risk mapping, in the form of scenarios imagined or inspired by public data on rare events.

## CHAPITRE I : PRESENTATION DU RISQUE OPERATIONNEL

Les secteurs bancaire et assurantiel ont vu de nouvelles pratiques se développer et l'environnement contemporain en constante innovation des entreprises accentue fortement leur exposition au risque opérationnel. Ce risque qui touche tout type d'activité, service et produit, qui concerne tous les employés de toutes les entreprises. Cette notion n'est pas spécifique aux activités bancaire et assurantielles, bien que ce soit autour de ces dernières que va se construire l'étude du présent mémoire.

Depuis 2002 et au travers de l'association O.RX., de nombreux professionnels et entreprises ont joint leurs efforts pour développer une communauté mondiale d'institutions financières et assurantielles. Ainsi, ORX est devenue une des plus grandes associations de risque opérationnel dans le secteur, engagée dans les recherches sur la gestion et la mesure du risque opérationnel.

La figure ci-dessous reprend quelques-uns des chiffres clés du rapport 2020 publié par l'organisation ORX sur le risque opérationnel des assureurs.



Figure 4 : Quelques chiffres sur le risque opérationnel des assureurs membres du consortium ORX<sup>3</sup>

Le risque opérationnel pour les organismes d'assurance est donc générateur de nombreuses pertes aux montants conséquents.

<sup>3</sup> Source : ORX Annual Insurance Report 2020

## PARTIE I : QU'EST-CE QUE LE RISQUE OPERATIONNEL ?

Le risque opérationnel peut résulter d'une inadéquation ou défaillance de procédures, d'une erreur humaine, de systèmes internes ou même de risques externes ou émergents.

Il comprendrait presque tout ce qui ne relève pas des risques techniques et financiers.

### *Quelques exemples de tous les jours*

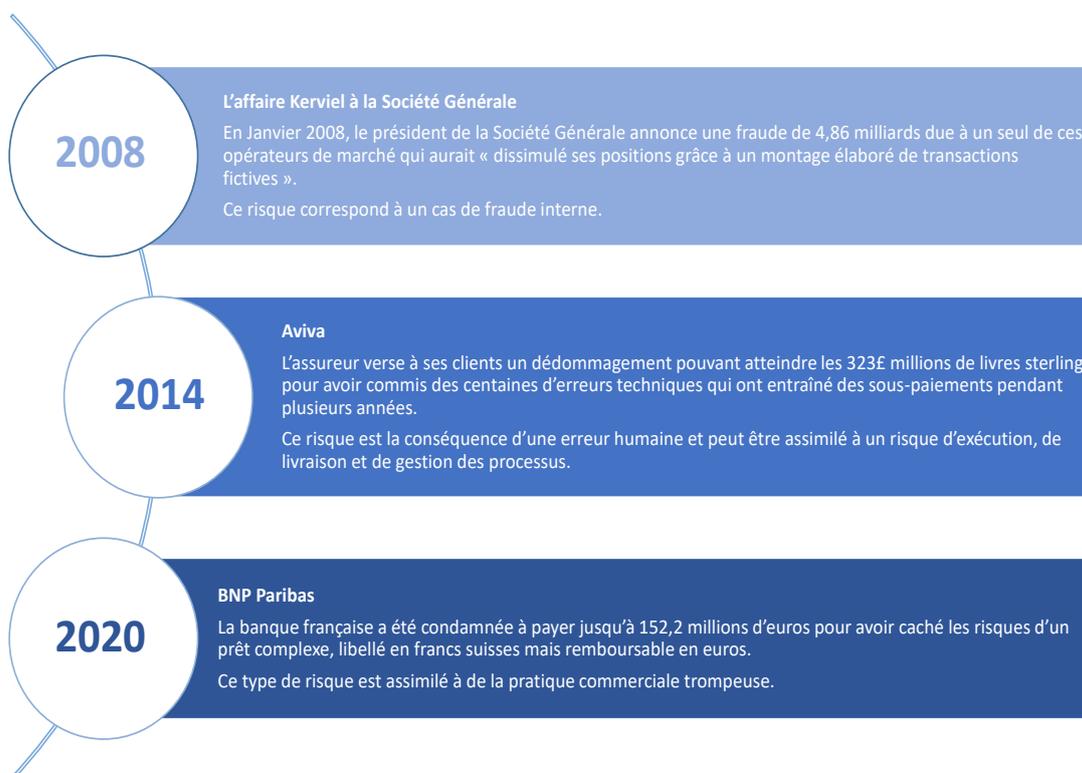
Le spectre des risques opérationnels est très étendu. Bien que les pertes opérationnelles les plus connues soient celles qui sont généralement rendues publiques, la plupart découlent de tâches quotidiennes et ne sont pas toujours à lourdes conséquences.

La définition d'un risque opérationnel est plurielle. Ce dernier peut correspondre :

- à un enregistrement erroné d'une donnée client lors de la création de son dossier,
- au risque de retard d'ouverture d'une agence,
- à la défaillance de la machine à badge qui cumulerait un temps trop long par jour et par employé.

### *Quelques exemples historiques*

Voici quelques exemples de pertes opérationnelles conséquentes, ayant fait la une de la presse:



**Figure 5 :** Exemples de pertes opérationnelles

Allant des petits dysfonctionnements anodins de tous les jours à des cas de fraudes extrêmes, le spectre du risque opérationnel est large et propre à chacun. Il est susceptible de toucher chaque opération de tout type d'activité.

Il est donc nécessaire d'en donner une définition aussi claire que possible et un cadre d'appréhension rigoureux.

## 1. Le risque opérationnel selon les réglementations

Les réglementations des banques comme des assurances s'accordent sur une définition similaire du risque opérationnel.

Définition de l'arrêté bancaire du 20 février 2007	Définition de la Directive Solvabilité II en assurance
« Le risque de pertes résultant d'une inadaptation ou d'une défaillance imputable à des procédures, personnels et systèmes internes, ou à des événements extérieurs, y compris les événements de faible probabilité d'occurrence, mais à risque de perte élevée. »	« Le risque de perte résultant de procédures internes, de membres du personnel ou de systèmes inadéquats ou défaillants, ou d'événements extérieurs. »

**Tableau 1** : Définitions réglementaires du risque opérationnel

La *Federation of European Risk Management Associations* (FERMA) est l'organisation de la profession des gestionnaires des risques à échelle européenne. Elle représente près de 5 000 gestionnaires de risques actifs dans un large spectre de secteurs d'activité. Dans son cadre de référence de la gestion des risques, elle distingue deux principales natures de risques opérationnels :

- Les **risques endogènes**, propres à l'activité de l'organisme : liés à son organisation, son système d'information et son management.
- Les **risques exogènes**, dont l'origine provient de l'environnement extérieur de l'organisation : les clients, les fournisseurs, les sociétaires ou actionnaires, etc.

Les risques stratégiques et les risques de réputation sont eux exclus des définitions du risque opérationnel.

Les activités et les opérations sous-traitées ne sont pas exemptes de risque opérationnel pour les entreprises qui délèguent. Il est explicité dans l'article 49.2.b de la Directive Solvabilité II que celles-ci ne doivent pas accroître significativement le risque opérationnel de l'organisme et doivent être contrôlées.

Enfin, que ce soit dans l'une ou l'autre des réglementations, il est demandé aux entreprises soumises à leur(s) réglementation(s) respective(s) de détenir les fonds nécessaires pour pouvoir dans certaines mesures, faire face à la réalisation de risques opérationnels.

## A. LES PRECONISATIONS DE BALE II

Le calcul du risque opérationnel a été instauré dans le cadre de la réforme de Bâle II afin d'améliorer la gestion des risques bancaires et en particulier ceux accentués par la libéralisation financière. Jusqu'à sa mise à jour par la réforme de Bâle III en 2010, le dispositif prudentiel du comité de Bâle<sup>4</sup> préconisait trois méthodes de quantification du risque opérationnel présentées ci-dessous.

Ces méthodes se distinguent notamment sur les ressources nécessaires à leur mise en œuvre. Par pragmatisme, des critères d'éligibilité sont définis dans la réglementation pour indiquer à chaque entreprise les approches qu'elles peuvent appliquer.

### a. L'approche indicateur de base (BIA) :

Construite sur la base du produit net bancaire (PNB) et d'un coefficient multiplicateur arbitraire de 15 %, cette première approche ne nécessite aucun critère d'éligibilité. La formule de l'exigence en capital à détenir est donnée par :

$$\text{Exigence} = \text{Produit Net Bancaire Total} \times 15\%$$

### b. L'approche standard (TSA)

Dans cette approche, l'exigence de fonds propres est calculée par branche d'activité (avec un total de 8 lignes métiers reconnues). Toutefois, le principe reste le même et repose à la fois sur les produits nets bancaires de chacune d'entre elles et des facteurs de pondérations respectifs, donnés par le régulateur.

Lignes d'activités	Facteurs
Finances des entreprises	18%
Activités de marché	18%
Banque de détail	12%
Banque commerciale	15%
Activité de paiement et règlement	18%
Service d'agence	15%
Gestion d'actifs	12%
Activité de marché (compte de tiers ou courtage de détail)	12%

**Tableau 2 :** Coefficients de pondération par ligne d'activité (Banques)

Pour l'application de cette méthode, un ensemble de critères d'éligibilité sont à respecter et prennent en compte la qualité du système de gestion du risque et le suivi des données de pertes.

---

<sup>4</sup> Le comité de Bâle sur le contrôle bancaire est un forum où sont traités une fois par semestre les sujets relatifs à la supervision bancaire. Il est hébergé par la banque des règlements internationaux à Bâle.

### c. L'approche mesure avancée (AMA)

Cette méthode autorise l'utilisation de méthodes résultant du modèle interne de l'organisme pour la mesure du risque opérationnel. Soumise à l'approbation préalable du superviseur, le modèle interne doit utiliser :

- Des données internes historiques (de 5 à 3 ans au moment de la mise en œuvre du modèle) ou des données externes corrigées pour les rendre comparables à des données internes,
- Des analyses de scénario avec une évaluation des risques d'intensité (faible probabilité, mais impact fort),
- Des évaluations de l'environnement et du système de contrôle interne.

L'application de l'AMA est en principe ouverte à tout modèle interne. Les pratiques de marché montrent une convergence vers les méthodes suivantes :

- L'approche par carte de pointage (*Scorecard Approach*),
- L'approche par distribution des pertes (*Loss Distribution Approach*) , qui est l'approche la plus fréquemment rencontrée dans les modèles internes bancaires,
- L'approche par modèle interne (*Internal measurement approach*), basée sur un certain nombre de paramètres internes à la banque,
- L'approche basée sur des scénarios (*Scenario-Based AMA*) qui définit des sévérités extrêmes de risques selon des scénarios prospectifs, en dialoguant avec les experts métiers.

Ces méthodes, devenues des standards pratiqués au regard de la quantification du risque opérationnel dans le milieu bancaire, ont fortement inspiré les pratiques de modèle interne du monde des assurances.

Compte tenu de son statut, l'approche LDA a été retenue pour développer une partie de ce mémoire. Ce choix est par ailleurs renforcé par le fait que celle-ci est la plus similaire aux méthodes de tarification en assurance.

## B. LA METHODE APPROCHE STANDARD DE BALE III

En 2010, les accords de Bâle III viennent réformer les préconisations de quantification du secteur bancaire.

En effet, deux principales lacunes au cadre de Bâle II ont été identifiées après la crise financière de 2008. Dans un premier temps, les exigences de fonds propres sont insuffisantes pour couvrir les pertes imputables aux risques opérationnels de certaines banques et posent la question d'un changement de mesure. D'autre part, la nature des pertes, liées à des erreurs humaines ou à des systèmes et contrôles inappropriés rend difficile le recours aux modèles internes puisque les données de pertes sont difficiles à recensées.

Les accords de Bâle III imposent alors une unique approche standard pour la mesure des exigences de fonds propres en regard du risque opérationnel. Cette dernière méthode se fonde sur les éléments suivants, abordés plus en détail par la suite :

- Le *business indicator* (BI), ou indicateur d'activité,
- La composante « indicateur d'activité » (BIC),
- Le multiplicateur des pertes internes (ILM).

#### a. Le Business Indicator (BI) ou indicateur d'activité

L'indicateur d'activité BI est une mesure du risque opérationnel reposant sur les états financiers. Il est défini selon la somme de trois composantes, tel que :

$$BI = ILDC + SC + FC$$

Avec :

- *The Interest, Leases and Dividends Component* (ILDC) ou composante d'intérêts, contrats de location et dividendes,
- *The services component* ou composante de service,
- *The financial component* ou composante financière.

#### *La composante d'intérêts, contrats de location et dividendes*

L'ILDC se calcule comme suit :

$$ILDC = \text{Min}[\text{Abs}(\text{PI} - \text{CI}); 2.25\% * \text{PA}] + \text{PD}$$

Avec :

- PI la moyenne sur 3 ans des produits d'intérêts,
- CI la moyenne sur 3 ans des charges d'intérêts,
- D la moyenne sur 3 ans des produits des dividendes.

#### *La composante de service*

Le SC est la composante de service, dont la formule est la suivante :

$$SC = \text{Max}[\text{PHC}; \text{CHC}] + \text{Max} [\text{APE}; \text{ACE}]$$

Avec :

- PHC les produits d'honoraires et de commissions,
- CHC les charges d'honoraires et de commissions,
- APE les autres produits d'exploitation,
- ACE les autres charges d'exploitation.

#### *La composante financière*

Et enfin, la FC est la composante financière dont la formule est donnée ci-après :

$$FC = \text{Abs}(\text{BPN} - \text{BPB})$$

Avec :

- BPN le bénéfice sur le portefeuille de négociation (autrement dit sur le portefeuille des actifs détenus dans une intention d'une revente à court terme),
- BPB le bénéfice sur le portefeuille bancaire (autrement dit sur le portefeuille des actifs détenus ayant vocation d'être conservés jusqu'à échéance).

#### b. La composante indicateur d'activité (BIC)

Cette composante représente une mesure du revenu soumis au risque opérationnel de l'organisme bancaire. Pour la calculer, les BI définis précédemment sont classés en tranches, les *Buckets*, auxquelles sont associés des coefficients marginaux respectifs définis réglementairement.

Tranches	Fourchette du BI (en mds d'€)	Coefficients marginaux du BI ( $\alpha$ )
1	0 → 1 Mds €	12%
2	1 → 3 Mds €	15%
3	> 3 Mds €	18%

Tableau 3 : Coefficients marginaux par tranche d'indicateur d'activité

Ainsi, la formule du BIC est donnée par :

$$\text{BIC} = \sum_{i=1}^2 \alpha_i \times \min(\text{BI} - \text{inf}_i; \text{sup}_i - \text{inf}_i)^+ + \alpha_3 \times (\text{BI} - \text{inf}_3)^+$$

#### c. Le multiplicateur des pertes internes (ILM)

L'expérience d'une banque en matière de pertes internes liées au risque opérationnel influence le calcul des fonds propres au travers du multiplicateur des pertes internes (*Internal Loss Multiplier*) qui se définit comme suit :

$$\text{ILM} = \text{Ln}(\exp(1) - 1 + \left(\frac{\text{LC}}{\text{BIC}}\right)^{0.8})$$

Où la composante pertes (Loss Component) est égale à 15 fois les pertes moyennes annuelles liées au risque opérationnel sur les 10 dernières années.

L'ILM est alors supérieur à 1 lorsque la LC est supérieure à la BIC.

L'ILM est une composante sensible au risque qui permet de saisir les pertes opérationnelles internes d'une banque. Il sert de facteur d'échelle qui ajuste l'exigence de fonds propres de base en fonction de l'expérience de la banque en matière de pertes opérationnelles.

#### d. L'exigence en capital

Finalement, l'exigence de fonds propres au regard du risque opérationnel (*Operational Risk Capital, ORC*) est calculée en multipliant la BIC et l'ILM selon la formule suivante :

$$\text{ORC} = \text{BIC} * \text{ILM}$$

Il est intéressant de constater que pour les banques de la tranche 1, les données sur les pertes internes n'influent pas sur le calcul des fonds propres qui sont alors égaux à la BIC (l'ILM étant de 1).

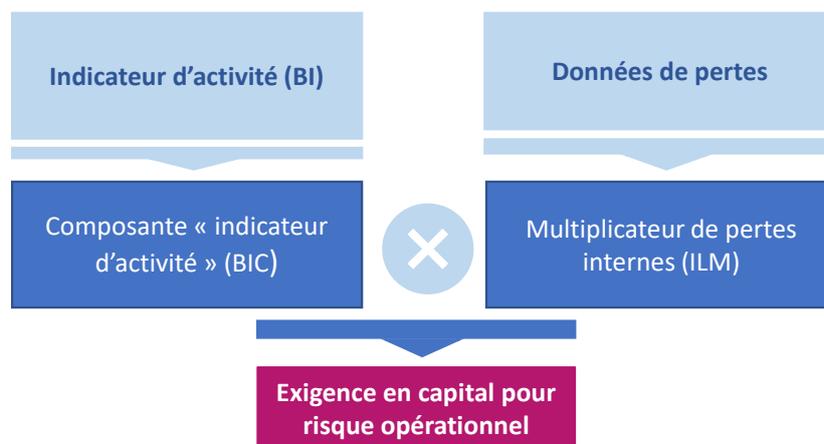


Figure 6 : Schéma récapitulatif de la méthode standard de Bâle III

### C. LA DIRECTIVE SOLVABILITE 2

Dans le même esprit que les réformes bâloises, la Directive Solvabilité 2 pour les organismes d'assurance a été adoptée en 2009 puis transposée en droit national le 2 avril 2015. Cette directive européenne a pour but d'homogénéiser le marché et de protéger les assurés en renforçant, comme son nom l'indique, la solvabilité des assureurs.

La réforme s'est alors efforcée de répondre à de nombreux objectifs tels que :

- Homogénéiser la mesure des fonds propres et le capital requis à leur niveau économique entre les pays européens,
- Evaluer la solvabilité globale basée sur tous les risques,
- Inciter les assureurs à mesurer et contrôler les risques,
- Surveiller de manière efficiente des groupes et harmoniser les méthodes de surveillance entre les législations,
- Communiquer au public et à l'autorité de contrôle.

À travers sa structure en trois piliers, les exigences de la directive se structurent de la façon suivante :

- **Exigences quantitatives** : l'objectif de ce premier pilier est principalement de mesurer le ratio de solvabilité au 31/12 de l'exercice d'un organisme. Cette évaluation est basée sur l'estimation d'un niveau de richesse économique et le calcul d'un niveau de risque. Ce niveau de risque peut être estimé à l'aide d'une formule standard ou d'un modèle interne (total ou partiel),
- **Exigences qualitatives et de supervision** : l'objectif est d'assurer le respect permanent des exigences réglementaires à travers la mise en place d'un système de gouvernance efficace. Dans ce cadre, des systèmes de gestion des risques et de contrôle interne sont introduits.

- **L'obligation d'information du public et du superviseur** : motivée par le principe de transparence, il s'agit là de communiquer au public et au superviseur des informations sur son activité, ses résultats, son profil de risque et son niveau de solvabilité.

Ainsi, le traitement du risque opérationnel selon la directive Solvabilité II ne concerne pas seulement sa mesure et sa quantification, mais également sa gouvernance effective et son système de gestion.

#### a. Approche quantitative

L'article 101.4 de la directive Solvabilité II stipule que « *Le capital de solvabilité requis est calibré de manière à garantir que tous les risques quantifiables auxquels l'entreprise d'assurance ou de réassurance est exposée soient pris en considération.... Le capital de solvabilité requis couvre au minimum les risques suivants: .... - le risque opérationnel* ».

Le capital de Solvabilité Requis (SCR) correspond au niveau de fonds propres permettant à un organisme d'absorber les pertes imprévues importantes et d'offrir une sécurité raisonnable aux assurés et souscripteurs. Ce SCR correspond au quantile à 99.5% (Value-at-Risk, « VaR ») sur un horizon d'un an.

Une exigence de capital est alors requise pour chaque module de risque illustré dans la figure I.2 ci-dessous.

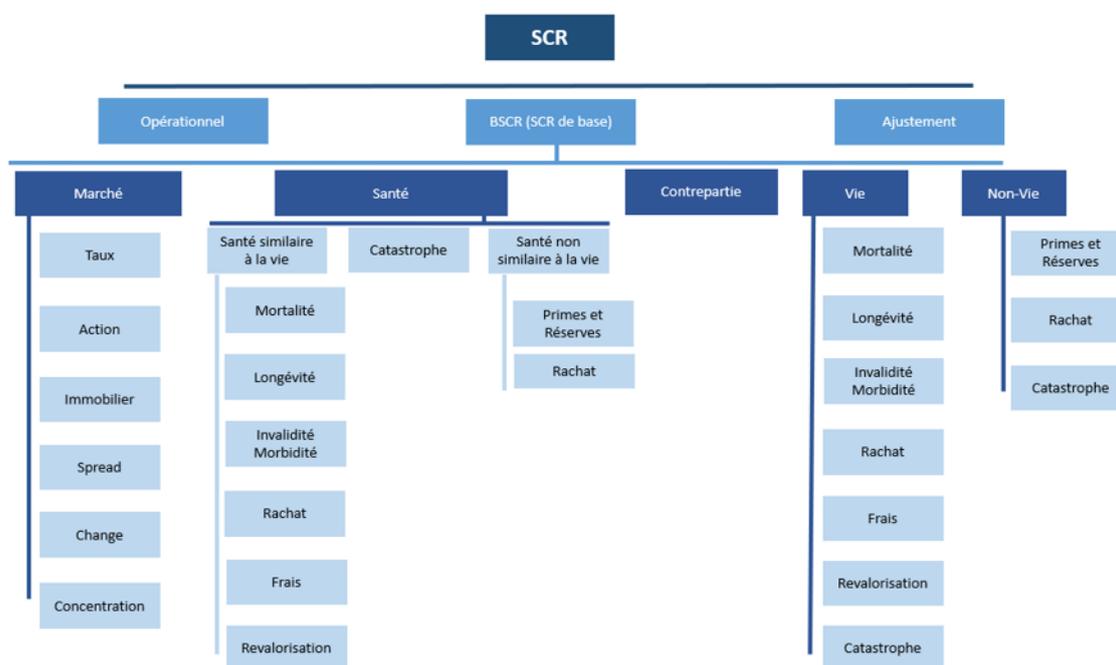


Figure 7: Structure des différents modules de risques sous Solvabilité II

Les différentes exigences de capital sont agrégées à l'aide de matrices de corrélation suivant deux niveaux d'agrégation (entre les sous-modules et entre les modules) afin de tenir compte de l'effet de diversification des risques.

Le risque opérationnel est intégré dans la formule standard via le module « risque opérationnel » et est une composante directe de la Formule Standard :

$$\text{SCR} = \text{BSCR} + \text{Adj} + \text{SCR}_{\text{op}}$$

En vue de répondre aux exigences réglementaires, les organismes d'assurance ont le choix entre deux approches pour quantifier leur risque opérationnel.

i. L'approche par formule standard

Il s'agit dans ce cas d'un modèle simplifié à travers lequel le SCR risque opérationnel est calculé en prenant le maximum des capitaux pour risque opérationnel associé aux primes et aux provisions techniques. Chacun de ces derniers est calculé en fonction de pourcentages des primes (respectivement des provisions techniques) rattachées aux activités de vie et de non-vie.

Le calibrage des coefficients de pondération s'est appuyé sur les observations fournies par quelques groupes d'assurance au milieu des années 2000, en utilisant leur propre modèle interne.

Ce SCR risque opérationnel est facile à calculer et à comparer entre assureurs, mais présente toutefois de nombreux inconvénients, parmi lesquels :

- Le calibrage définitif n'a pas été justifié par l'EIOPA,
- Le calibrage des coefficients reflète la politique de gestion des risques opérationnels d'une minorité d'assureurs au début des années 2000, non représentatifs de la population générale et des travaux réalisés depuis,
- La formule standard ne reflète ni la diversité des assureurs, ni leur politique de gestion des risques,
- La formule standard ne récompense pas l'investissement des assureurs dans le développement des bonnes pratiques de gestion des risques opérationnels.

Le détail de la méthode de calcul du capital de solvabilité requis au regard du risque opérationnel selon la Formule Standard est présenté en annexe I.

ii. L'approche modèle interne

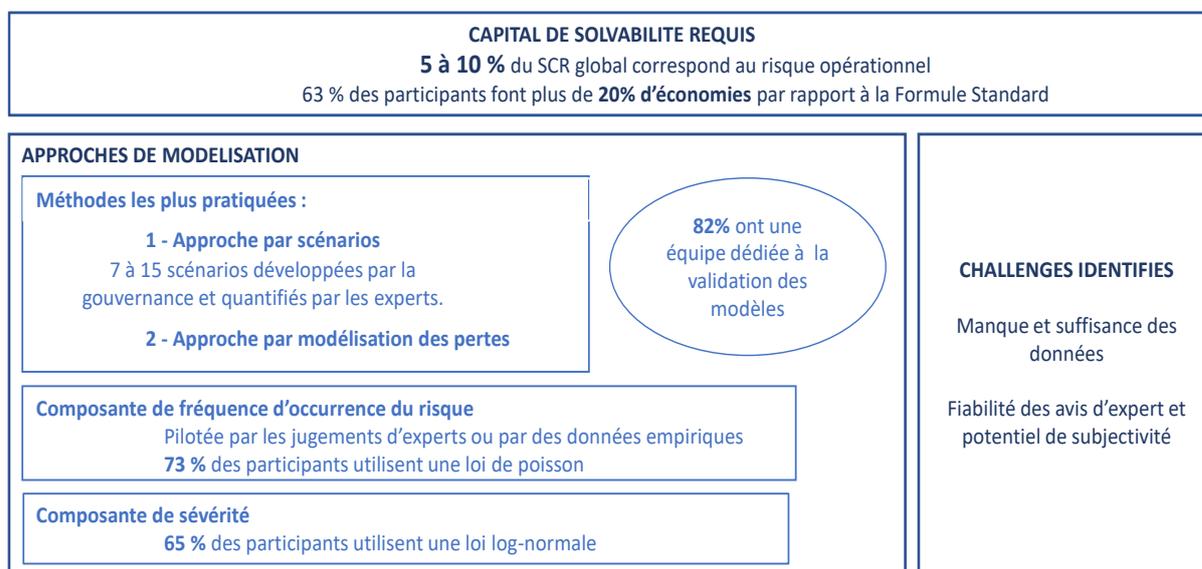
Similaire à l'approche par mesure avancée présentée précédemment dans le cadre de Bâle II, cette alternative autorise l'utilisation de méthodes résultant du modèle interne des organismes d'assurance. Là encore, les pratiques de marchés convergent vers certaines méthodes dont les plus fréquentes sont :

- L'approche basée sur des scénarios (Scenario Based Approach, SBA) : contrairement aux approches traditionnelles, l'analyse de scénario fait appel aux avis d'experts plutôt qu'aux historiques de pertes. L'approche commune consiste alors à calibrer une distribution de perte sous-jacente, basée sur les dires d'experts,
- L'approche par distribution des pertes (Loss Distribution Approach, LDA), similaire aux méthodes d'usage en tarification, cette méthode s'appuie sur un

historique de données de pertes pour identifier les distributions de pertes et de fréquences des différents risques.

Au printemps 2017, l'organisation O.R.X a mené une étude sur 17 organismes<sup>5</sup> d'assurance et de réassurance afin de mieux cerner l'éventail actuel des pratiques de quantification du capital.

La figure ci-dessous reprend succinctement les principales tendances de marché soulevées.



**Figure 8 :** Quelques chiffres sur les pratiques du marché

#### b. Approche qualitative

Dans le cadre du second pilier de la Directive, l'article 45 de Solvabilité 2 définit l'ORSA (*Own Risk and Solvency Assessment*) qui est le processus d'évaluation interne des risques et de la solvabilité (*EIRS*). Ce dernier prévoit que « Dans le cadre de son système de gestion des risques, chaque entreprise d'assurance et de réassurance procède à une évaluation interne des risques et de la solvabilité ». Cette évaluation porte au moins sur les points suivants :

- Le besoin global de solvabilité compte tenu du profil de risque spécifique, des limites approuvées de tolérance au risque et de la stratégie commerciale de l'entreprise ;
- Le respect permanent des exigences de capital et des exigences concernant les provisions techniques ;
- La mesure dans laquelle le profil de risque de l'entreprise s'écarte des hypothèses qui sous-tendent le capital de solvabilité requis.

<sup>5</sup> L'enquête a été menée sur 13 compagnies européennes et 4 américaines. Tous les organismes européens à l'exception de deux utilisent un modèle interne approuvé par l'autorité prudentielle. Un de deux restants était en attente de validation. Les organismes américains utilisent leur modèle de quantification du risque opérationnel à des fins de gouvernances ou d'allocation des capitaux.

Le processus ORSA est donc une activité interne des organismes et de leurs entités qui correspond à la volonté d'une gestion saine du risque de l'entreprise. Il s'envisage comme une évaluation interne des risques permettant à la fois d'atteindre les objectifs de croissance et de rentabilité fixés dans le plan stratégique tout en garantissant un niveau requis de solvabilité.

Plus spécifiquement, la question du risque opérationnel implique aussi les problématiques de système de gestion, de suivi et de contrôle. En effet, la crise de 2007 était la conséquence de l'échec de la gestion des risques bancaires. Cette dernière a démontré l'importance qu'il faut accorder au Pilier 2 en exposant les limites de l'approche quantitative et la nécessité de renforcer les exigences qualitatives.

L'article 44 de la directive stipule que « *Les entreprises d'assurance et de réassurance sont tenues de mettre en place un système de gestion des risques efficace, [...]* ». Le risque opérationnel est alors compris dans le périmètre de couverture d'un tel système de gestion des risques dont les objectifs sont détaillés au sein de la partie suivante.

Finalement, les deux référentiels réglementaires respectifs des banques et assurances préconisent chacune différentes approches de quantification du risque opérationnel. Bien que la réglementation bâloise ait connu une évolution récente marquante avec à l'abandon de la méthode avancée (AMA) à l'horizon 2022, la Directive Solvabilité II elle, conserve la possibilité de méthodes résultant de modèles internes.

Banques		Assurances	
Bâle II	Approche par indicateur de base	Solvabilité II	Formule Standard
	Approche Standard		
	Approche par mesure avancée		Modèle interne
Bâle III	Approche Standard unique		

**Tableau 4** : Récapitulatif des méthodes réglementaires

## 2. La typologie des risques opérationnels

Avec l'expérience, les organismes ont fait face à de nombreux risques différents. Afin d'assurer un suivi rigoureux et une maîtrise efficace de ces derniers, les entreprises ont procédé à la classification des risques. La taxonomie des risques est un ensemble complet, commun et fixe de catégories de risques utilisé au sein d'une organisation. Elle concerne toutes les catégories de risque et facilite :

- L'identification des risques,
- La bonne couverture de l'inventaire des risques,
- L'analyse comparative des risques et leur regroupement éventuel,
- Le dialogue entre les différents acteurs,
- La consolidation des différents reporting opérationnels et réglementaires.

Etant donné le spectre étendu de la définition du risque opérationnel et la difficulté à en cerner distinctement le périmètre, il est primordial de s'accorder sur une classification claire des risques opérationnels.

#### A. UNE TYPOLOGIE SUR TROIS NIVEAUX COMPLEMENTAIRES

Face à une grande diversité de risques, il est d'usage par les systèmes de gestion de risques de construire une typologie des risques de manière arborescente selon trois niveaux :

- Le **premier niveau** concerne les quatre grandes familles de risques :
  - Financiers : risques liés à l'évaluation des marchés financiers ou de gestion financière,
  - Assurances : risques liés à la souscription, la tarification ou le provisionnement technique,
  - Opérationnels : risques de pertes résultant de procédures internes, de membres du personnels, de défaillance ou d'inadéquation des systèmes ou d'évènements extérieurs,
  - Stratégiques et environnementaux : risques liés au pilotage de l'entreprise, aux risques de réputation directs, à l'environnement de l'entreprises et aux risques émergents.
- Le **niveau 2** vient définir les catégories de risques au sein de chaque famille : s'y retrouvent des catégories telles que prestataires, relations sociales, exécution de processus, système d'information, fraude interne ou fraude externe,
- Le **niveau 3** offre un degré supplémentaire de précision au sein des catégories précédentes. Ce niveau peut alors correspondre aux catégories suivantes : qualité des prestations, relations sociales, défaillance humaine, non maîtrise des évolutions du SI et accès aux données informatiques.

Selon le niveau de granularité souhaité et défini, la typologie des risques choisie par un organisme lui permet d'avoir un degré de finesse variable de la vision des risques auxquels il s'expose.

#### B. LA CLASSIFICATION DES RISQUES OPERATIONNELS

La similitude des définitions du risque opérationnel entre les réglementations permet l'application de la déclinaison du risque en sept catégories de Bâle 2 aux compagnies d'assurance. En effet, se distinguent les types d'évènements déclencheurs du risque suivants :

- **pratiques en matière d'emploi et sécurité sur le lieu de travail** : mauvais service à la clientèle, discrimination, rémunération du personnel, santé et sécurité ,
- **clients, produits et pratiques commerciales** : erreurs de vente, erreurs de tarification, opérations juridiques, opérations règlementaires ,
- **dommages aux actifs corporels** : catastrophes naturelles, actes terroristes,

- **interruptions d'activité et dysfonctionnement des systèmes** : perturbation des services publics, pannes de logiciel, pannes de matériel ,
- **exécution, livraison et gestion des processus** : mauvaise gestion du changement, erreurs relatives aux opérations, erreurs comptables, calcul des primes,
- **fraude interne** : détournement de biens (d'actifs), évasion fiscale, corruption,
- **fraude externe** : vol d'information sur les clients, dommages dus au piratage informatique, vol par un tiers.

	Exécution, livraison et gestion des processus	Clients, produits et pratiques commerciales	Fraude externe	Pratiques des employés et sécurité au travail	Fraude Interne	Dommages aux biens
Nombre de perte recensées	3 228	1 066	780	558	466	138

Figure 9 : Nombre de pertes par catégorie de risques recensées par O.R.X en 2020

La réforme de Bâle III préconisant le retour à une méthode de quantification forfaitaire, elle ne présente aucune classification des risques opérationnels. Sous Solvabilité II, aucun référentiel de catégorisation n'est donné. La classification de Bâle II présentée ci-dessus est souvent celle retenue.

D'autre part, l'exigence de la Directive Solvabilité II de contrôler l'impact des activités de sous-traitances sur le risque opérationnel implique de ne pas se limiter au périmètre de sa propre organisation. Des typologies propres à la maîtrise des activités en délégation de gestion sont donc d'usage. Le panel de risques opérationnels étant assez large, il n'est également pas rare de trouver des cartographies thématiques, par exemple sur le risque de fraude, de conformité ou les pratiques commerciales.

## PARTIE II : LA GESTION DU RISQUE OPERATIONNEL D'UNE COMPAGNIE D'ASSURANCE

Compte tenu des enjeux, les problématiques relatives aux risques opérationnels sont au centre des travaux de gestion des risques et de contrôle interne des organismes d'assurance.

Dans cette partie sont présentés les processus et les méthodes mises en place afin d'assurer la maîtrise de ces derniers.

Le dispositif de contrôle interne assure l'identification, la quantification et la maîtrise de l'ensemble des risques opérationnels auxquels une entité est soumise. Il permet d'avoir une vision exhaustive des risques opérationnels de l'organisme afin d'en cibler les risques majeurs.

Si les principes fondamentaux sont bien définis, il n'existe pas de modèle unique en matière de contrôle interne. Même si aucune règle n'épuise toute incertitude, des principes pragmatiques de « bonne conduite » peuvent être énoncés pour assurer une maîtrise consciencieuse des risques.

### Le dispositif COSO

Le référentiel COSO, défini en 1992 par le *Committee of Sponsoring Organisation of the Tread way Commission*, s'inscrit dans cette optique de contrôle des risques. Présentant la qualité d'être universel et donc exploitable pour la constitution d'un cadre homogène de management des risques au sein d'un groupe de sociétés, la méthodologie COSO est très largement répandue et se révèle adaptée pour structurer la maîtrise des risques des organismes d'assurance.

Ce dernier est régi par deux objectifs majeurs d'information et de communication. Il permet notamment aux salariés de comprendre comment leur travail est lié à celui des autres. Le dispositif comprend six composantes étroitement liées permettant de déterminer de quelle manière l'ensemble des éléments du contrôle interne participe à l'atteinte des objectifs.

Le dispositif COSO et ses composantes sont souvent représentés de manière tridimensionnelle.

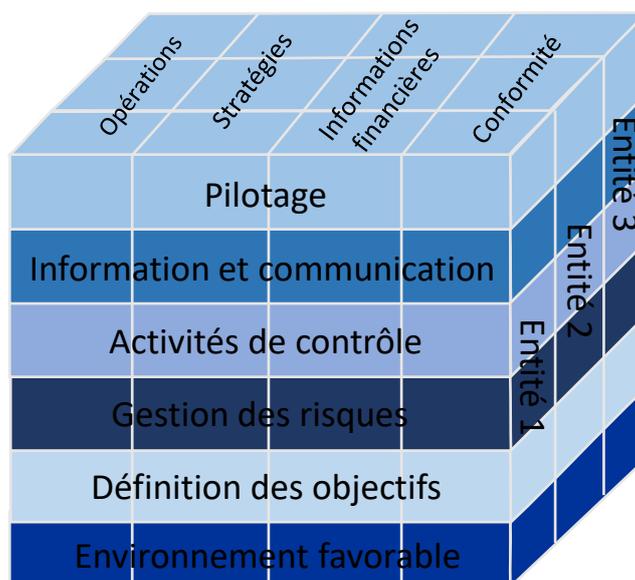


Figure 10 : Représentation tridimensionnelle du COSO

Enfin, dans ce dispositif, la maîtrise des risques par le contrôle interne est grandement réalisée au travers d'une cartographie des risques, véritable outil de suivi et de gestion.

## 1. La cartographie des risques

Une cartographie des risques est un outil permettant d'identifier, d'évaluer, de hiérarchiser et de gérer l'ensemble des risques inhérents aux activités d'une organisation. Son rôle est de mettre en avant les risques majeurs sur lesquels il est impératif d'agir au plus vite.

La démarche d'évaluation des risques a pour objectif de les classer en fonction de leur impact financier potentiel et de leur fréquence de survenance. Cette démarche repose sur les étapes suivantes :

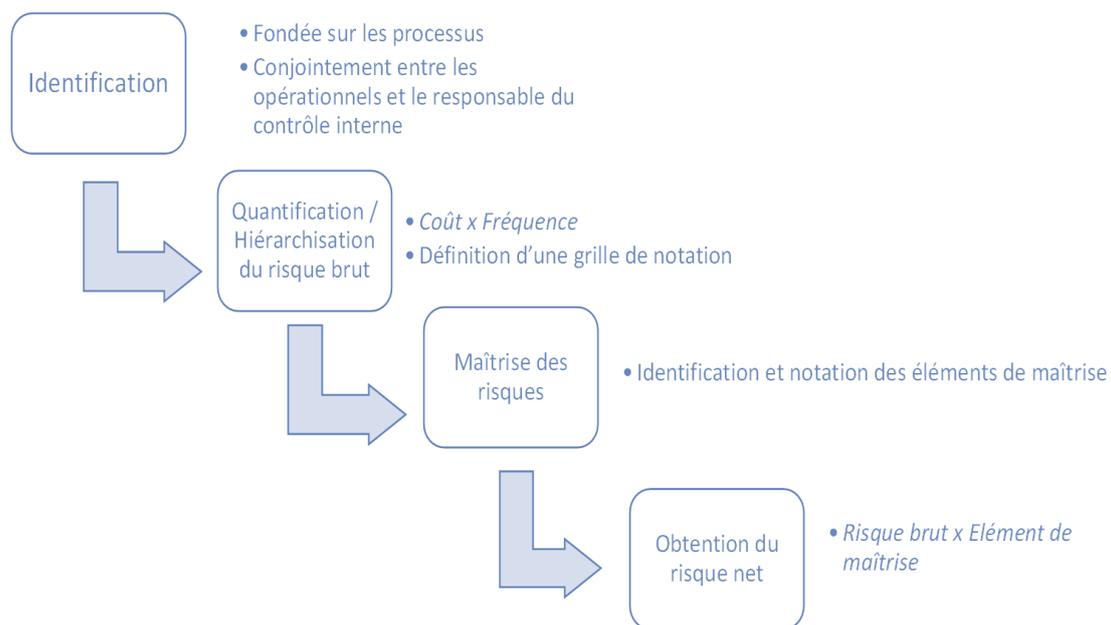


Figure 11 : Etapes construction d'une cartographie des risques

### A. IDENTIFICATION DES RISQUES

Cette étape vise à dresser un inventaire précis des risques à laquelle l'organisation est exposée dans le cadre de ses activités.

Cet état des lieux doit permettre d'identifier, de manière circonstanciée et documentée, les risques propres à l'entreprise.

Le recensement exhaustif des risques inhérents aux activités nécessite la connaissance de l'organisation et des rôles de chacun, ainsi qu'une maîtrise fine des processus mis en œuvre.

Des entretiens peuvent ainsi être menés avec les principaux responsables, à tous les niveaux de la hiérarchie. Des approches organisées permettant de s'assurer de la couverture de tous le périmètre de risques sont présentées dans la partie suivante.

Une méthode complémentaire consiste à se documenter en capitalisant sur toutes les informations internes accessibles (plan stratégique, rapports d'audit, procédures de contrôle interne...) et utiles pour appréhender les risques.

En somme, les techniques d'identification peuvent être diverses et variées. Elles peuvent s'appuyer sur l'analyse du passé, l'évaluation de la situation actuelle ou encore la projection dans l'avenir à un horizon à court et moyen termes. Elles exploitent toutes les ressources disponibles et sollicitent les équipes.

## B. LA QUANTIFICATION DU RISQUE BRUT

Deux critères sont considérés pour coter le risque brut, à savoir la fréquence et l'impact :

$$\text{Risque brut} = \text{Fréquence} \times \text{Impact}$$

Le risque net (ou résiduel) est le croisement entre le risque brut et les éléments de maîtrise du risque (ensemble des éléments mis en place dans l'objectif de contrôler les risques identifiés, les EMR) :

$$\text{Risque net} = \text{Fréquence} \times \text{Impact} \times \text{Elément de maîtrise}$$

Des échelles d'évaluation facilitent la hiérarchisation des risques et à terme, les arbitrages sur les actions à mener. Selon les recommandations de l'Institut Français de l'Audit et du Contrôle Interne (IFACI), les échelles paires et à quatre niveaux sont à privilégier.

### a. La fréquence du risque

Là où l'impact vient renseigner sur les conséquences du risque, la fréquence de survenance du risque se définit comme étant l'estimation de l'occurrence des événements pouvant déclencher le risque ou la probabilité de survenance du risque à proprement dit,

Afin d'accompagner l'expert dans son évaluation du risque, l'échelle de mesure de la fréquence doit être établie de façon à être adaptée à la structure.

Cotations	Fréquence	Élément de mesure
1	Exceptionnel	1 à 2 fois en 3 ans
2	Rare	1 fois par an
3	Probable	1 fois par mois
4	Très probable	1 fois par semaine

Tableau 5: Exemple d'échelle de cotation de la fréquence

**Points d'attentions :** La détermination d'une fréquence de risque peut se faire selon plusieurs points de vue.



### *Pour la badgeuse ?*

*Prendre en compte la fréquence à laquelle un badge est passé sur la machine ne revient pas au même qu'estimer la probabilité que la machine cumule un temps trop long par passage.*

En ce qui concerne les recommandations IFACI en matière de cotation des fréquences pour la cartographie, ces dernières sont en faveur d'une vision en fonction de la réalisation du processus. Nous verrons un peu plus loin dans le mémoire que le positionnement sur les cotations de fréquences n'aura pas les mêmes conséquences au sein d'une démarche de quantification du risque opérationnel.

#### b. Les impacts du risque

##### **Quelle serait la conséquence si le risque se concrétisait ?**

Conformément aux recommandations de l'IFACI, il est d'usage de décliner les impacts en 3 principales catégories, à savoir :

1. L'impact financier direct ou indirect, immédiat ou à terme (perte financière, hausse des coûts) ;
2. L'impact juridique (sanctions légales, responsabilités civile) ;
3. L'impact sur l'image (dégradation de l'image, atteinte à la réputation de l'organisme).

Cotations	Impact	Financier	Image/réputation ou règlementaire
1	Faible	< 10% du résultat	Attention de tiers sur des sujets sensibles
2	Significatif	10% à 50% du résultat	Communication défavorable dans les médias sur une partie de l'entreprise, au niveau local
3	Majeur	50% à 100% du résultat	Couverture médiatique plus large, mais sans effet majeur
4	Critique	> au résultat annuel	Attaque médiatique ayant des conséquences significatives sur l'image et la réputation

**Tableau 6** : Exemple d'échelle de cotation des impacts

Les impacts se distinguent alors en trois catégories différentes. Chaque risque est noté sur une échelle de niveaux pour chacun des types d'impact et le niveau de gravité retenu correspond généralement à la notation maximale obtenue parmi les trois catégories.

La cotation inhérente du risque est définie ensuite selon le croisement des cotations respectives d'impact et de fréquence.

Un exemple de matrice de chaleur pour le calcul du risque brut permettant le croisement entre les niveaux de fréquence et d'impact sera présenté au chapitre III du présent mémoire.

**Points d'attention** : Les positions quant à la vision prise pour coter les impacts doivent être claires et appréhender les champs d'exploitation de la cartographie une fois finie. Par exemple, il est important de savoir si l'impact financier est rattaché à une unique occurrence du risque ou à la perte annualisée de sa survenance.

Enfin, certains acteurs n'arrivant pas à raisonner sur les risques en faisant abstraction des éléments de maîtrise existants, cette étape de cotation du risque brut est souvent considérée comme intermédiaire. En effet, les responsables de risques préfèrent généralement raisonner sur le risque résiduel en intégrant directement les éléments de maîtrise des risques, dès les premiers travaux d'évaluation afin d'avoir une vision du risque

### C. IDENTIFICATION ET EVALUATION DES ELEMENTS DE MAITRISE

L'élément de maîtrise se définit comme le moyen existant ou à mettre en œuvre pour atténuer ou éliminer le risque. Il peut porter aussi bien sur la fréquence que sur l'impact du risque, à titre préventif ou correctif. Ainsi, à chaque risque de chaque processus est associé un ou plusieurs éléments de maîtrise et un élément de maîtrise peut s'appliquer à plusieurs risques.

Il s'agit donc là de déterminer l'efficacité de l'élément de maîtrise (EMR). De façon analogue à la détermination du risque brut, le niveau d'efficacité de l'EMR est défini selon une matrice de chaleur à partir de la relation suivante :

$$\text{Efficacité de l'EMR} = \text{Utilisation} \times \text{Impact}$$

Ainsi, le facteur utilisation renseigne sur le niveau d'utilisation de l'EMR là où l'impact vient échelonner l'efficacité de celui-ci (*l'EMR permet-il de neutraliser le risque ?*).

L'identification des éléments de maîtrise doit être documentée et appréciée à partir d'informations telles que :

- L'organisation,
- Le management et l'animation,
- La documentation,
- Les formations,
- Les activités de contrôles,
- Le reporting et le suivi d'activité.

Généralement, les catégories d'éléments de maîtrises d'un organisme se retrouvent dans la liste suivante :

1. Gouvernance,
2. Séparation des tâches,
3. Pilotage,
4. Documentations (manuels de procédures, modes opératoires),
5. Contrôles : informatiques/humains,
6. Tableaux de bord,
7. Formations des collaborateurs,
8. Délégations formalisées de pouvoirs.

Niveau	Utilisation	Niveau	Impact
1	Systematique	1	Neutralise le risque
2	Non systematique	2	Attenué le risque
3	Jamais	3	Identifie le risque
4	A mettre en œuvre		

**Tableau 7 :** Exemples d'échelles de cotation des niveaux d'utilisation et impact des EMR

Cotation	Echelle	Description
1	Systematique	Le dispositif réduit la fréquence ou l'impact à un niveau satisfaisant, le risque est pratiquement couvert.
2	Non systematique	Le dispositif est adapté mais mis en œuvre de manière partielle.
3	Jamais	Le dispositif n'est pas adapté au risque. Il ne permet pas de réduire significativement la fréquence ou l'impact.
4	A mettre en œuvre	L'élément de maîtrise et inexistant ou le dispositif pas mis en œuvre.

**Tableau 8 :** Exemple d'échelle d'appréciation des EMR

#### D. L'OBTENTION DU RISQUE NET

Finalement, le risque net représente la menace après prise en compte des mesures d'atténuation :

$$\text{Risque résiduel} = \text{Fréquence} \times \text{Impact} \times \text{EMR} = \text{Risque brut} \times \text{EMR}$$

Le poids du risque étant ainsi déterminé, cela permet une hiérarchisation des principaux risques et une priorisation des plans d'actions à établir.

Là encore, il est d'usage d'obtenir un niveau de risque résiduel à partir d'une matrice de chaleur risque brut/EMR.

Efficacité des EMR	Risque non maîtrisé	Faible	Significatif	Fort	Majeur
	Maîtrise incomplète	Faible	Significatif	Fort	Majeur
	Elément perfectible	Faible	Significatif	Significatif	Fort
	Risque maîtrisé	Faible	Faible	Faible	Faible
		Non significatif	Mineur	Significatif	Majeur
		Cotation risque brut			

**Tableau 9 :** Exemple de matrice d'obtention du risque net

Cotation	Echelle	Description
1	Risque faible	L'atteinte sur les activités de l'organisme n'est pas préoccupante, le risque est sous contrôle.
2	Risque Significatif	L'atteinte sur les objectifs de l'organisme est limitée. Des mesures doivent être améliorées mais ce n'est pas urgent.
3	Risque fort	Des actions immédiates doivent être mises en place pour limiter le risque.
4	Risque majeur	Le risque sur l'atteinte des objectifs est d'une telle ampleur que les objectifs ne seront probablement pas atteints. Des actions doivent immédiatement être mises en place et la direction doit en être avertie.

Tableau 10 : Exemple de définitions des niveaux de cotation du risque net

## 2. Complémentarité des approches *top-down* et *bottom-up*

Les démarches *top-down* et *bottom-up* sont des démarches complémentaires qui doivent être combinées et développées dans les organismes afin de couvrir au mieux l'ensemble des risques et faire vivre la cartographie.

### A. LA METHODE BOTTOM-UP

Cette approche, dite ascendante, est l'approche par la cartographie des risques. Elle consiste à faire identifier les risques par les opérationnels qui sont chargés d'exécuter quotidiennement les tâches ainsi que par les responsables de service. En pratique, cette méthode consiste à analyser de façon exhaustive et systématique les risques opérationnels et les contrôles qui leur sont liés.

#### 1ère étape : L'identification des processus

L'objectif est ici d'établir un cadre stable pour les structures organisationnelles. Un processus correspond à l'ensemble des opérations réalisées par des acteurs avec des moyens spécifiques et dans un cadre donné, à partir d'un événement déclencheur, pour aboutir à une finalité.

Le niveau de granularité de la classification des processus dépend des objectifs de la cartographie et de la taille des organisations. Il doit néanmoins être assez fin pour permettre l'identification pertinente des risques significatifs. Là où l'on pourrait choisir une segmentation par ligne métier, domaine d'activité ou encore tâche élémentaire, c'est généralement celle par processus qui est retenue pour la cartographie des risques opérationnels.

Souvent réalisée par la direction de l'organisation, la segmentation du périmètre d'analyse des risques par processus permet de renforcer l'exhaustivité des risques identifiés. En effet, une granularité des risques par processus constitue un bon compromis entre le temps passé à l'élaboration de la cartographie et la pertinence des risques identifiés. De plus, c'est le niveau d'équilibre permettant de faire converger les éléments obtenus selon les deux principales méthodes.

## *2ème étape : L'identification et la cotation des risques par processus*

L'identification vise la mise à plat des risques susceptibles de porter atteinte à la réalisation des objectifs d'un organisme, d'un processus ou d'une activité. Pour être pertinent et efficace, le référencement doit être exhaustif, propre à l'organisme et partagé par tous. L'enjeu consiste finalement à mettre en œuvre une méthodologie d'identification permettant d'atteindre ces objectifs.

Une première identification des risques est alors réalisée au cours d'entretiens menés avec les opérationnels. Comme pour le référencement des processus, celle-ci peut se faire sur la base d'un questionnaire, mais aussi de manière ouverte.

Management de l'activité opérationnelle et équipes en charge de la cartographie des risques travaillent alors à l'identification des risques par processus et à leur évaluation. En effet, un travail avec le responsable de chaque périmètre est mené dans le but de récolter un certain nombre de données sur le risque, à savoir :

- Sa description,
- Le contexte dans lequel il survient,
- Les éléments déclencheurs,
- Ses impacts
- Sa fréquence.

Enfin, la cotation des risques telle que présentée précédemment est une étape centrale puisqu'elle va permettre la concentration sur les risques majeurs et donc l'optimisation du pilotage de l'activité. Elle présente plusieurs objectifs :

1. Hiérarchiser une première fois les risques ;
2. Identifier les éléments de maîtrise qui réduisent l'occurrence du risque et ses potentielles conséquences ;
3. Hiérarchiser les risques avec la prise en compte des éléments de maîtrise et identifier les risques majeurs.

Il convient donc, comme présenté au sein de la partie II.A, de distinguer le risque brut qui mesure le risque sans aucun élément de maîtrise du risque résiduel.

### **B. LA METHODE TOP – DOWN**

À l'inverse de la précédente, cette approche consiste à partir d'une vision globale du risque identifié par la hiérarchie. L'intérêt est ici de faire ressortir les risques opérationnels majeurs de la structure. Les étapes de déroulement sont présentées au sein des sections ci-après.

#### **a. Identification des risques et leur évaluation**

Il s'agit là d'identifier les grands risques à fréquence ou impact fort, à l'échelle de la direction. C'est au cours de plusieurs entretiens que les dirigeants identifient les risques qu'ils jugent comme menaçant pour leur périmètre de responsabilité ainsi que pour l'organisme.

Les entretiens peuvent être menés à l'aide de questionnaires ouverts ou d'exercice de formalisation de scénarios afin d'accompagner les dirigeants dans la démarche d'identification des risques : « Citer les 3 principaux risques qui pourraient affecter l'entreprise ? », « Les 3 principaux risques pouvant affecter votre périmètre d'activité ? », « A quelle fréquence estimez-vous leur survenance ? ».

#### b. Rapprochement des risques avec la nomenclature et les processus

Après avoir identifié les risques du point de vue top management, il est nécessaire de les rattacher à la nomenclature des risques et processus de l'organisme. En effet, cela permettra la consolidation avec les résultats de la méthode bottom-up et la proposition in fine d'une vision exhaustive des risques.

### C. RAPPROCHEMENT DES DEUX METHODES COMPLEMENTAIRES

Les deux approches présentées précédemment permettent d'élargir au maximum l'exhaustivité des risques à cartographier. En effet, là où la première méthode va chercher un cadre organisé pour un recensement exhaustif des risques par processus, la deuxième vient compléter la démarche avec une vision « experte » en adéquation avec les préoccupations directionnelles de l'organisme.

Présentant chacune ses avantages et inconvénients, les deux approches sont finalement assez complémentaires.

	 <b>Avantages</b>	 <b>Inconvénients</b>
<b>Approche ascendante (Bottom-Up)</b>	La segmentation par processus permet une bonne appréhension des activités de l'entreprise ainsi qu'une bonne exhaustivité du recensement. Aussi, celle-ci facilite l'organisation en vue des entretiens puisqu'elle permet de cibler directement les opérationnels concernés.	Cette démarche demande beaucoup de temps en vue de tous les entretiens à mener avec chaque responsable de chaque processus (et parfois plusieurs responsables par processus).
<b>Approche descendante (Top-Down)</b>	Mise en œuvre plus légère puisque des entretiens sont moins nombreux. Cette méthode est également plus en adéquation avec les attentes de la direction.	Cette démarche est moins précise dans l'identification des risques et leur quantification

**Tableau 11** : Comparaisons des approches ascendantes et descendantes

#### a. Consolidation, prises de décision et plans d'actions

L'utilisation d'une table de référence commune en termes de typologie des risques, de processus et de cotation est nécessaire au rapprochement et à la consolidation des résultats issus des méthodes présentées précédemment. En effet, une telle uniformisation permet une analyse cohérente des résultats au global et une hiérarchisation des risques, nécessaires à la prise de décision.

Quatre types de décisions peuvent alors être prises face à un risque :

1. L'acceptation : le risque entre dans la politique de gestion des risques de l'organisme qui décide de l'accepter plutôt que de chercher à l'atténuer ou le maîtriser ,
2. La réduction : un certain nombre d'actions correctives ou préventives sont mises en place pour atténuer le risque sans pour autant le faire disparaître,
3. La suppression : la probabilité de survenance du risque est finalement nulle,
4. Le partage : certains risques peuvent être partagés, par exemple avec la sous-traitance de certaines activités (externalisation de la gestion d'une tâche afin d'en garantir les délais).

Une fois les décisions prises, celles-ci font l'objet de la définition et de la mise en plan de différents plans d'actions rattachés aux risques identifiés.

#### b. Mise en évidence des risques à modéliser

Dans l'objectif de détermination du besoin en fonds propres au regard du risque opérationnel, la cartographie peut également intervenir afin de mettre en avant les risques à modéliser. En effet, les différentes cotations brutes ou nettes des risques les classent en niveau de gravité.

### 3. La base incidents

La base incidents a pour objectif de collecter, catégoriser, évaluer et traiter les dysfonctionnements sur les processus. Elle permet la remontée d'informations nécessaire à plusieurs objectifs :

- l'analyse et la mise en œuvre d'actions correctives,
- la modélisation des risques et la quantification du besoin de fonds propres en alimentant des modèles statistiques,
- mettre à jour la cartographie des risques,
- contribuer à la mise en évidence des principaux risques de l'organisme, des incidences juridiques ou de conformité.

Ainsi, la constitution d'une base incidents permet de recenser et centraliser l'ensemble des incidents survenus de façon structurée en recensant à minima :

- la cause de l'évènement,
- la catégorie du risque opérationnel à l'origine de la perte,
- la date d'occurrence de l'évènement
- la description de l'évènement,
- le(s) impact(s),
- les actions à mettre en place, à prévoir.

#### 4. Un dispositif type de gestion des risques opérationnels

Le système de Contrôle Interne correspond donc à l'ensemble des moyens existants pour assurer la maîtrise des activités de la structure et utiliser les ressources de manière optimale.

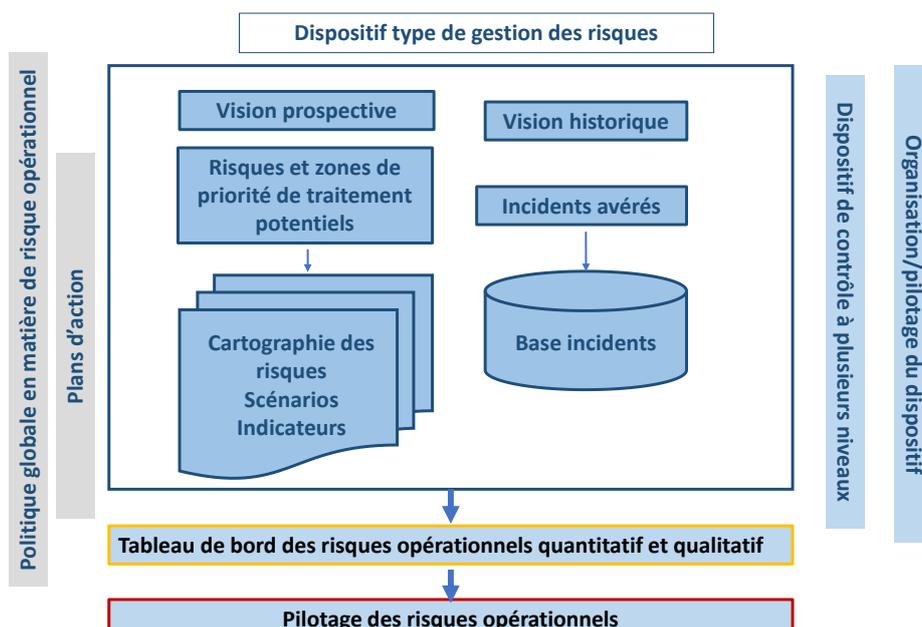


Figure 12 : Schéma d'un dispositif type de gestion des risques

Le dispositif type de gestion des risques opérationnels s'articule autour d'axes qualitatifs et quantitatifs et implique une parfaite prise en compte du passé, du présent et de l'avenir.

##### A. PILOTAGE DU DISPOSITIF

La démarche de pilotage des risques opérationnels s'articule alors autour de deux approches :

1. L'approche qualitative d'identification et d'évaluation des risques opérationnels qui permet simultanément de sensibiliser et responsabiliser les agents opérationnels ;
2. L'approche quantitative qui permet de mettre en évidence le coût des risques opérationnels et d'identifier des expositions aux risques et de consommation de fonds propre.

Assuré par le responsable du Contrôle Interne, le pilotage du dispositif est permanent et nécessite :

1. La mise en place de contrôle et d'indicateurs de second niveau. L'intérêt est ici d'identifier les situations de surcontrôle/sous-contrôle, de s'assurer de la réalisation effective des éléments de maîtrise et d'identifier les zones de risques ;
2. La mise à jour régulière des procédures et de la cartographie des risques ;
3. Le suivi des risque majeurs ;
4. L'analyse statistique de la base incidents.

## B. LA SEGMENTATION DES NIVEAUX DE CONTROLE

Le pilotage permanent du dispositif de contrôle interne s'accompagne de la mise en place rigoureuse d'un dispositif de contrôles à plusieurs niveaux :

### *1<sup>er</sup> niveau : Equipes et Management*

Les lignes métiers ont la responsabilité du contrôle des risques et de la conformité des opérations au quotidien. Les opérationnels sont responsables de la réalisation du contrôle interne. Il s'agit là d'un contrôle permanent, opérationnel et systématique.

### *2<sup>ème</sup> niveau : Fonction de contrôle interne*

La fonction « contrôle interne » doit définir et mettre en œuvre la stratégie, la gouvernance et le système de contrôle pour maîtriser les risques et s'assurer de la conformité des opérations. Là encore, le contrôle est permanent, mais indépendant des opérationnels et réalisé de façon non systématique.

### *3<sup>ème</sup> niveau : Fonction « audit interne »*

L'audit garantit de manière indépendante l'efficacité des systèmes de contrôle interne, y compris des opérations d'assurance et des contrôles de conformité. Ce contrôle est périodique, indépendant et non systématique.

## CONCLUSION DU PREMIER CHAPITRE

Le risque opérationnel fait l'objet d'un calcul d'exigence de fonds propres et certains dispositifs conséquents sont à mettre en place pour assurer sa gestion efficiente. De ce constat apparaît une frontière entre les travaux de quantification et les dispositifs de contrôle et de gestion. La construction de la cartographie des risques est un travail lourd et fastidieux qui fait appel à toutes les équipes mais qui n'est jusqu'alors pas utilisé dans le chiffrage des exigences de capitaux.

## CHAPITRE II : LA QUANTIFICATION DU RISQUE OPERATIONNEL

Il existe plusieurs cadres de référence en ce qui concerne les dispositifs de gestion des risques et de contrôle interne. Il n'en est pas vraiment de même pour les techniques de quantification du risque opérationnel.

Le chapitre I a introduit la définition du risque opérationnel, ses référentiels réglementaires ainsi que les pratiques de marché au regard de sa quantification. Aussi, ont été présentées les pratiques de gestion du risque opérationnel conformément aux normes IFACI ainsi que le protocole de construction d'une cartographie.

Bien que l'on remarque des tendances de marché à travers les modèles internes des assurances, ceux-ci ne sont pas forcément à la portée de tous, et en particulier des plus petites structures. Faisant souvent appel aux avis d'experts, ils sont d'autant plus coûteux en matière de temps et de compétences.

D'autre part, les outils de contrôle interne et de gestion des risques tels que la cartographie semblent être isolés des problématiques de quantification du risque et sont potentiellement sous exploités.

Il s'agit au sein de ce second chapitre de présenter les deux approches de quantification mises en place dans le cadre de ce mémoire. En particulier, la seconde approche a été développée dans le cadre de ce mémoire, dans l'intérêt de venir exploiter les outils de gestion des risques à des fins de quantification.

### PARTIE I : EXPLOITATION DE DONNEES HISTORIQUES

Plusieurs axes d'approches sont envisageables lorsqu'il s'agit de développer son propre modèle de quantification du risque opérationnel autour d'une base de données.

Cette partie du mémoire a pour intérêt d'introduire l'approche de quantification du risque opérationnel qui sera appliquée par la suite.

#### 1. Les différents types de données

Deux grandes catégories de bases incidents fournissent des informations utiles à la quantification du risque opérationnel.

##### A. DONNEES EXTERNES

Les données externes recensent les pertes imputables au risque opérationnel subies par d'autres organisations. Elles peuvent être obtenues d'un fournisseur tiers ou d'un groupement de données, notamment l'ORIC ou ORX<sup>6</sup>. L'accès à celles-ci reste limité et nécessite le plus souvent une contribution financière pour y avoir accès.

---

<sup>6</sup> L'ORIC et ORX sont des organisations à but non lucratif qui constituent les principaux regroupements de données sur la gestion des risques opérationnels dans les secteurs de l'assurance, de la finance, de la réassurance et de la gestion des investissements au niveau mondial.

L'intérêt de ce type de données est d'obtenir des informations sur les pertes rares, à haute sévérité. En effet, même lorsque les organismes disposent d'une base incidents complète avec leurs pertes opérationnelles des dernières années, faibles sont leurs chances que celle-ci représente des pertes peu fréquentes, mais très importantes (telles un important cas de fraude interne à plusieurs millions d'euros).

Notons deux types de bases incidents externes existantes :

- Les bases de données qui recensent toutes les pertes opérationnelles médiatisées et rendues publiques ces dernières années. Bien qu'intéressantes, il est à noter que ces bases de données ne recensent que les pertes particulièrement graves puisqu'elles ont été rendues publiques. Elles apportent un historique sur les pertes sévères, mais rares, au-delà d'un seuil de collecte. Elles ont donc un biais de troncature.
- Les données non publiques obtenues à partir d'un rassemblement des données internes des assurances. Ces bases incidents « globales » sont difficiles d'accès puisque les organismes tendent à garder ces informations confidentielles et nécessitent souvent une contribution financière.

## B. DONNEES INTERNES

Les bases de données internes sont souvent considérées comme étant la plus importante source d'information d'un modèle interne de quantification du risque opérationnel. Celles-ci sont le plus représentatives possible du profil de risque de l'organisme puisqu'elles recensent les pertes historiques. Elles sont utilisées pour les modélisations de fréquences et de sévérités.

Ces données vont être biaisées en faveur des pertes peu importantes puisque les événements extrêmes n'y seront qu'à peine représentés. Paradoxalement, seules les pertes importantes sont recensées (la perte due aux deux minutes de perdues sur le passage de M. Cohen à la machine à badge une journée dans l'année est trop faible pour être recensée). Là-encore, le seuil de collecte génère un biais de troncature qui viendra surestimer la sévérité.

## 2. Modèles théoriques

Cette partie présente le cadre théorique des méthodes entreprises par la suite dans le cadre de ce mémoire.

### A. LA VALUE AT RISK, VAR

La *Value-at-Risk*, "VaR" de niveau de risque  $\alpha \in (0,1)$  est obtenue en prenant la plus petite valeur  $t$  telle que la probabilité que la variable aléatoire de perte  $L$  soit plus grande que  $t$  soit inférieure ou égale à  $\alpha$ .

Mathématiquement parlant, la  $\text{VaR}_\alpha$  correspond au quantile de niveau  $\alpha$  associé à  $L$ , tel que :

$$\text{VaR}_\alpha(L) = \inf\{t \in \mathbb{R} \mid P(L > t) \leq \alpha\} = F_L^{-1}(1 - \alpha)$$

C'est la  $\text{VaR}_{0.5\%}$  qu'utilise la directive Solvabilité II dans sa définition du capital de solvabilité requis. Rappelons tout de même que la VaR n'est pas sous-additive et donc que l'effet de la

diversification des risques n'est pas toujours favorable : la somme des VaR calculée sur chaque risque ne sera pas forcément toujours supérieur à la VaR globale calculée sur tous les risques. Enfin, la VaR fournit un niveau de pertes qui sera dépassé  $\alpha$  cas au plus, mais ne donne aucune information sur ce qui se passe lorsque le quantile est dépassé.

Dans le cadre de ce mémoire, c'est la mesure de risque qui sera utilisée, en accord avec les pratiques réglementaires.

## B. MÉTHODE LDA « LOSS DISTRIBUTION APPROACH »

Une des approches les plus populaires des différents modèles internes sur le marché, la méthode LDA, consiste à ajuster des distributions de fréquence et de sévérité sur des données de pertes empiriques.

Les variables aléatoires de fréquence et de sévérité d'un même risque  $i$  sont supposées indépendantes.

L'analogie peut être faite avec deux lancés de dés différents, effectués l'un après l'autre.

Ainsi, le résultat du lancer du premier dé représente le nombre de pertes opérationnelles associées au risque  $i$  et le second le montant de perte ponctuel. Si le premier dé indique le nombre  $n$ , le second doit donc être lancé  $n$  fois de sorte à ce qu'il associe à chaque occurrence, un montant de perte unique. La perte respective est alors donnée par la relation suivante :

$$\ell = x_1 + x_2 + \dots + x_n = \sum_{i=1}^n x_i$$

Et la somme des pertes  $L_{i,k}$  qui à chaque risque  $i$  associe le montant de perte associé est donnée par :

$$L_{i,k} = X_1 + X_2 + \dots + X_n = \sum_{j=1}^{N_{i,k}} X_{i,k}^{(j)}$$

Où :

- $N_{i,k}$  la variable aléatoire qui à un type de risque  $(i, k)$  associe un nombre de perte,
- $X_{i,k}^{(j)}$  la variable aléatoire représentant le cout de la perte  $j$  pour le type de risque  $(i, k)$

Ainsi, pour chaque catégorie de risque opérationnel  $i$  et chaque ligne d'activité  $k$ , la démarche est reproduite et vient ajustée des lois de probabilités sur les données de fréquence et de sévérité correspondantes.

En effet, il est d'usage de segmenter le profil de risque de l'entreprise en catégories  $(i)$  et lignes d'activités  $(k)$ . Ainsi, pour les données de chaque croisement entre catégorie de risque et ligne d'activité, une distribution de perte sera définie après ajustement des lois de sévérité et de fréquence correspondantes.

Cette méthode d'approche de la distribution totale des pertes nécessite de faire un choix sur les lois de probabilités à choisir pour la fréquence et la sévérité conditionnelle pour chaque

type de risque. Les différentes lois probabilistes considérées au sein de ce mémoire sont présentées en annexe II.

Ainsi, la méthode de calibration des paramètres de lois la plus utilisée est la méthode du maximum de vraisemblance. L'objectif est alors de maximiser la fonction de vraisemblance en vue d'estimer les paramètres de la loi.

Le modèle global généralement considéré est le suivant :

- Les  $x_1, \dots, x_N$  proviennent de  $N$  réalisations de variables aléatoire indépendantes et identiquement distribuées  $X_1, \dots, X_N$ .
- La loi commune des  $X_i$  est décrite par la fonction de vraisemblance  $x \mapsto L(x, \theta_*)$  pour une certaine valeur  $\theta_* \in \Theta$ , inconnue.

On note alors :

- $F_{\theta_*}$  la fonction de répartition commune des  $X_i$ ,
- $\mathbb{P}_{\theta_*}$  la probabilité de référence,

Alors, la fonction de vraisemblance à maximiser est vue comme aléatoire, telle que :

$$\theta \mapsto \hat{\ell}_N(\theta) = \sum_{i=1}^N \log L(X_i, \theta)$$

L'utilisation de la méthode du maximum de vraisemblance afin d'estimer les paramètres des lois fait quasi consensus et il s'agit finalement, de résoudre l'aquation :

$$\frac{\delta \ln (L(X; \theta))}{\delta \theta} = 0$$

Et la valeur du paramètre obtenue par maximisation de  $\hat{\ell}_N$  est vue comme une variable aléatoire  $\hat{\theta}_N$ .

Enfin, sous certaines hypothèses de régularité, on a sous la probabilité de référence  $\mathbb{P}_{\theta_*}$ , pour  $N \rightarrow +\infty$  :

$$\hat{\theta}_N \xrightarrow[N \rightarrow +\infty]{} \theta_*$$

$$Loi[\sqrt{N}(\hat{\theta}_N - \theta_0)] \xrightarrow[N \rightarrow +\infty]{} \mathcal{N}(0, I(\theta_*)^{-1}).$$

Une fois les paramètres de lois estimés, le choix du modèle se fait selon des tests d'adéquation qui seront présentés au chapitre suivant. La construction de la distribution de pertes totales se fera ensuite pour chaque catégorie de risque par simulation de Monte-Carlo.

## PARTIE II : EXPLOITATION DES OUTILS DE GESTION DES RISQUES

Cette seconde approche propose une méthode de quantification du risque opérationnel basée exclusivement sur l'exploitation d'informations issues de la cartographie du risque, et donc des travaux du contrôle interne.

Celle-ci est mise en œuvre à travers l'outil CORAL<sup>®7</sup> construit sur le logiciel R.

### 1. Construction de la cartographie des risques opérationnels

Cette première étape de la démarche vise la mise à plat des informations à recenser au moment de l'élaboration de la cartographie des risques. En accord avec la méthodologie présentée au Chapitre I Partie II certains points ont été soulignés pour compléter le protocole à des fins de quantification du risque opérationnel.

La cartographie des risques opérationnels telle que guidée par les normes IFACI présentées au chapitre I.2 détecte, classe, analyse et mesure les risques. Elle leur associe une fréquence et un coût, discutés et définis en entretiens avec les opérationnels et les experts métiers. Il s'agit là de compléter ce protocole à des fins de quantification du risque opérationnel. L'illustration de la méthodologie sera faite au chapitre suivant, dans le cadre d'une application à un organisme d'assurance.

#### A. DEFINITION DU PERIMETRE D'INVESTIGATION

Cette première étape consiste à définir le terrain de jeu de l'exercice et les risques ciblés à prendre en compte dans la quantification. Un certain nombre de questions se posent- alors :

*La cartographie vise-t-elle l'ensemble des activités de l'organisme et de ses potentielles extensions ?*

*S'agit-il de couvrir tous les processus ou seulement les principaux ? Lesquels retenir ?*

*Les thématiques telles que celle des nouveaux risques ou des risques de conformité sont-elles à intégrer dans le périmètre ?*

*Les risques techniques, assurantiels et financiers sont-ils déjà identifiés ? Comment sont définies les frontières entre les périmètres ?*

Les réponses à ces questions qui se posent classiquement au moment de la confection d'une cartographie prennent une autre dimension quand s'ajoute la volonté de quantifier les risques derrière. En effet, il devient important ne pas quantifier plusieurs fois le même risque tout en s'assurant de l'exhaustivité du périmètre de recensement des risques.

---

<sup>7</sup> L'outil CORAL<sup>®</sup>, pour Cartographie Opérationnelle des risques ACTUELIA a été développé au sein du cabinet ACTUELIA dans le cadre de ce mémoire.

## B. MODALITE DE DEPLOIEMENT

Une fois le périmètre délimité, il s'agit de prendre une décision en ce qui concerne la modalité de déploiement la plus appropriée : méthode *Top-Down* ou *Bottom-Up* ?

Comme énoncé au sein de la partie II.2 du chapitre I, ces méthodes sont complémentaires. Il est cependant utile d'en définir l'ordre et la stratégie d'application. En effet, chaque approche présente ses avantages. Si aucune analyse n'a encore été déployée, une méthode top-down est peut-être la plus appropriée pour initier plus facilement le processus. A l'inverse, la méthode bottom-up permettra de remonter les risques jusqu'au responsable de l'activité pour consolidation et arbitrage : *à quelle maille la cartographie des risques opérationnels est-elle pertinente pour la quantification et la gouvernance ?*

Dans l'éventualité où une cartographie des risques « classique » existe déjà et qu'il s'agit seulement de la compléter pour y ajouter un objectif de quantification du capital, peut-être qu'une approche top-down en collaboration avec les administrateurs serait suffisante.

## C. EVALUATION DES RISQUES ET COTATIONS

Le choix se fait ici des échelles à mettre en place pour l'évaluation des risques. Compte tenu des caractéristiques clés d'un risque, les critères d'impact et de fréquence vont être utilisés pour coter les risques.

### a. Les fréquences

Là où IFACI recommande une vision « occurrence du processus » pour la cotation des fréquences, cette dernière ne convient pas dans le cas d'une exploitation de la cartographie en vue d'un calcul d'exigence de capital.

La prise en compte de la fréquence de réalisation du processus est pertinente et utile dans une démarche de contrôle interne. En effet, l'objectif est de mettre en place un dispositif d'atténuation et de gestion des risques. Cependant, sa prise en compte dans un objectif de quantification des pertes potentielles surestimerait démesurément le coût du risque en capital. Il est donc important de s'assurer de la « double information » sur la fréquence de chaque risque.



### Illustration avec la badguse défailante

*Le risque considéré est que la machine cumule un temps trop long par jour (deux minutes par exemple) :*

- **Prise en compte de la probabilité de survenance du processus** : le processus survient tous les jours, la fréquence de réalisation du processus est donc très forte.
- **Prise en compte de la probabilité d'occurrence du risque** : Après discussion et évaluation d'experts des performances de la machine à badge en fonction de son niveau de sollicitation, l'outil est estimé susceptible d'être défectueux deux à trois jours par an, par employé. La fréquence est donc considérablement réduite par rapport à celle de survenance du processus et sera donc cotée faible voir rare.



**En pratique**, cela se traduit par une étape supplémentaire lors des entretiens menés avec les experts métiers et les opérationnels. Il n'est pas nécessaire de définir deux échelles de cotations des fréquences différentes, mais de bien sensibiliser à la nuance existante entre les deux visions et de recenser les deux cotations, cela peut se faire en illustrant la chose avec un exemple comme celui de la badgeuse.

#### b. Cohérence entre les cotations de fréquences et d'impact

Au moment de la cotation des risques opérationnels, il est nécessaire d'avoir une vision cohérente de la fréquence et de l'impact. Si la fréquence de survenance du risque est journalière, l'impact financier associé doit correspondre à celui d'une occurrence du risque et donc à celui d'une journée.



#### **Cas d'un risque d'erreur de paiements**

*Prenons le risque d'erreur qu'un opérationnel se trompe dans le montant de la prestation due à un assuré et qu'il lui verse plus que prévu. Si la fréquence est pressentie de manière journalière (puisque des prestations sont versées tous les jours), mais que le coût lui, est annualisé, le risque sera considéré extrêmement sévère. En effet, si un impact financier est évalué à 1 000 ou 10 000 euros par an, mais qu'il est couplé à une fréquence journalière, sa perte modélisée à l'année sera surestimée.*

La sensibilisation à la cotation des impacts financiers en accord avec la position prise pour le niveau de fréquence est donc nécessaire à un tel usage de la cartographie des risques opérationnels.



**En pratique**, cela s'accompagne d'un objectif supplémentaire de sensibilisation des experts métiers lorsqu'il leur est demandé de coter les impacts financiers des risques de la cartographie. Là encore, cela peut passer par l'illustration avec des exemples. Il s'agit également de définir explicitement les échelles de coûts et de fréquences afin qu'elles soient à échelles de temporalités cohérentes.

#### c. Cotation des éléments de maîtrise et définition des ajustements

Les éléments de maîtrises se voient également attribuer un niveau de cotation lors des entretiens avec les experts. Il s'agit alors de mettre en place des niveaux d'ajustement à appliquer respectivement sur les cotations d'impact financier et/ou de fréquence, en fonction du niveau d'efficacité de l'EMR.

Une table de correspondance des ajustements à appliquer en fonction des niveaux de cotations d'EMR est donc à définir avec les experts au moment de la création de la cartographie des risques. A chaque niveau d'efficacité d'un EMR doit être associé un impact sur la fréquence du risque, ou sur son cout. Là encore, au moment de la cotation des risques avec les responsables métiers, il est important de sensibiliser à la cohérence des cotations d'EMR avec l'impact induit sur la fréquence ou la sévérité.



#### Qu'est-ce que cela donnerait dans le cas de la badgeuse?

*Considérons une fréquence de défaillance de la machine à badge cotée à un niveau « 5 – Très fréquent » correspondant à une occurrence par semaine. L'élément de maîtrise du risque renseigné est un contrôle informatique de niveau d'efficacité coté « 4 – Efficace » qui rend compte de la maîtrise globale du risque par l'organisme. La fréquence ajustée d'EMR retenue sera alors réduite de deux crans sur l'échelle de cotation des fréquences et ne correspondra plus qu'à deux occurrences par an.*

## 2. Quantification du risque opérationnel à travers l'outil CORAL®

La cartographie des risques opérationnels est donc réalisée en accord avec les recommandations énoncées précédemment. Il s'agit maintenant de passer à l'étape de quantification du risque et de calcul de l'exigence en capital.

### Définition des notations pour le risque k :

- $\lambda_{k,i}$  la fréquence correspondant au niveau i de l'échelle de cotation correspondante,
- $I_i = [\min_{k,i}; \max_{k,i}]$  l'intervalle de coûts correspondant au niveau i de l'échelle de cotation de la sévérité,
- $N_{k,j}$  la variable aléatoire représentant le nombre d'occurrence du risque par semaine j,
- $S_{k,j}$  la variable aléatoire qui, à une survenance du risque k, associe un coût,
- $X_k$  la variable aléatoire représentant le montant de perte annuelle associée au risque k,
- $\mu_k$  de cotation de l'efficacité des éléments de maîtrises rattachés au risque k.

### A. QUANTIFICATION DU RISQUE OPERATIONNEL BRUT

Intéressons-nous dans un premier temps à la quantification du risque brut, sans éléments de maîtrise.

Cette première approche de quantification du risque opérationnel consiste en une simulation des montants de pertes opérationnelles annuelles par l'outil CORAL®.

Des hypothèses de distributions des fréquences et pertes sont définies avec la gestion des risques. Pour les modélisations de fréquence, la loi de Poisson est choisie, usuelle pour modéliser ce type de phénomènes.

En ce qui concerne la sévérité, les différents niveaux d'impacts financiers tels que définis par la gestion des risques sont exprimés par des intervalles de cout. De plus, conformément aux

normes IFACI, la distribution du cout doit être régulière sur l'ensemble du seuil retenu. L'hypothèse est alors faite que pour chaque niveau d'impact financier, la distribution de sévérité suit une loi uniforme de support égal à l'intervalle donné par l'échelle de cotation. De ce fait, tous les montants contenus dans l'intervalle prédéfinis ont la même probabilité d'être tiré.

Soit  $n_i$  le nombre d'occurrences annuelles du risque définit pour le niveau  $i$  de cotation sur l'échelle des fréquences.

La fréquence d'occurrence du risque est alors définie en fonction du nombre de semaines dans l'année telle que :

$$\lambda_i = \frac{n_i}{52}$$

Dans l'approche développée dans l'outil CORAL, un certain nombre d'hypothèses ont été considérées :

- Les évènements de survenance des risques sont supposés indépendants et identiquement distribués. Ainsi, si un risque survient deux fois la même semaine, nous supposons que les occurrences sont indépendantes.
- La variable aléatoire  $N_k$  qui associe au risque  $k$  son nombre d'occurrence par semaine suit une loi de Poisson de paramètre  $\lambda_i$  usuelle pour dénombrer le nombre d'occurrence dans un intervalle de temps fixé.
- La variable aléatoire  $S_k$  qui associe un coût à chaque survenance du risque  $k$  suit une loi uniforme  $\mathcal{U}_{(min_i;max_i)}$ , En effet, conformément aux normes IFACI, la distribution du cout doit être régulière sur l'ensemble du seuil retenu. De plus, tous les montants contenus dans l'intervalle prédéfini ont ainsi la même probabilité d'être tiré.

Finalement, les différentes étapes de simulations des pertes opérationnelles se présentent comme suit :

Dans un premier temps, il s'agit de simuler la survenance du risque sur un an et donc 52 semaines.

Ainsi, pour un risque donné  $k$  de niveau de fréquence  $i$ , et pour chaque semaine  $j$  de l'année, le nombre d'occurrence du risque est simulé selon une loi de Poisson de paramètre  $\lambda_i$ .

Ensuite, pour chaque occurrence du risque  $k$  simulée, le cout de la perte opérationnelle correspondante est défini par tirage aléatoire d'un montant compris dans l'intervalle défini pour le niveau cotation de l'impact financier  $I_i$ .

Ainsi, le montant de perte opérationnelle annuelle d'un risque  $k$  est calculé comme la somme des produits de fréquence et de cout de chaque semaine de l'année :

$$X_{k,1} = \sum_{j=1}^{52} N_{k,j} * S_{k,j}$$

Où :

$N_{k,j}$  le nombre d'occurrence du risque  $k$  lors de la semaine  $j$ ,

$S_{k,j}$  le coût de la perte opérationnelle engendrée par la survenance du risque  $k$  lors de la semaine  $j$ .

La perte opérationnelle annuelle est finalement calculée comme la somme de toutes les pertes annuelles simulée pour chaque risque telle que :

$$X_1 = \sum_{i=1}^N X_{k,1} \quad \text{où } N \text{ le nombre de risques de la cartographie.}$$

Finalement, il s'agit de répéter l'opération de simulation le plus de fois possible ( 10 000 fois par exemple), afin d'avoir un échantillon suffisamment grand pour tracer une distribution empirique des montants de pertes annuelles et en définir le quantile à 99.5%.

## B. QUANTIFICATION DU RISQUE OPERATIONNEL RESIDUEL

L'outil prend alors en compte l'impact des éléments de maîtrise sur les simulations de fréquence et de coûts et donc sur la fonction de perte totale annuelle in fine. Ainsi, c'est ici que sont pris en compte les niveaux d'ajustement relatifs à la cotation des éléments de maitrises.

Les modalités de prise en compte des éléments de maitrise sur les critères d'impact financier et de fréquence des risques sont décidés avec les experts métiers en entretien.

A chaque niveau d'efficacité d'élément de maitrise est associé un ajustement respectif à appliquer au critère de fréquence et/ou d'impact financier du risque concerné.

À chaque niveau de l'échelle de cotation des éléments de maitrise est associé un ajustement  $\alpha_i$  à appliquer sur le nombre d'occurrences annuelles du risque  $n_i$  tel que :

$$n'_i = n_i - \alpha_h \text{ ou } h \in [1, H]$$

Avec  $H$  le niveau maximal d'efficacité d'un élément de maitrise.

Et la fréquence d'occurrence nette du risque est alors définie en fonction du nombre d'occurrence ajusté :

$$\lambda_i = \frac{n'_i}{52}$$

De façon analogue, à chaque niveau de l'échelle de cotation des éléments de maîtrise est associé un ajustement  $\beta_h$  à appliquer à la tranche de coût  $I_i$  du risque concerné. Ainsi, l'intervalle de coût ajusté  $I'_i$  du risque  $k$  dont l'élément de maîtrise est de niveau  $h$  est tel que :

$$I'_i = \beta_h * I_i \text{ où } h \in [1, H]$$

Avec  $H$  le niveau maximal d'efficacité d'un élément de maitrise.

Une fois les intervalles de coût et les nombres d'occurrence de risques ajustés, il s'agit de reconstruire les étapes de simulations présentées dans la partie II.b à partir de ces nouveaux paramètres.

Une application de cette approche sur la cartographie des risques opérationnels d'un organisme d'assurance est mise en pratique au sein du chapitre suivant.

## CHAPITRE III : APPLICATION A UN ORGANISME D'ASSURANCE

Au sein de cette nouvelle partie du mémoire, les méthodes théoriques présentées précédemment sont appliquées à un organisme témoin.

L'objectif est, dans un premier temps, de quantifier le risque opérationnel de l'organisme.

Pour ce faire, deux méthodes sont mises en œuvre. La première est appliquée sur deux bases de données distinctes dont les spécificités de chacune sont présentées par la suite. Il s'agit de la méthode la plus « classique » retenue dans le cadre de ce mémoire, la méthode par approche de la distribution des pertes.

La seconde méthode de quantification est celle proposée à travers l'approche CORAL®, challengeant les pratiques de marché. En effet, cette dernière a pour intérêt d'exploiter la cartographie des risques opérationnels à des fins de quantification de son SCR.

Dans ce chapitre, les informations relatives à l'organisme témoin ont été transformées pour des raisons de confidentialité : cet organisme sera désigné par le nom d'Actyam dont le chiffre d'affaires se situe entre 500 millions et un milliards d'euros. Ce dernier exerce des activités de vie et santé.

### PARTIE I : EXPLOITATION DES DONNEES ET APPROCHE PAR DISTRIBUTION DES PERTES (LDA)

Pour rappel, cette méthode s'applique à la fois :

- Aux données internes des pertes opérationnelles de l'organisme recensées dans la base incidents d'Actyam,
- Aux données de marché recensées dans la base publique fournie par l'organisation ORX.

Pour chacune des applications de la méthode se pose la question de l'incertitude liée à la faible quantité de données disponibles.

Pour les ajustements de lois de fréquence, la méthode du bootstrap paramétrique est utilisée pour approcher la loi de la statistique de test.

Afin de refléter l'incertitude des résultats liée à la faible quantité de données disponibles, une méthode d'obtention d'intervalles de confiance pour les paramètres estimés est développée.

Une première estimation de l'erreur standard du paramètre d'intérêt des lois de sévérité est d'abord calculée par bootstrap non paramétrique. La méthode dite « standard », fondée sur l'hypothèse de normalité de la loi du paramètre d'intérêt est ensuite exposée. La méthode des quantiles permettant d'obtenir des intervalles de confiance sous des hypothèses de plus en plus faibles est également mise en œuvre. L'objectif est de conclure, finalement, sur l'amplitude des intervalles obtenus.

Enfin, cette méthode aboutie sur un calcul de SCR opérationnel global après diversification des résultats obtenus par catégorie de risque.

## 1. La base incidents d'Actyam

La base incidents de l'assureur Actyam recense 383 pertes opérationnelles dont les plus anciennes datent de 2012. Pour chacune, les informations suivantes sont données :

- Le montant de la perte,
- La date de survenance de la perte,
- La catégorie du risque opérationnel considérée,
- La description du risque,
- La cause de l'occurrence du risque.

Conformément à la déclinaison des typologies de Bâle II appliquée au risque opérationnel des assureurs, les catégories de risques que l'on retrouve dans la base incidents de notre assureur sont les six suivantes :

- Défaillance du système,
- Fraude,
- Risques liés aux pratiques des employés,
- Exécution, livraison et gestion des processus,
- Clients, produits et pratiques commerciales.

Les catégories « dommages aux actifs corporels » et « Fraude externe » ne sont pas représentées dans l'historique de pertes opérationnelles de notre assureur. Elles sont donc exclues de la présente étude.

### A. STATISTIQUES DESCRIPTIVES DES DONNEES

Le tableau ci-après présentent quelques statistiques descriptives sur les nombres de pertes opérationnelles recensés par l'organisme depuis 2012.

	Risque de Fraude	Risque de processus	Risque de défaillance des systèmes	Risques clients et pratiques commerciales	Risques liés aux pratiques des employés
Nombre de pertes	53	85	137	57	51
Moyenne	6	3	5	12	2
Médiane	6	3	5	9	3
Variance	8	4	7	96	4
Minimum	1	1	2	2	0
Maximum	11	9	11	39	6

Figure 13 : Statistiques descriptives du nombre de pertes par catégorie de risque, par année de survenance

Les catégories de risques « Défaillance des systèmes » et « Risque de processus » sont les plus représentées par la base de données. S'ensuivent celles de « risque de Fraude » et « Clients et pratiques commerciales ». En effet, les deux premières catégories citées correspondant à des risques survenant en interne, il est probable qu'elles correspondent à des survenances plus accessibles à l'identification et au suivi.

Quelques indicateurs de position et de dispersion qui caractérisent les montants de pertes de toutes les catégories de risques confondus sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

Minimum	Premier quartile	Médiane	Troisième quartile	Maximum
1 000	13 488	219 780	1 847 358	9 590 600

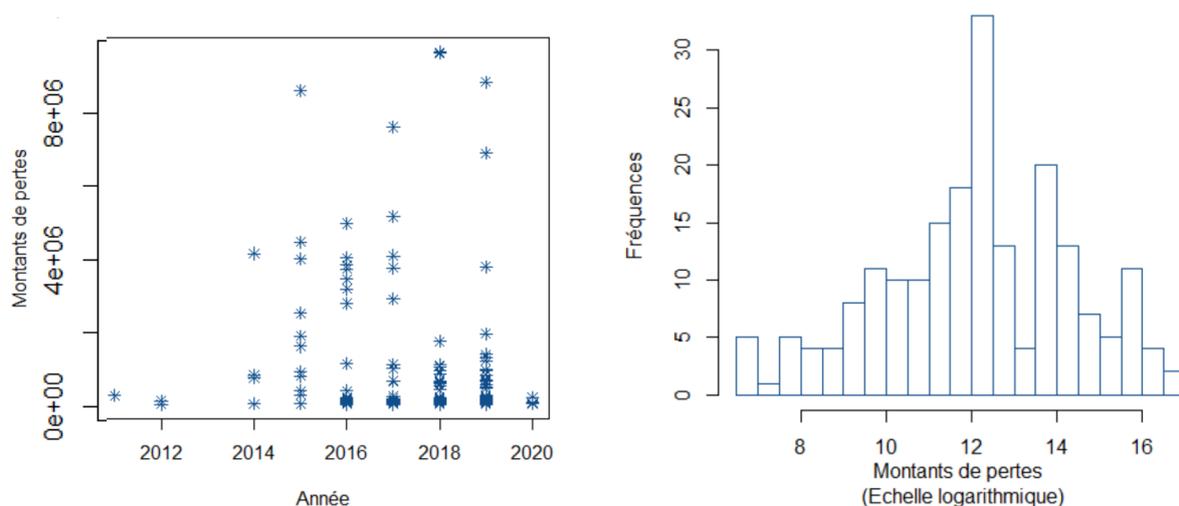
**Tableau 12** : Minimum, maximum et quantiles des données empiriques (en €)

Moyenne	Écart-type	Coefficient d'asymétrie	Coefficient d'aplatissement
1 343 951	2 104 596	1.79	5.28

**Tableau 13** : Statistiques de dispersion et de forme de la distribution empirique

Les neuf indicateurs ci-dessous sont déterminés à partir des montants de pertes empiriques recensés dans la base incidents d'Actyam.

Le coefficient d'asymétrie (5.28) est différent de zéro. Cela signifie que la distribution est asymétrique avec une queue de distribution étalée vers la droite. Le fait que cet indicateur soit positif précise que la queue de distribution est plus lourde à droite. Pour ce qui est du coefficient d'aplatissement, celui-ci est élevé et justifie la grandeur de l'écart-type qui résulte, là encore, de la présence de valeurs éloignées de la moyenne.



**Figure 14** : Tracé de la série chronologique et de l'historgramme des montants de pertes de la base interne

Le recensement des pertes opérationnelles semble de plus en plus exhaustif avec le temps. Cela pourrait éventuellement s'expliquer par le renforcement des exigences règlementaires sur la gestion des risques et le contrôle interne qui nécessitent le plus d'informations possible sur les risques.

Effectivement, il est possible de remarquer une hausse du nombre de pertes pris en compte à droite du premier graphique. De plus, certaines valeurs se distinguent nettement par leur montant : le montant des pertes recensées gagne en volatilité. Cela peut s'expliquer soit par un changement dans le profil de risque de l'organisme, soit par un suivi plus assidu des pertes opérationnelles.

## B. CALIBRAGE DES DISTRIBUTIONS SOUS-JACENTES

Sur la base des données internes, que ce soit pour la fréquence ou la sévérité, plusieurs distributions vont être calibrées pour chaque catégorie de risque. L'objectif étant d'aboutir, pour chacune d'entre elles, à une seule distribution des pertes opérationnelles et un montant équivalent au SCR opérationnel ( $\text{VaR}_{99.5\%}$ ).

### a. Calibrage des distributions de fréquence

Les deux lois paramétriques les plus couramment utilisées dans la modélisation de la fréquence sont la loi de Poisson et la loi Binomiale Négative. Là où la première est usuelle pour modéliser ce type de phénomène, la seconde a pour intérêt d'avoir une espérance différente de sa variance, contrairement à la loi de Poisson.

Ainsi, pour chacune des cinq catégories de risques pour lesquelles des données sont disponibles, nous calibrons ces deux lois avant de choisir la plus adaptée. Les estimations des paramètres pour chaque loi ont été effectuées par maximisation de la vraisemblance.

Pour la composante de fréquence, le calibrage des lois est effectué sur le nombre de survenances par année pour chaque catégorie de risque. L'estimation des paramètres des lois se fait par maximisation de la vraisemblance. Un test du Chi-Deux teste ensuite l'hypothèse nulle selon laquelle la loi de l'échantillon considéré est celle proposée. Enfin, comme les paramètres de lois ne sont pas connus à l'avance, mais estimés à partir des échantillons disponibles, les p-valeurs des tests sont calculées par bootstrap paramétrique afin d'approcher la distribution de la statistique de test par une loi du Chi-Deux qui sera présenté au sein du chapitre suivant.

#### i. Test d'adéquation du Chi-Deux et bootstrap paramétrique

Ce test s'intéresse donc à la possibilité d'adéquation de la distribution d'un caractère au sein d'une population à une loi de probabilité donnée. Dans notre cas, il s'agit de tester l'adéquation de la fréquence de survenance des risques à la loi de Poisson et à la loi binomiale négative.

Il s'agit de mesurer l'écart entre :

- La loi empirique associée à un échantillon de valeurs  $x_1, \dots, x_N \in \mathbb{R}$
- Une loi théorique associée à la variable aléatoire  $X$

Introduisons pour cela :

- La fonction de répartition empirique :

$$F_N(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbb{I}(x_i \leq x)$$

- La fonction de répartition de la loi théorique :

$$F(x) = \mathbb{P}(X \leq x)$$

Soit une loi discrète de support fini définie par  $(q_{x_k})_{x_k \in \mathcal{X}}$  avec  $\text{Card}(\mathcal{X}) = K$  et  $Y$  une variable aléatoire qui suit cette loi. Les hypothèses du test sont les suivantes :

$$\mathcal{H}_0 : \{\mathbb{P}[X = x_k] = p_{x_k}\} = (q_{x_k})_{x_k \in \mathcal{X}}$$

$$\Leftrightarrow \mathcal{L}o_i(X) = \mathcal{L}o_i(Y)$$

$$\mathcal{H}_1 : \{\mathbb{P}[X = x_k] = p_{x_k}\} \neq (q_{x_k})_{x_k \in \mathcal{X}}$$

$$\Leftrightarrow \mathcal{L}o_i(X) \neq \mathcal{L}o_i(Y)$$

### Conditions d'application du test :

L'échantillon doit être constitué de  $n$  réalisations indépendantes du caractère étudié. Soient  $c_k$  les effectifs théoriques et  $n$  l'effectif de l'échantillon. Les conditions d'utilisation de l'approximation par la loi du Chi-deux sont les suivantes :

$$c_k \geq 5 \quad \text{et} \quad n \geq 50$$

### Statistique du test :

L'indice suivant permet d'étudier l'écart entre les deux répartitions, observé et théorique, et est défini par :

$$D_N^{\chi^2}(F_N, F) = \sum_{k=1}^K \frac{(m_k - c_k)^2}{c_k}$$

Si l'hypothèse  $\mathcal{H}_0$  est vérifiée et que les conditions d'application du test sont remplies,  $D_N^{\chi^2}$  est une réalisation d'une variable aléatoire qui suit approximativement la loi du Chi-Deux à  $(v)$  degrés de liberté.

Le paramètre  $v$  indiquant le nombre de degrés de liberté correspond au nombre d'observations aléatoires indépendantes moins le nombre de contraintes imposées à ces observations. Ainsi, ce dernier est égal à :

- $v = k - 1$  si les paramètres de la loi d'ajustement sont donnés. Ainsi, aucun paramètre n'est à estimer puisque la loi d'ajustement est totalement spécifiée.
- $v = k - 1 - r$  si la loi d'ajustement comporte  $r$  paramètres inconnus. On impose de ce fait autant de contraintes supplémentaires entre les observations, diminuant ainsi le nombre de degrés de liberté.

### Décision et conclusion du test :

Pour un seuil fixé  $\alpha$ , les tables de la loi du Chi-deux à  $(K-1)$  degré de liberté fournissent une valeur critique  $c_\alpha$  telle que  $\mathbb{P}\{\chi^2(K-1) \leq c_\alpha\} = 1 - \alpha$ . Nous prendrons ensuite notre décision selon les règles suivantes :

$$\begin{cases} \text{si } D_N^{\chi^2}(F_N, F) < c_\alpha, & \text{On ne rejette pas } \mathcal{H}_0, \\ \text{si } D_N^{\chi^2}(F_N, F) \geq c_\alpha, & \text{On rejette } \mathcal{H}_0 \text{ au profit de } \mathcal{H}_1. \end{cases}$$

Cependant, la distance du chi-deux  $D_N^{\chi^2}$  ne mesure pas vraiment la distance entre la fonction de répartition empirique et la théorique, mais plutôt celle entre la fonction de répartition empirique et la fonction de répartition théorique dont le paramètre d'intérêt est estimé sur l'échantillon lui-même.

Soit  $\theta$  le paramètre d'intérêt de la loi théorique considérée et  $\hat{\theta}$  sa valeur estimée à partir de l'échantillon de données.

Finalement, la comparaison ne se fait pas entre  $F_N$  et  $F = F_\theta$  mais entre  $F_N$  et  $F = F_{\hat{\theta}}$  de loi de densité décrite par la fonction de vraisemblance  $x \mapsto L(x, \hat{\theta})$  dont le paramètre est estimé à partir des données  $x_1, \dots, x_N$ .

La loi de  $D_N(F_N, F)$  n'est donc pas directement accessible. Pour pallier à ce problème, une approche par bootstrap paramétrique de la distribution de cette variable aléatoire a été mise en place pour calculer la p-valeur des tests du Chi-deux et approcher la loi de  $D_N(F_N, F)$  par une loi du Chi-Deux.

Ainsi :

- $\theta$  est approché par  $\hat{\theta}$  et pour un nombre donné  $M$  de simulations,
- pour chaque  $1 \leq m \leq M$ , on simule  $M$  variables aléatoires indépendantes et identiquement distribuées  $X_1^m, \dots, X_N^m$  selon la loi de densité  $x \mapsto L(x, \hat{\theta})$
- $\hat{F}_N^1, \dots, \hat{F}_N^M$  sont calculées, telles que :

$$\hat{F}_N^m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbb{I}(X_i^m \leq x)$$

D'après la loi des grands nombres,  $\hat{\theta} \approx \theta$  et l'on obtient l'approximation suivante :

$$\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \phi(\hat{F}_N^m, \hat{\theta}) \approx \mathbb{E}_\theta[\phi(\hat{F}_N, \theta)]$$

## ii. Résultats des ajustements de fréquence par catégorie de risque

La démarche est ici présentée en détail pour le risque de défaillance des systèmes. Les résultats par catégories de risques sont présentés par la suite. Le détail de ces derniers est disponible en annexe III.

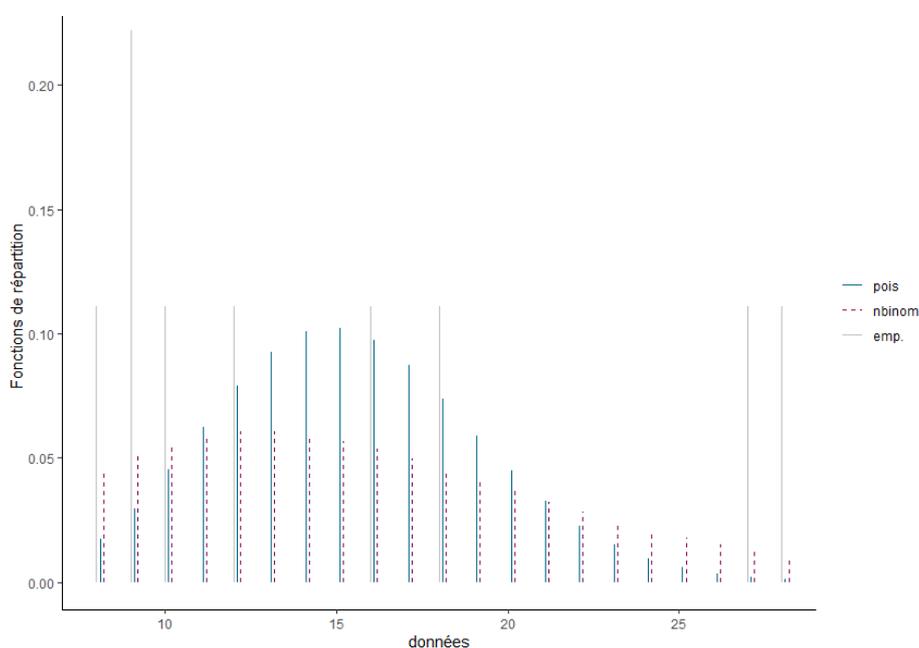
### *Risque de défaillance des systèmes*

Le tableau ci-après reprend les paramètres obtenus suite aux calibrages des lois de Poisson et binomiale négative sur les nombres de pertes par année du risque « défaillance des systèmes ». Le premier paramètre correspond à  $\hat{\lambda}$  pour la loi de Poisson et à  $\hat{p}$  pour la

binomiale négative. Le second paramètre, définit exclusivement pour la loi binomiale négative, correspond à  $\hat{p}$ .

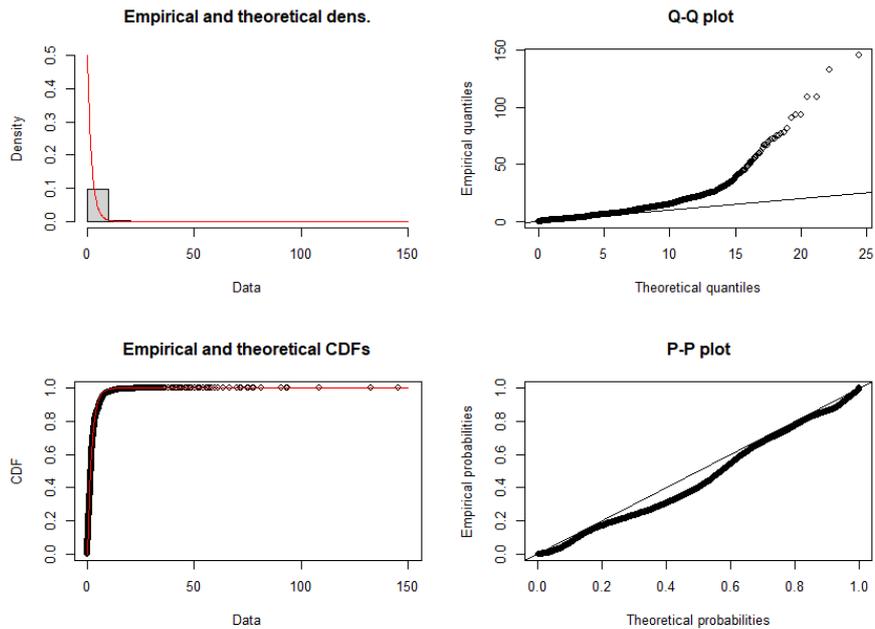
Risques liés à la défaillance des systèmes	Loi de Poisson	Loi Binomiale Négative
Premier paramètre	15.22	6.8
Second paramètre	-	0.31
P-valeur du test de Chi- deux	97.03%	62.3%

Que ce soit pour la loi de Poisson ou la binomiale négative, après validation des conditions d'application du test, l'hypothèse  $\mathcal{H}_0$  n'est pas rejetée à l'issue du test du Chi-Deux sur les ajustements de lois, pour un niveau de risque de première espèce fixé de 5%. Le graphique ci-après reprend les tracés de l'histogramme des données avec les distributions théoriques considérées.

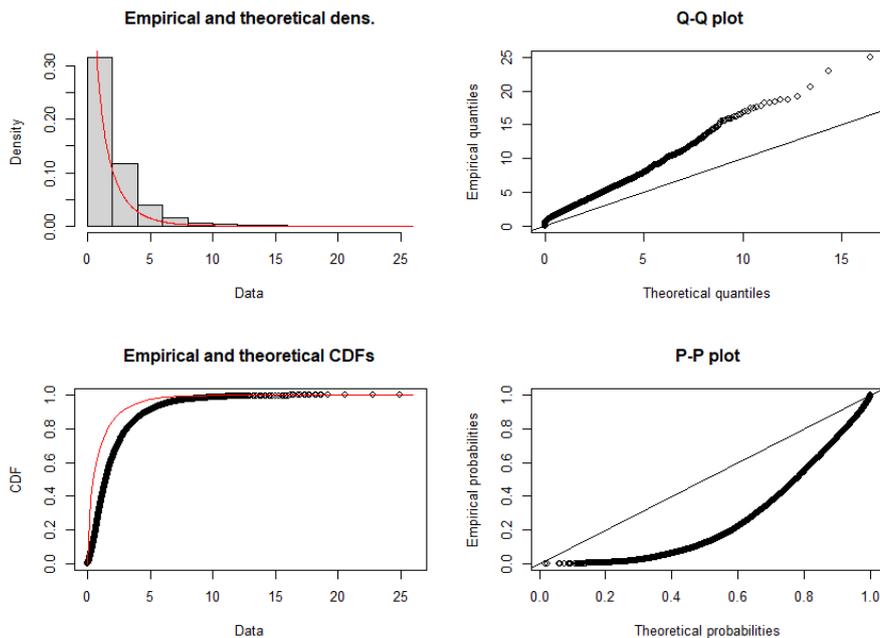


**Graphique 1 :** Ajustements de fréquence pour le risque de Défaillance des systèmes

Enfin, afin d'illustrer l'incertitude issue du calcul des p-valeurs de test, les tracés ci-après illustrent la comparaison graphique entre la loi de la statistique de test pour chaque ajustement et sa loi théorique du Chi-Deux correspondante.



**Graphique 2 :** Comparaison graphique avec une loi du Chi-Deux pour l'ajustement à une loi de Poisson



**Graphique 3 :** Comparaison graphique avec une loi du Chi-Deux pour une loi binomiale négative

À l'issue des résultats du test d'adéquation et des examens graphiques des ajustements, c'est la loi de Poisson qui est retenue pour la modélisation de la fréquence de survenance annuelle des pertes relatives au risque de « Défaillance des systèmes ». En effet, bien que pour cette dernière, la distribution de la statistique de test approchée par bootstrap ne soit pas identique à celle d'une loi de Chi Deux à 2 degrés de liberté, ses résultats sont au global plus satisfaisants que ceux obtenus pour la binomiale négative.

## Résultats

Le tableau ci-dessous reprend pour chaque catégorie de risque, la loi de fréquence retenue à l'issue des ajustements. À l'exception de la catégorie de risques « liés aux pratiques des employés » pour laquelle la loi binomiale négative a été retenue, toutes les autres fréquences seront modélisées par une loi de poisson.

	Loi retenue
Risque de Défaillance des systèmes	$\mathcal{P}(15.22)$
Risque de Fraude	$\mathcal{P}(5.89)$
Risque Clients, produits et pratiques commerciales	$\mathcal{P}(6.33)$
Risque d'exécution, livraison et gestion des processus	$\mathcal{P}(9.44)$
Risque lié aux pratiques des employés	$\mathcal{NB}(29.5,0.9)$

Tableau 14 : Récapitulatif des lois de fréquences retenues par catégorie de risque pour la base Actyam

Les graphiques des ajustements de fréquence et de la comparaison de la distribution de la loi de leur statistique de test avec une loi du Chi-Deux sont présentés en annexe III,, par catégorie de risque.

### b. Calibrage des distributions de sévérité

Pour chaque catégorie de risque, une modélisation par les lois de Weibull, Gamma et Log-Normale ont été envisagées (la présentation théorique de ces distributions est disponible en annexe II).

Pour chaque catégorie, les paramètres de chacune des distributions sont estimés par la méthode du maximum de vraisemblance.

Des analyses et des comparaisons sur graphiques (QQ-plot et fonctions de répartition) ont été réalisées dans un premier temps. Puis, différents tests de qualité d'ajustement ont été menés, à savoir, le test de Kolmogorov-Smirnov, de Cramer-von Mises et d'Anderson-Darling.

Les paramètres de chaque distribution étant eux-mêmes estimés à partir de l'échantillon des données, les lois des statistiques de test considérées ne sont pas réellement connues. Comme pour les ajustements de fréquence, les fonctions de répartition des statistiques de tests ont été approchées par *bootstrap* paramétrique afin de réduire l'impact de l'ajustement des paramètres de lois sur les p-valeurs des tests.

Réaliser ces trois tests a permis de renforcer le choix de la loi pour l'ajustement aux données. Présentant chacun une approche différente dans leur mesure de la qualité d'ajustement (le tests d'Anderson-Darling accordant plus d'importance à l'ajustement au niveau de la queue de distribution par exemple), les faiblesses de l'un sont compensées par les forces des autres.

i. Mesures de la qualité d'ajustement

Après un premier examen graphique de comparaison des fonctions de répartition et des fonctions quantiles des distributions théoriques et empiriques, les tests statistiques sont plus précis et permettent de valider le choix des modèles.

Pour cela, plusieurs distances sont considérées pour mesurer l'écart entre la loi empirique et une loi théorique choisie.

	Formule de mesure de l'écart	Formule effective
Distance de Kolmogorov-Smirnov	$D_N^{KS}(F_N, F) = \sup_{x \in \mathbb{R}}  F_N(x) - F(x) $	$\max_{1 \leq i \leq N} \left[ F(x_{(i)}) - \frac{(i-1)}{N}; \frac{i}{N} - F(x_{(i)}) \right]$
Distance de Cramér-von Mises	$D_N^{CM}(F_N, F) = N \int_{-\infty}^{+\infty}  F_N(x) - F(x) ^2 dF(x)$	$\frac{1}{12N} + \sum_{i=1}^N \left[ \frac{2i-1}{2N} - F(x_{(i)}) \right]^2$
Distance d'Anderson-Darling	$D_N^{AD}(F_N, F) = N \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{ F_N(x) - F(x) ^2}{F(x)(1-F(x))} dF(x)$	$-N - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (2i-1) \log[F(x_{(i)})(1-F(x_{(N+1-i)}))]$

Tableau 15 : Mesures de l'écart des fonctions de répartition et leur formule effective

*Tests statistiques pour la qualité d'ajustement*

Soient  $x_1, x_2, \dots, x_N$  notre échantillon de N réalisations de variables aléatoires indépendantes et identiquement distribuées  $X_1, \dots, X_N$ , de loi commune inconnue  $\mathbb{P}_\theta$ . Soit F la fonction de répartition théorique d'une loi continue choisie.

Les hypothèses du test sont alors les suivantes :

$$\mathcal{H}_0 : \text{La loi } \mathbb{P}_x \text{ a pour fonction de répartition } F$$

$$\mathcal{H}_1 : \text{La fonction de répartition } F \text{ n'est pas celle de la loi } \mathbb{P}_x$$

Dans ce cadre, la fonction de répartition empirique des  $(x_i)_{i \in \mathbb{N}}$ ,  $F_N$  est vue comme une fonction aléatoire  $\widehat{F}_N$  et l'écart entre  $\widehat{F}_N$  et F (selon la distance considérée) est une variable aléatoire  $D_N(\widehat{F}_N, F)$ . Nous avons alors :

$$\widehat{F}_N(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbb{I}(X_i \leq x)$$

En remplaçant  $F_N$  par  $\widehat{F}_N$  sa fonction de répartition effective, on obtient alors la valeur observée de la variable aléatoire  $D_N$ , donnée respectivement pour chaque distance dans le tableau 10 ci-dessus.

On travaille alors avec la quantité  $D_N(F_N, F)$ , modélisée par la variable aléatoire  $D_N(\widehat{F}_N, F)$  et l'on calcule la p-valeur du test  $\mathcal{p}$ , telle que :

$$\mathcal{p} = \mathbb{P}[D_N(\widehat{F}_N, F) > D_N(\widehat{F}_N, F)^{\text{obs}}]$$

Où  $D_N(\widehat{F}_N, F)^{\text{obs}} = D_N(F_N, F)$ .

Enfin, si la p-valeur est plus grande qu'un niveau de risque  $\alpha = 5\%$ , on ne rejette par l'hypothèse nulle. Si au contraire, cette dernière est plus petite que le niveau de risque, on rejette  $\mathcal{H}_0$  au profit  $\mathcal{H}_1$ . Le niveau de risque  $\alpha$  correspond au risque de première espèce, c'est-à-dire au risque de rejeter  $\mathcal{H}_0$  alors qu'elle est vraie.

Selon la mesure de l'écart entre les fonctions de répartition choisie, la fonction de répartition  $F_N$  est remplacée par son approximation empirique  $\widehat{F}_N$ , aboutissant aux formules effectives présentées dans le tableau 10. Les valeurs critiques peuvent ensuite être calculées pour chacune des mesures d'écart choisies.

Comme c'était le cas pour les ajustements de loi sur les données de fréquence, les paramètres de lois théoriques sont inconnus et estimés sur les échantillons à disposition. La loi de la statistique de test, pour chacun des tests envisagés, n'est donc pas directement accessible.

Les fonctions de répartitions des statistiques de tests ont donc, là encore, été approchées par *bootstrap* paramétrique afin de réduire l'impact de l'ajustement des paramètres de lois sur les p-valeurs des tests.

Afin de refléter l'incertitude liée à la faible quantité de données disponibles, un calcul d'intervalles de confiance par la méthode du bootstrap a été appliqué pour chaque ajustement de loi aux données de sévérité.

## ii. Obtention d'intervalles de confiance par la méthode du bootstrap non paramétrique

Avant de présenter les différents résultats d'ajustements sur les données de sévérité, cette partie présente succinctement la méthode appliquée permettant d'obtenir des intervalles de confiance pour les montants de sinistres. En effet, les données sont peu nombreuses par catégories de risque opérationnel. Le but est de modéliser les fréquences et les montants des sinistres par des lois de probabilité, puis d'en déduire une perte par une relation telle que Coûts x Fréquence. Pour ce faire, il convient de déterminer les lois sous-jacentes et d'en estimer les paramètres. C'est ce qui a été fait en ce qui concerne les données de fréquence et ce qui s'apprête à être présenté pour les données de sévérité. Or, du fait du peu de données disponibles, il est clair qu'une certaine imprécision va se retrouver dans l'estimation des paramètres de lois et les modèles ainsi bâtis y sont extrêmement sensibles. De ce fait, la méthode ici présentée cherche à apprécier le degré d'incertitude afin d'obtenir la meilleure vision possible du risque sous-jacent à partir des données à disposition.

### *Présentation de la méthode du bootstrap*

Il s'agit là de déterminer un intervalle de confiance non pas pour une loi totalement connue, mais plutôt, une fois une loi choisie pour modéliser la sévérité, déterminer le degré d'imprécision dû à l'erreur d'estimation des paramètres sous-jacents. C'est au bootstrap non paramétrique que nous aurons recours et l'intérêt est porté ici à l'incertitude provenant de la loi modélisant les montants de sinistres.

Soit  $(X_1, \dots, X_n)$  un n-échantillon indépendant et identiquement distribué d'une variable aléatoire X de fonction de répartition F et  $(x_1, \dots, x_n)$  une de ses réalisations.

Soit  $\theta$  le paramètre d'intérêt et  $\widehat{\theta}(x_1, \dots, x_n)$  un estimateur de  $\theta$ .

Soit  $\widehat{F}_n$  la fonction de répartition de l'échantillon  $(x_1, \dots, x_n)$  considéré. La variance de  $\widehat{\theta}$  est alors donnée par l'expression suivante :

$$\mathbb{V}_F(\widehat{\theta}) = \int \left[ \widehat{\theta}(y_1, \dots, y_n) - \mathbb{E}_F(\widehat{\theta}(y_1, \dots, y_n)) \right]^2 dF(y_1) \dots dF(y_n)$$

$$\mathbb{E}_F \left( \hat{\theta}(y_1, \dots, y_n) \right) = \int \hat{\theta}(y_1, \dots, y_n) dF(y_1) \dots dF(y_n)$$

Or, d'après le théorème fondamental de la statistique, nous avons que la fonction de répartition empirique  $\hat{F}_n$  converge uniformément vers la fonction de répartition  $F$ , telle que :

$$\mathbb{P} \left( \lim_n || \hat{F}_n - F ||_{\infty} = 0 \right) = 1$$

On obtient alors la variance dite bootstrap de l'estimateur telle que :

$$\mathbb{V}_{BOOT}(\hat{\theta}) = \int \left[ \hat{\theta}(y_1, \dots, y_n) - \mathbb{E}_{\hat{F}_n} \left( \hat{\theta}(y_1, \dots, y_n) \right) \right]^2 d\hat{F}_1(y_1) \dots d\hat{F}_n(y_n)$$

À ce stade, il est quasiment impossible d'avoir  $\mathbb{V}_{BOOT}(\hat{\theta})$  de manière analytique : les méthodes de Monte-Carlo sont donc utilisées.

#### *Construction de l'échantillon Bootstrap et Méthode de Monte-Carlo*

Il s'agit dans un premier temps de construire un B échantillon de taille n à partir de l'échantillon de départ. Pour cela, des tirages aléatoires avec remise dans l'échantillon initial où tous les éléments se voient attribuer la probabilité uniforme  $\frac{1}{n}$  sont effectués.

À chaque itération est donc obtenu un échantillon  $(x_1^*, \dots, x_n^*)$  ne contenant que des éléments de l'échantillon de départ. Pour chacun de ces échantillons, une estimation  $\hat{\theta}^*$  de  $\hat{\theta}$  est calculée et, à la fin de la procédure, B valeurs bootstrap de  $\hat{\theta}$  sont calculées.

Le résultat suivant est alors obtenu :

$$\mathbb{V}_{BOOT}^B(\hat{\theta}) = \frac{1}{B-1} \sum_{b=1}^B [\hat{\theta}^*(b) - \hat{\theta}^*(\cdot)]^2$$

Où :

$\hat{\theta}^*(b)$  l'estimation de  $\hat{\theta}$  par l'échantillon b et  $\hat{\theta}^*(\cdot) = \sum_{b=1}^B \frac{\hat{\theta}^*(b)}{B}$  la moyenne des estimations de chaque échantillon bootstrap.

Finalement, d'après la loi des grands nombres, nous avons que :

$$\mathbb{V}_{BOOT}^B \xrightarrow{B \rightarrow \infty} \mathbb{V}_{BOOT}$$

Et l'approximation de l'erreur standard de  $\hat{\theta}$  est estimée par l'écart-type de l'échantillon bootstrap tel que :

$$s.e.^{(B)}_{BOOT}(\hat{\theta}) = \sqrt{\sum_{b=1}^B \frac{[\hat{\theta}^*(b) - \hat{\theta}^*(\cdot)]^2}{B-1}} = \sqrt{\mathbb{V}_{BOOT}^B(\hat{\theta})}.$$

#### *Échantillon bootstrap des montants de sinistres*

Les paramètres des lois considérées pour les ajustements sont estimés par la méthode du maximum de vraisemblance. Pour obtenir un échantillon bootstrap de ces derniers, un rééchantillonnage est effectué sur l'échantillon disponible et, pour chaque nouvel échantillon, une nouvelle estimation du paramètre de la loi de sévérité retenue est effectuée.

### *Obtention d'intervalles de confiance Bootstrap standard*

La première hypothèse que l'on pourrait faire serait de supposer que le paramètre d'intérêt suit une loi Normale d'espérance la « vraie » valeur du paramètre  $\theta$  et d'écart-type l'erreur standard telle qu'elle a été estimée précédemment, soit  $\sigma = s.e_{BOOT}^{(B)}(\hat{\theta})$ .

Par un calcul trivial, l'intervalle de confiance symétrique pour  $\theta$  de niveau  $1 - \alpha$  est donné par :

$$[\hat{\theta} + z_{\alpha/2} \cdot \sigma ; \hat{\theta} - z_{\alpha/2} \cdot \sigma]$$

Où  $z_{\alpha/2}$  représente le quantile d'ordre  $\alpha/2$  de la loi Normale centrée réduite.

### *Obtention d'intervalles de confiance par la méthode des quantiles*

Cette méthode, outre le fait qu'elle ne repose sur aucune hypothèse particulière, a l'avantage d'être extrêmement simple à mettre en œuvre. Le principe est alors de retenir comme intervalle de confiance de notre paramètre d'intérêt un intervalle de confiance empirique du B-échantillon bootstrap de  $\hat{\theta}$ . L'expression de l'intervalle de confiance de niveau  $1 - \alpha$  est alors la suivante :

$$[F_{BOOT}^{-1}\left(\frac{\alpha}{2}\right); F_{BOOT}^{-1}\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)]$$

Lorsque l'hypothèse de normalité du paragraphe précédent est vérifiée, les deux intervalles de confiance obtenus sont identiques. L'intérêt de cette méthode est que l'intervalle obtenu demeure le « bon » sous l'hypothèse qu'il existe une fonction monotone croissante  $f$  telle que  $f(\hat{\theta})$  soit distribuée selon une loi normale d'espérance  $f(\theta)$  et de variance 1.

Partant de cette hypothèse et en effectuant un calcul analogue à celui de la méthode du bootstrap standard, la formule suivante de l'intervalle de confiance est obtenue :

$$\mathbb{P}\left[f(\hat{\theta}) + z_{\alpha/2} < f(\theta) < f(\hat{\theta}) - z_{\alpha/2}\right] = 1 - \alpha$$

Comme en général,  $f$  n'est pas connue, le recours aux méthodes bootstrap est approprié. Le résultat suivant avec les notations usuelles est finalement obtenu :

$$\mathbb{P}\left[F_{BOOT}^{-1}\left(\frac{\alpha}{2}\right) < \theta < F_{BOOT}^{-1}\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)\right] = 1 - \alpha$$

Ainsi, sous l'hypothèse de l'existence d'une certaine transformation permettant de se ramener à une loi normale, la méthode des quantiles nous donne bien le bon intervalle de confiance. L'intérêt est alors qu'il n'est pas nécessaire de connaître l'expression d'une telle transformation, mais simplement d'en supposer l'existence. Cette alternative permettant alors de travailler avec une hypothèse moins contraignante que dans le paragraphe précédent.

En pratique, après avoir généré  $B$  estimateurs bootstrap et les avoir rangé par ordre croissant, on prendra comme bornes de l'intervalle de confiance de niveau  $1 - \alpha$  la  $\left(\left[\frac{\alpha \cdot B}{2}\right] + 1\right)^{\text{ième}}$  valeur et la  $\left(\left[1 - \frac{\alpha}{2}\right] \cdot B\right)^{\text{ième}}$  valeur où  $[\ ]$  désigne la partie entière.

### iii. Résultats des ajustements

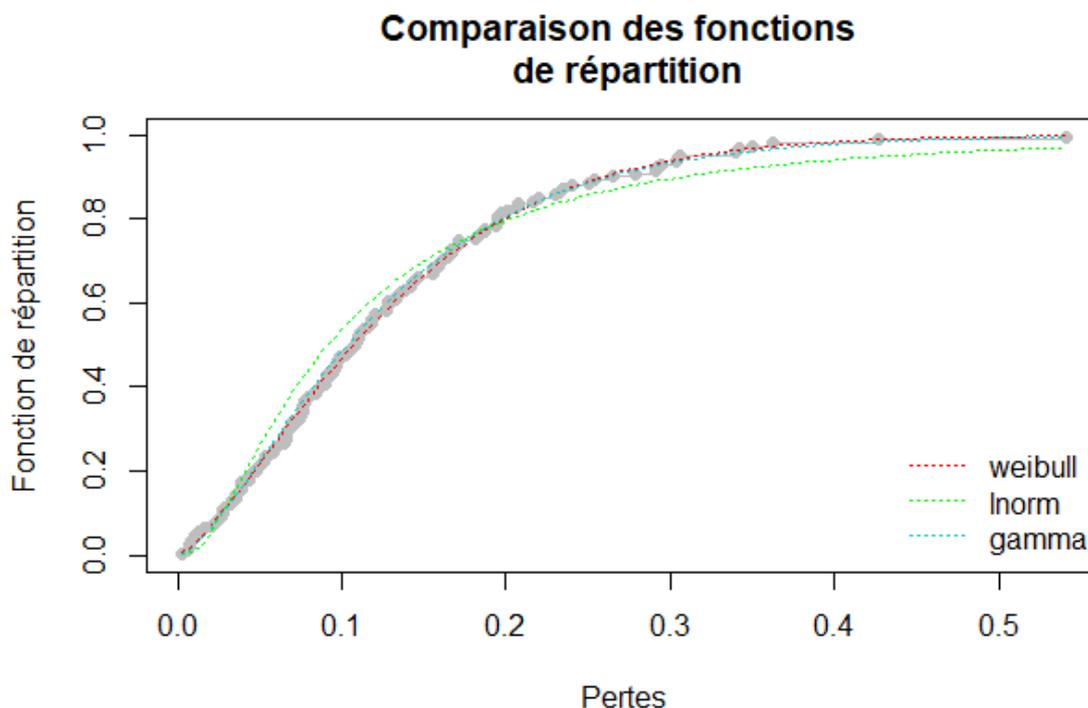
Cette partie du mémoire présente les différentes lois de sévérité retenues pour chaque catégorie de risque. La réflexion, l'analyse et les résultats sont détaillés pour la catégorie des risques de « défaillance du système ». Un tableau récapitulatif énonce enfin les différentes lois retenues pour chaque catégorie. Le détail des ajustements de loi et des mesures d'incertitude autour des paramètres estimés pour les autres catégories de risques est disponible en annexe IV.

#### Risque de défaillance du système

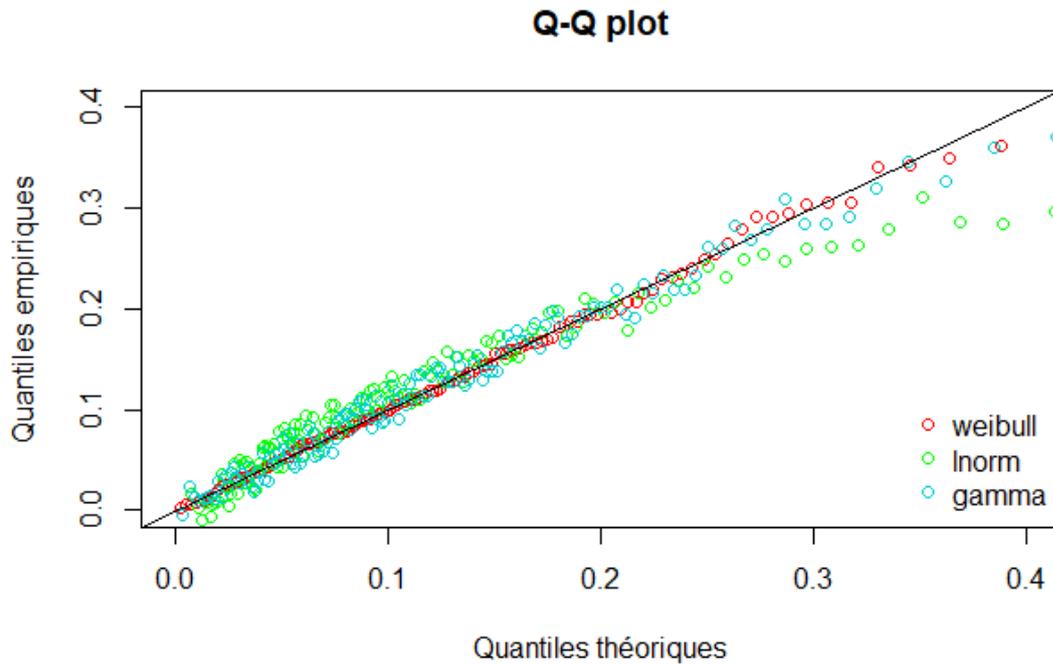
Risque de défaillance des systèmes	Loi de Weibull	Loi log-normale	Loi Gamma
Paramètres de la distribution	$\mathcal{W} ( 1.36 ; 0.14 )$	$\mathcal{Ln}( -2.41 ; 0.92 )$	$\mathcal{G} ( 1.7 ; 14.2 )$
Test de Kolmogorov-Smirnov	p-valeur = 92.4%	p-valeur = 0.1%	p-valeur = 67.5%
Test d'Anderson-Darling	p-valeur = 84.5%	p-valeur = 0.01%	p-valeur = 39.5%
Test de Cramér von Mises	p-valeur = 89.3%	p-valeur = 0.04%	p-valeur = 51.5%

À l'issue des tests d'adéquation, les hypothèses de loi Weibull et de loi Gamma ne sont pas rejetées, à un niveau de risque de première espèce de 5%. L'hypothèse nulle de distribution de la sévérité selon une loi log-normale est-elle rejetée au profit de  $\mathcal{H}_1$ .

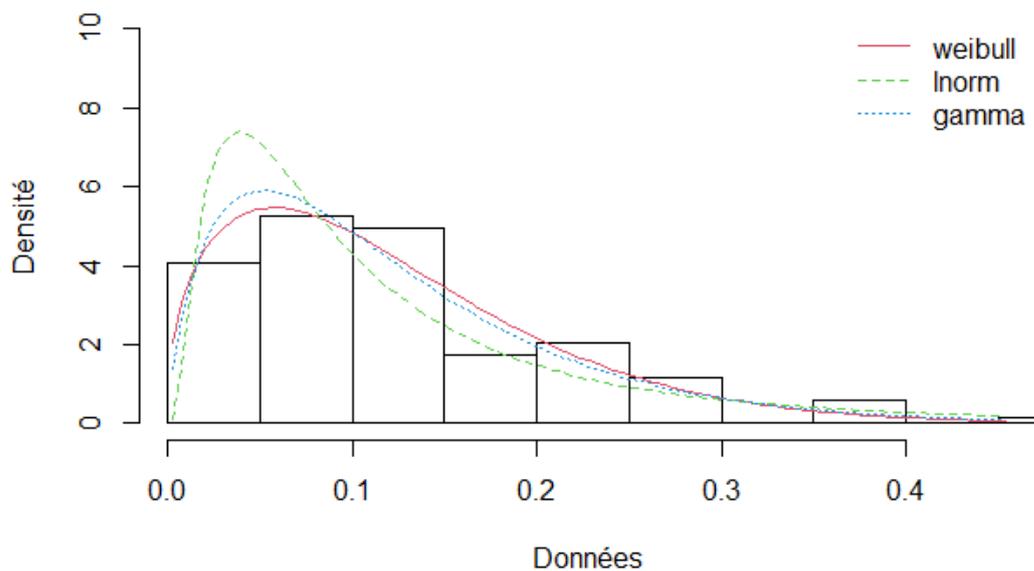
Les tracés des ajustements de lois sur les données de sévérité du risque de défaillance des systèmes sont présentés ci-dessous :



**Graphique 4** : Comparaison des fonctions de répartition pour le risque de défaillance des systèmes



**Graphique 5 :** Comparaison des QQ-plot pour le risque de défaillance des systèmes



**Graphique 6 :** Comparaison des fonctions des densités théoriques et empiriques pour le risque de défaillance des systèmes

Après analyse des p-valeurs de tests obtenus à l'issue des tests d'ajustements et examen graphique des ajustements de lois sur les données empiriques de ce risque, la distribution de Weibull est sélectionnée pour modéliser la sévérité du risque de défaillance des systèmes.

Afin d'évaluer l'incertitude liée à cet ajustement, due au nombre de données et à l'impact de l'estimation des paramètres de la loi sur l'échantillon de départ, les intervalles de confiance par la méthode du bootstrap standard ainsi que par la méthode des quantiles sont calculés.

Ainsi, le premier intervalle de confiance à 95% pour le paramètre de forme de la loi de Weibull obtenu avec la méthode standard du bootstrap est le suivant :

$$IC_{95\%}^{standard} = [1.18 ; 1.54]$$

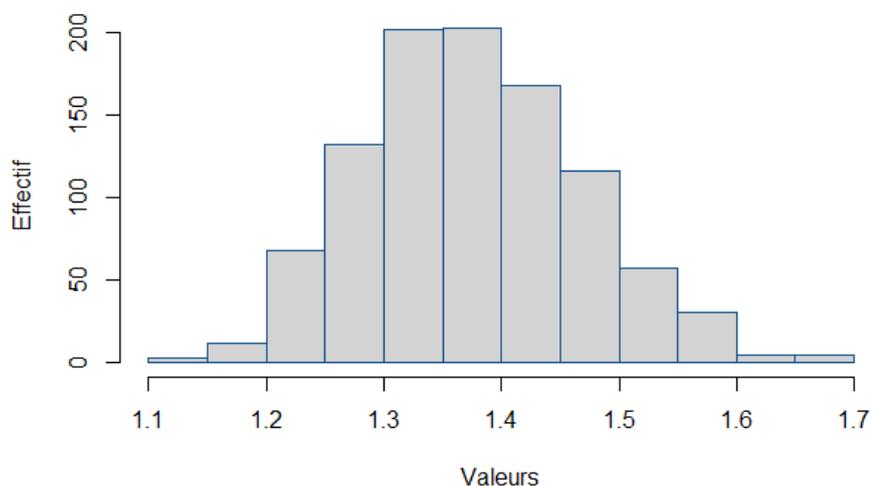
À l'issue de la mise en œuvre de la méthode des quantiles, l'intervalle de confiance pour le même paramètre, à niveau de confiance de 95% est alors :

$$IC_{95\%}^{quantiles} = [1.21 ; 1.56]$$

Ici, le gain de précision entre les deux méthodes est assez minime, avec une étendue de 0.36 pour le premier intervalle et de 0.34 pour le second. Cela se justifie dans la mesure où la distribution de l'estimateur du paramètre d'échelle de la loi de Weibull est assez proche d'une loi normale.

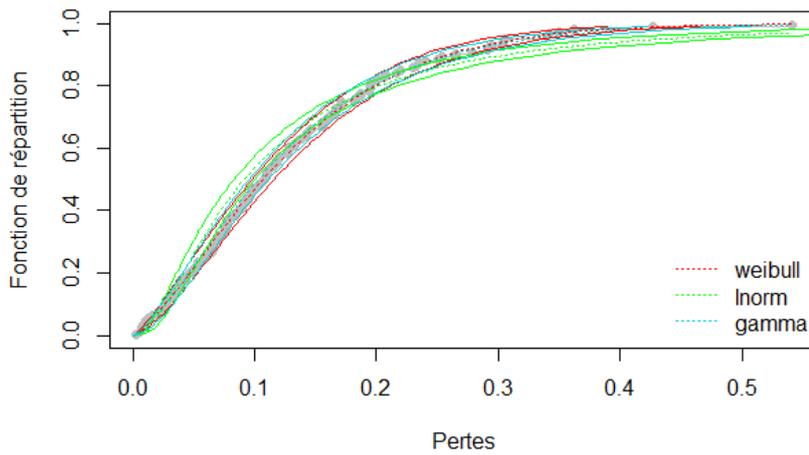
En effet, dans la majorité des cas, les estimateurs des lois de probabilités utilisés pour modéliser les montants des sinistres sont asymptotiquement normaux. Ainsi, plus la taille de l'échantillon est importante, la distribution du paramètre d'intérêt se rapproche de plus en plus d'une distribution gaussienne. Ceci peut cependant s'avérer loin de la réalité lorsque la « taille critique » n'est pas atteinte.

La représentation graphique de la distribution empirique du paramètre d'intérêt de la loi de Weibull pour le risque de défaillance des systèmes est présentée ci-dessous :

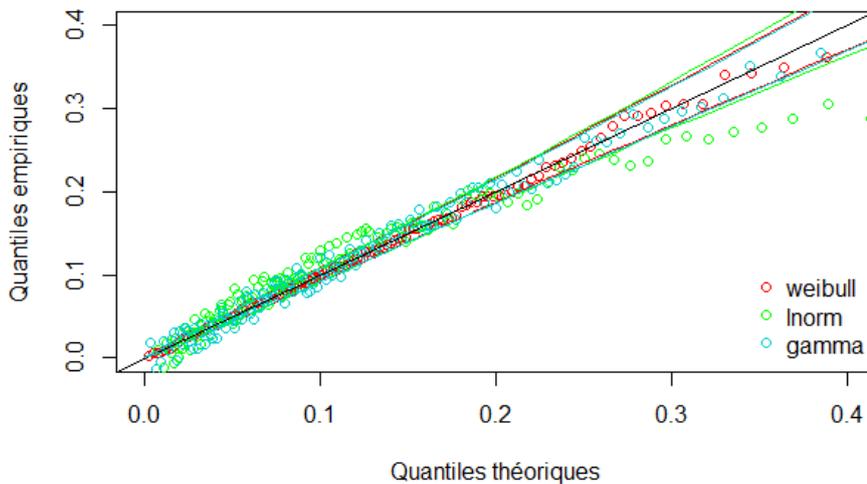


Effectivement, la distribution de l'estimateur du paramètre de forme de la loi de sévérité retenue est graphiquement assez proche de celle d'une loi normale et c'est ce qui explique la similitude des deux intervalles de confiance obtenue par les deux méthodes présentées.

À des fins d'illustration de l'incertitude présente autour des estimations de paramètres, les enveloppes de confiance à un seuil de 95% sont tracées sur les graphiques de comparaison des quantiles-quantiles ainsi que des fonctions de répartition ci-dessous.



**Graphique 7 :** Comparaison des fonctions de répartition et enveloppes de confiance



**Graphique 8 :** Comparaison des graphiques quantiles-quantiles et enveloppes de confiance

### *Loi de sévérité retenue par catégorie de risque opérationnel*

Le tableau ci-après reprend les différentes lois retenues pour modéliser la sévérité de chaque catégorie de risque opérationnel.

	Loi retenue
Risque de Défaillance des systèmes	$\mathcal{W} ( 1.36 ; 0.14 )$
Risque de Fraude	$\mathcal{G} ( 0.61 ; 1.07 )$
Risque Clients, produits et pratiques commerciales	$\mathcal{L}n( -0.44 ; 1.34)$
Risque d'exécution, livraison et gestion des processus	$\mathcal{G} ( 0.54 ; 6.26 )$
Risque lié aux pratiques des employés	$\mathcal{L}n( -2.98 ; 1.5 )$

**Tableau 16 :** Tableau des lois de sévérité retenues par catégorie de risque pour les données d'Actyam

Les comparaisons graphiques des fonctions de répartition et les graphiques quantiles-quantiles montrent qu'en ce qui concerne les queues de distribution, les ajustements ne sont pas parfaits et des écarts perceptibles persistent. Toutefois, il ne s'agit pas dans ce mémoire de réduire ces écarts et les résultats positifs aux tests d'adéquation sont considérés satisfaisants.

c. Modélisations des distributions des pertes et calcul du SCR opérationnel par catégorie de risque

Le tableau ci-dessous récapitule les lois sélectionnées pour modéliser la distribution des pertes de chaque catégorie de risque.

	Risque de défaillance des systèmes	Risque de processus	Risque de fraude	Risque clients	Risque Employés
Loi retenue pour modéliser la fréquence	$\mathcal{P}(15.22)$	$\mathcal{P}(9.44)$	$\mathcal{P}(5.89)$	$\mathcal{P}(6.33)$	$\mathcal{NB}(29.5, 0.9)$
Loi retenue pour modéliser la sévérité	$\mathcal{W}(1.36; 0.14)$	$\mathcal{G}(0.54; 6.26)$	$\mathcal{G}(0.61; 1.07)$	$\mathcal{Ln}(-0.44; 1.34)$	$\mathcal{Ln}(-2.98; 1.5)$

**Tableau 17** : Récapitulatif des distributions de fréquence et de coût pour chaque catégorie de risque

Les distributions de fréquence et de sévérité des pertes opérationnelles pour chacun des risques sont désormais définies et paramétrées. Il s'agit maintenant de les combiner afin d'obtenir la fonction des pertes totales annuelles. La méthode de simulation de Monte-Carlo est appliquée pour cette dernière étape de la modélisation.

Ainsi, pour chaque catégorie de risque, 10 000 simulations ont été réalisées. Pour chacune d'entre elles, un nombre  $N$  d'occurrences de risque est défini par la loi de fréquence associée au risque. Puis, pour chaque simulation,  $N$  montants sont définis indépendamment, à partir de la loi de sévérité.

Pour chaque simulation, la somme de ces montants correspond finalement à une perte annuelle possible pour la catégorie de risque en question. Cette démarche est répétée un grand nombre de fois, 100 000 dans notre cas, pour obtenir un grand échantillon de la distribution des pertes annuelles pour la catégorie de risque spécifique.

Les résultats des simulations par catégorie de risque sont présentés ci-après avec les calculs des quantiles des queues de distributions.

	Risque de défaillance des systèmes	Risque de processus	Risque de fraude	Risque clients	Risque Employés
SCR <sub>op</sub>	8 185 799	6 957 907	27 804 708	138 603 361	8 961 529

**Tableau 18** : SCR opérationnel par catégorie de risque

À l'issue de l'application de l'approche par distribution des pertes, le risque Clients paraît être le plus couteux en termes de SCR opérationnel, suivi par le risque de Fraude. Les risques de ces catégories étant les plus susceptibles d'impacter gravement l'organisme en raison de leur impact sur la réputation, ce résultat ne paraît pas incohérent.

Cependant, le principal inconvénient de la méthode de Monte-Carlo réside dans le fait que les distributions sous-jacentes doivent être intégralement connues. Étant donné que les lois de sévérité et de fréquences sont ajustées sur des données historiques, peu exhaustives et présentant un certain nombre de biais, les résultats simulations de Monte-Carlo peuvent donc être instables dans leurs estimations des quantiles de distributions à queues lourdes. De ce fait, les calculs d'intervalles de confiance pour chaque estimation de paramètre de lois de sévérité ont l'avantage d'illustrer et d'indiquer le degré d'incertitude obtenu, ce qui permet de relativiser l'importance du montant de perte annuelle obtenue par catégorie de risque.

## C. DIVERSIFICATION DES RISQUES ET CALCUL DE LA CHARGE TOTALE

Une fois les risques modélisés se posent la question de comment prendre en compte les liens entre eux.

Il s'agit donc ici de calculer le risque opérationnel diversifié en tenant compte du  $SCR_{op}$  calculé pour chaque catégorie de risque. Pour ce faire, deux méthodes sont développées :

- La méthode additive,
- La méthode d'agrégation par matrice de corrélation,

### a. La méthode additive

Cette méthode, comme son nom l'indique, vient sommer les  $SCR_{op}$  obtenus pour chaque catégorie de risque opérationnel. Celle-ci suppose alors une corrélation parfaite entre les risques.

Le  $SCR_{op}$  global finalement obtenu est de 190 513 k€.

### b. La méthode d'agrégation par matrice de corrélation

Sommer toutes les  $VaR_{99,5\%}$  individuellement calculées implique une corrélation parfaite entre les différentes catégories. Un effet de diversification à travers le calcul d'une matrice de corrélation peut également être envisagé.

La formule de diversification du risque est alors la suivante :

$$RO_{global}^{diversifié} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n RO_i RO_j \text{Corrélation}(RO_i RO_j)}$$

Où :

- $RO_i$ , le capital pour risque opérationnel calculé pour le risque opérationnel de catégorie  $i$
- $Corrélation(RO_i RO_j)$  la mesure de corrélation considérée pour calculer la dépendance entre deux catégories de risque.

La dépendance entre les risques peut être appréhendée selon différentes mesures. Pour chaque couple de risque, le coefficient de Pearson, le taux de Kendall et le rho de Spearman seront évalués.

Afin d'effectuer les calculs ci-après, les montants de pertes par catégories de risques ont été regroupés par année de survenance afin d'avoir le même nombre d'observations.

### Le coefficient de Pearson

Le coefficient de corrélation de Pearson  $r$  est le plus commun en ce qui concerne la mesure du degré de relation entre des variables linéairement liées. Sa formule de calcul est la suivante :

$$r_{XY} = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}}$$

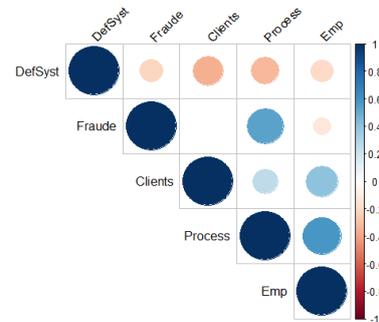
Où :

- $r_{XY}$  le coefficient de corrélation de Pearson entre X et Y
- $n$  le nombre d'observations,
- $x_i$  et  $y_i$  les valeurs de la  $i$ -ème observation, respectivement pour X et Y.

Une telle mesure de corrélation est linéaire et apprécie la corrélation entre la valeur des observations.

Pour les cinq catégories de risques représentées par la base incidents d'Actyam, la matrice de corrélation de Pearson obtenue est la suivante :

	Fraude	DefSyst	Processus	Clients	Employés
Fraude	1.000	-0.213	0.534	0.004	-0.125
DefSyst	-0.213	1.000	-0.32	0.359	1.197
Processus	0.534	-0.32	1.000	0.259	0.586
Clients	0.004	0.359	0.259	1.000	0.409
Employés	-0.125	1.197	0.586	0.409	1.000



### Le rhô de Spearman

À l'inverse du coefficient de Pearson, le rhô de Spearman est un indicateur qui donne une mesure de corrélation entre les rangs des observations. Celui-ci ne pose aucune hypothèse sur la distribution des données et sa formule de calcul est la suivante :

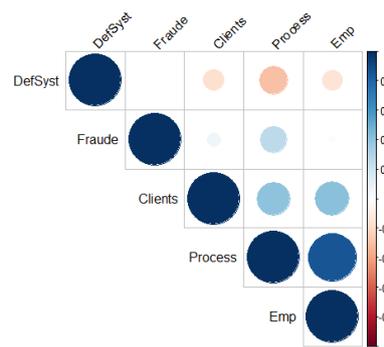
$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

Où :

- $\rho$  le Rhô de Spearman ,
- $d_i$  la différence de rangs des variables respectives,
- $n$  le nombre d'observations.

Pour les cinq catégories de risques représentées par la base incidents d'Actyam, les rhô de Spearman pour chaque couple de catégories de risque sont les suivants :

	Fraude	DefSyst	Processus	Clients	Employés
Fraude	1.000	0.000	0.267	0.067	0.017
DefSyst	0.00	1.000	-0.300	-0.167	-0.150
Processus	0.267	-0.300	1.000	0.400	0.850
Clients	0.067	-0.167	0.400	1.000	0.417
Employés	0.017	-0.150	0.850	0.417	1.000



### Le taux de Kendall

Enfin, le taux de Kendall mesure la force de la dépendance entre deux variables et sa formule est donnée ci-dessous :

$$\tau = \frac{n_c - n_d}{\frac{1}{2}n(n - 1)}$$

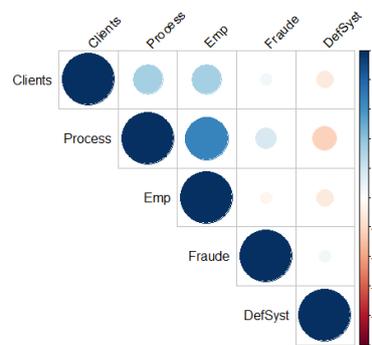
Où :

- $n_c$  le nombre de paires concordantes,
- $n_d$  le nombre de paires discordantes,
- $n$  le nombre d'observations.

Les paires d'observations  $(x_i, y_i)$  sont dites concordantes si  $x_i < x_j$  et  $y_i < y_j$  ou si  $x_i > x_j$  et  $y_i > y_j$ . Elles sont dites discordantes si  $x_i < x_j$  et  $y_i > y_j$  ou si  $x_i > x_j$  et  $y_i < y_j$ .

Enfin, les résultats des mesures de corrélation avec le taux de Kendall sont présentés ci-dessous :

	Fraude	DefSyst	Processus	Clients	Employés
Fraude	1.000	0.056	0.167	0.056	-0.056
DefSyst	0.00	1.000	-0.222	-0.111	-0.111
Processus	0.167	-0.222	1.000	0.333	0.667
Clients	0.056	-0.111	0.333	1.000	0.333
Employés	-0.056	-0.111	0.667	0.333	1.000



### Risque opérationnel global diversifié

Après calcul des différentes mesures de corrélation et application de la formule de diversification de la Formule Standard, les différents SCR<sub>op</sub> diversifiés obtenus sont présentés ci-après. Le résultat d'une corrélation parfaite entre les risques correspond à celui obtenu par la méthode additive. La mesure de risque opérationnel global a également été calculée sous l'hypothèse de risques totalement indépendants.

	Coefficient de Pearson	Rhô de Spearman	Taux de Kendall	Corrélation parfaite	Risques indépendants	SCR Formule Standard
VaR <sub>99,5%</sub>	144 586 325	149 275 824	148 089 167	190 513 304	142 055 349	23 800 000

Le résultat pour les risques totalement indépendant est assez proche de celui obtenu par agrégation selon le coefficient de Pearson. Globalement, l'impact de la méthode d'agrégation

choisie est systématiquement à la baisse avec des économies engendrées allant de 21% à 25% par rapport au  $SCR_{op}$  obtenu sous l'hypothèse de corrélation parfaite entre les différentes catégories de risques.

## 2. La base incidents publique du consortium ORX

Cette partie consiste à reproduire la même étude que précédemment, à partir de la base incidents fournies par O.R.X recensant des pertes opérationnelles d'organismes différents, sur les vingt dernières années.

### A. PRESENTATION DE LA BASE DE DONNEES

Les données de la base ORX présentent un historique de 476 pertes opérationnelles médiatisées, subies par près de 150 organismes d'assurances différents, partout dans le monde. Les données recensées sont arrêtées au 24 Juin 2020 et recensent des pertes subies au cours des vingt dernières années.

#### a. Les biais potentiels des données

Il est important de souligner que les données externes présentent un certain nombre de biais, parmi lesquels :

Le **biais de sélection** : la base ORX recense des pertes opérationnelles qui ont été médiatisées. Elle ne comprend donc que des pertes très importantes. Ce biais est une conséquence directe de la nature de la base utilisée et est difficile à corriger.

Le **biais de collecte** : les données proviennent de différentes sources et peuvent être relatives à des seuils de recensement différents.

Le **biais d'échelle** : les pertes proviennent de différentes assurances de tailles différentes (actifs, revenus, nombre d'employés...) et de pays différents. Les montants de pertes ont ainsi été normalisés par le chiffre d'affaires de l'organisme auxquels ils sont rattachés puis rapportés à un montant de chiffre d'affaires de base d'un million d'euros. Le parti pris quant à la localisation des différents organismes a été de ne conserver que les pertes opérationnelles d'organismes dont les référentiels de travail sont similaires.

Le **biais de contrôle** : les pertes proviennent à chaque fois d'organismes dont les dispositifs de contrôle interne sont variables. Bien que les données soient nettes d'éléments de maîtrise, aucune variable estimant le niveau de contrôle de l'organisme n'est disponible et ce biais est difficilement quantifiable. Nous faisons l'hypothèse que les niveaux de contrôles sont homogènes parmi les organismes.

## b. Présentation de la base de données

La base de données publiques O.R.X présente un grand nombre de variables pour chaque perte opérationnelle enregistrée, parmi lesquelles :

- L'organisme ayant subi la perte,
- Le code référence de l'histoire publiée,
- Le secteur d'activité de l'organisme,
- La localité de l'organisme,
- Le montant de la perte opérationnelle concernée en dollars américains,
- ...

La liste complète des variables présentées dans la base de données est disponible en annexe VI de présent mémoire.

Dans l'objectif que les résultats de l'exploitation de cette base de données soient comparables à ceux obtenus avec les précédentes approches, les positions suivantes ont été retenues :

- La catégorisation des pertes opérationnelles choisie est faite selon les sept catégories du niveau 1 de Bâle II, identique à celle appliquée pour la base incidents d'Actyam.
- Les montants de pertes ont été corrigés de l'inflation en vision « as-if » dont le processus est détaillé en annexe V,
- Lorsque les dates d'occurrence des risques opérationnelles n'étaient pas renseignées, leur date de découverte a été retenue. Dans le cas où celle-ci n'était pas disponible non plus, la date de première médiatisation a été retenue,
- Dans l'intérêt de pouvoir comparer les montants de pertes opérationnelles, ceux-ci ont été normalisés par rapport au chiffre d'affaires des organismes au 31.12.2019.

La modélisation des sévérités se fait donc finalement sur des données observées exprimées en pourcentages du chiffre d'affaires.

## c. Statistiques descriptives des données

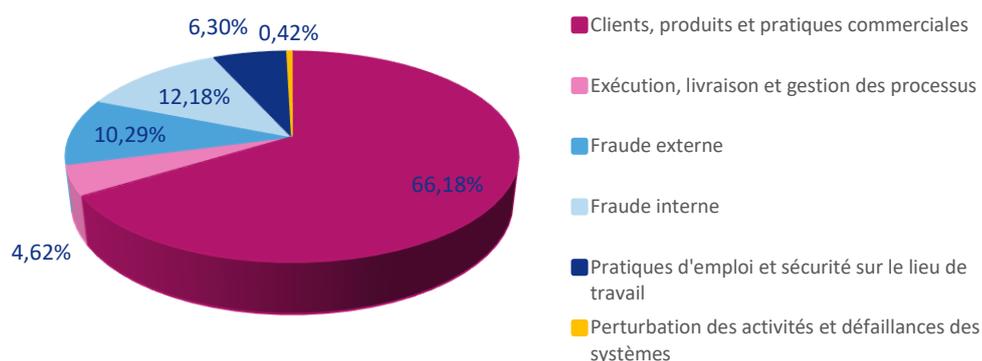
Six catégories de risques opérationnels sont représentées dans la base publique.

Là encore, aucune perte relative à la catégorie « Dommages aux actifs corporels » n'est enregistrée pour les organismes d'assurance. Ce type de risque ne sera donc pas modélisé dans cette étude.

Contrairement à la base incidents interne d'Actyam, les risques de fraude sont ici scindés en deux catégories :

- Fraude interne,
- Fraude externe.

Le graphique ci-dessous représente les proportions de pertes recensées par catégories de risques :



**Graphique 9** : Proportions du nombre de pertes recensées par catégorie de risque

La catégorie de risques « Clients, Produits et pratiques commerciales » est largement plus représentée par les données publiques et représente plus de 66% des pertes recensées. Étant donnée la source des données, cela ne semble pas incohérent. En effet, cette catégorie de survenances est la plus exposée aux médias. S'ensuivent les risques de fraude qui peuvent être à lourdes conséquences et sont souvent centrés d'intérêt du public.

À l'inverse, les risques classés « Perturbation des activités et défaillances des systèmes » ne sont quasiment pas représentés, avec deux pertes recensées pour cette catégorie sur la totalité de l'historique couvert. En effet, ces derniers ayant des conséquences majoritairement subies en interne n'ont que peu d'occasions d'être médiatisés. En conséquence, la fonction de perte de ces derniers ne sera pas modélisée au sein de cette approche.

Les statistiques descriptives présentées ci-après décrivent la distribution des montants de pertes normalisés.

Minimum	Premier quartile	Médiane	Troisième quartile	Maximum
0	84	373	2 254	798 681

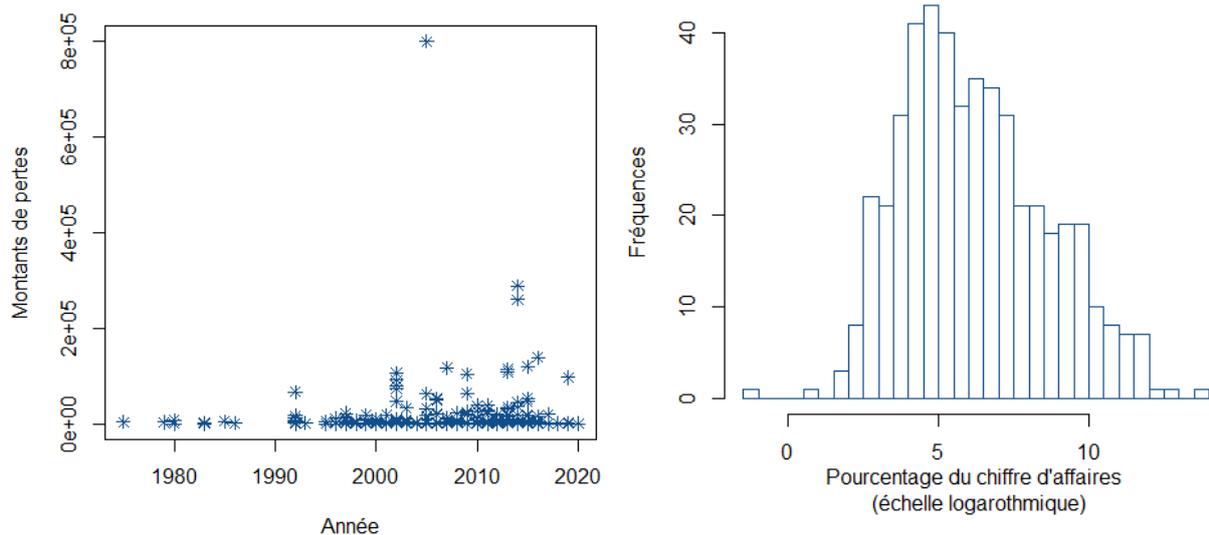
**Tableau 19** : Minimum, maximum et quantiles des montants de pertes normalisés (en pourcentages)

L'écart du troisième quartile à la médiane est bien plus conséquent que celui du premier quartile à la médiane ce qui présage une distribution asymétrique et probablement à queue épaisse des distributions de sévérité.

Moyenne	Écart-type	Coefficient d'asymétrie	Coefficient d'aplatissement
8 934	44 031	13	225

**Tableau 20** : Statistiques de forme et de dispersion de la distribution empirique pertes normalisée ( moyenne et écart-type exprimés en pourcentages)

Comme pour la base incidents d'Actyam, le coefficient d'asymétrie de la distribution est positif et confirme que la queue de distribution est plus lourde à droite. Pour ce qui est du coefficient d'aplatissement, celui-ci est élevé et justifie la grandeur de l'écart-type qui résulte, là encore, de la présence de valeurs extrêmes.



**Figure 15** : Tracé de la série chronologique et de l'histogramme des montants de pertes de la base O.R.X

Les données sur les pertes opérationnelles sont plus denses ces dernières années. Effectivement, le nombre de valeurs se densifie vers la droite avec des montants plus volatiles et plus élevés. La base de données étudiée correspond aux pertes opérationnelles médiatisées et donc par nature, aux montants élevés.

## B. CALIBRAGE DISTRIBUTIONS SOUS-JACENTES

Il s'agit au sein de cette deuxième application de l'approche par distribution des pertes de calculer une  $VaR_{99,5\%}$  du risque opérationnel, à partir de la base de données publique fournie par l'organisation O.R.X.

### a. Calibrage des distributions de fréquence

Analogiquement à la démarche précédente, les lois de Poisson et Binomiale Négative vont systématiquement être calibrées puis testées sur les données.

Pour ce qui est des données de fréquences de cette base, pour les 150 organismes, c'est le nombre de pertes recensé par année pour chaque catégorie de risque qui est considéré.

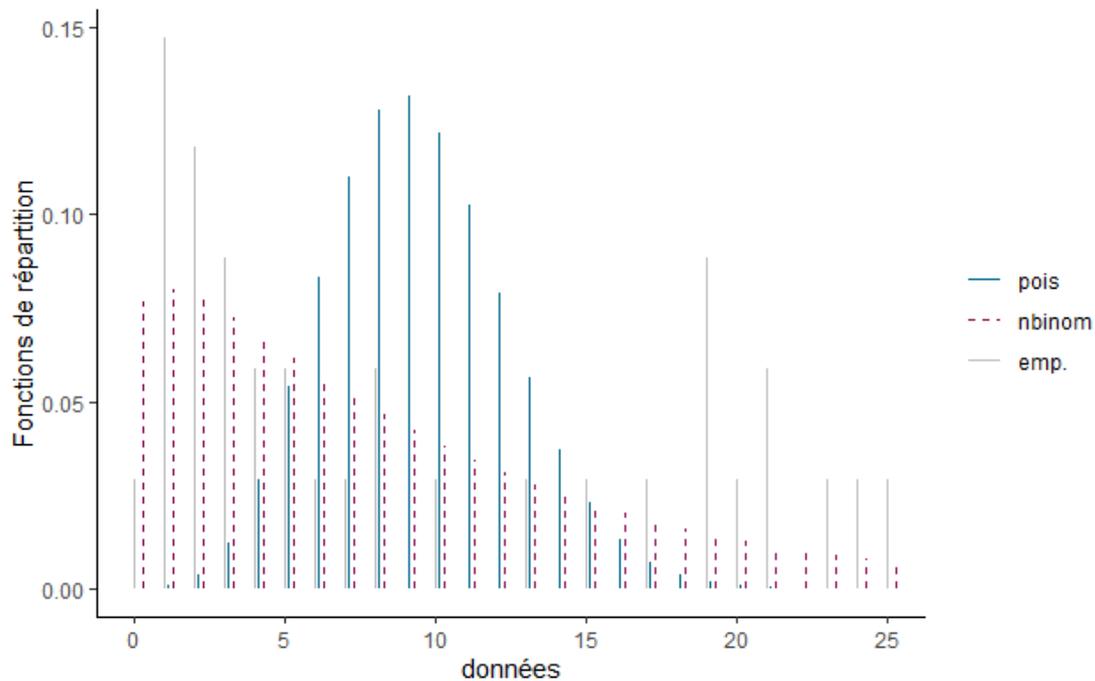
Les résultats des ajustements sont présentés ci-après, pour chacune des catégories de risques. Les résultats du calibrage sont présentés en détail pour la catégorie de risques « Clients, produits et pratiques commerciales ». Les lois de fréquences choisies pour les autres catégories de risques sont annoncées ensuite et leurs résultats de calibration sont disponibles en annexe XXX.

#### i. Ajustement de fréquence pour le risque « Clients, produits et pratiques commerciales »

Le tableau ci-après reprend les paramètres obtenus suite aux calibrages des lois de Poisson et Binomiale Négative sur les nombres de pertes par année du risque « défaillance des systèmes ». Le premier paramètre correspond à  $\hat{\lambda}$  pour la loi de Poisson et à  $\hat{r}$  pour la Binomiale Négative. Le second paramètre, définit exclusivement pour la dernière correspond à  $\hat{p}$ .

Risques clients, produits et pratiques commerciales	Loi de Poisson	Loi Binomiale Négative
Premier paramètre	9.26	1.17
Second paramètre	-	0.11
P-valeur du test de Chi- deux	0.40%	31.09%

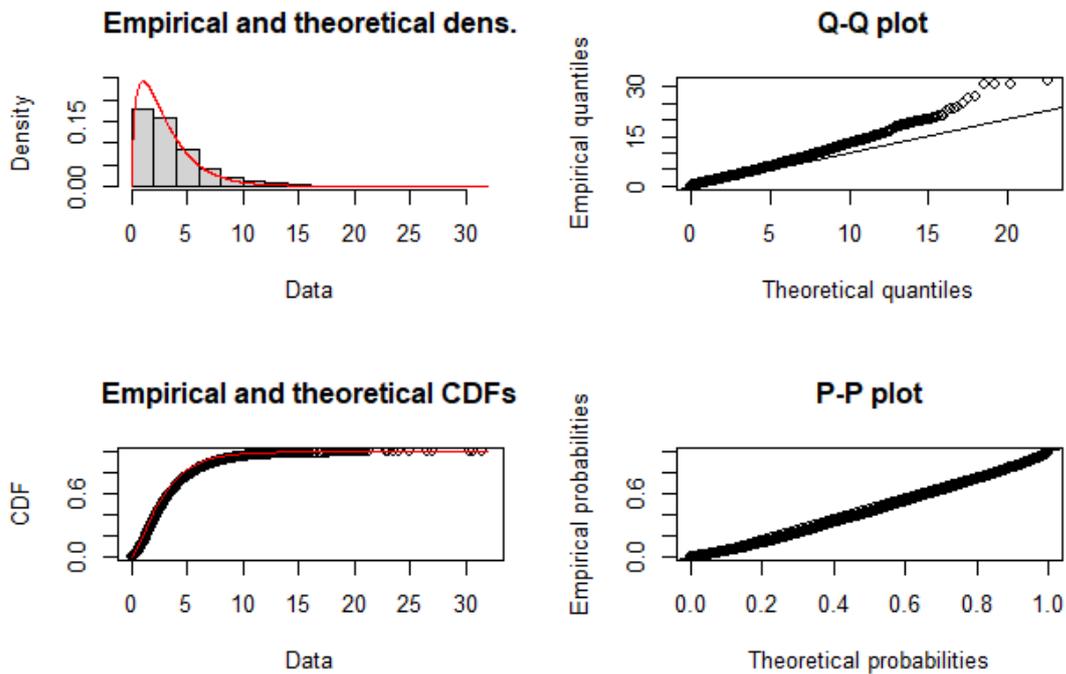
Pour la modélisation de la fréquence de ce risque, l'hypothèse nulle selon laquelle la fréquence suit une loi de Poisson est rejetée à l'issue de l'application du test de Chi-Deux, à un niveau de risque de première espèce fixé à 5%. La loi Binomiale Négative n'est pas rejetée et c'est ainsi celle sélectionnée pour la modélisation de la fréquence de ce risque. Le graphique ci-dessous présente les tracés des fonctions de répartition respectives.



**Graphique 10** : Ajustements de fréquence pour le risque Clients, produits et pratiques commerciales

L'ajustement aboutit alors à la sélection d'une loi binomiale négative de paramètres (1.17,0.11) pour modéliser la fréquence du risque clients.

À titre d'illustration de l'incertitude issue du calcul des p-valeurs de test, les tracés ci-après illustrent la comparaison graphique entre la loi de la statistique de test pour l'ajustement sélectionné et sa loi théorique du Chi-Deux correspondante.



**Graphique 11** : Comparaison graphique de la distribution de la statistique de test approchée par *bootstrap* avec une loi du Chi-Deux à 3 degrés de liberté

ii. Lois choisies pour la modélisation des fréquences par catégories de risques

Après application de la démarche à chacune des cinq catégories de risque, une loi de fréquence est retenue à l'issue des ajustements. Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques des lois retenues.

	Loi retenue
Risque Clients, produits et pratiques commerciales	$\mathcal{NB}(1.17,0.11)$
Risque de Fraude Interne	$\mathcal{NB}(1.59,0.48)$
Risque de Fraude Externe	$\mathcal{P}(9.44)$
Risque d'exécution, livraison et gestion des processus	$\mathcal{P}(1.44)$
Risque lié aux pratiques des employés	$\mathcal{NB}(0.89,0.34)$

**Tableau 21** : Récapitulatif des lois pour modéliser la fréquence

Les graphiques de chaque ajustement sont disponibles en annexe IV du présent mémoire.

5. Calibrage des distributions de sévérité

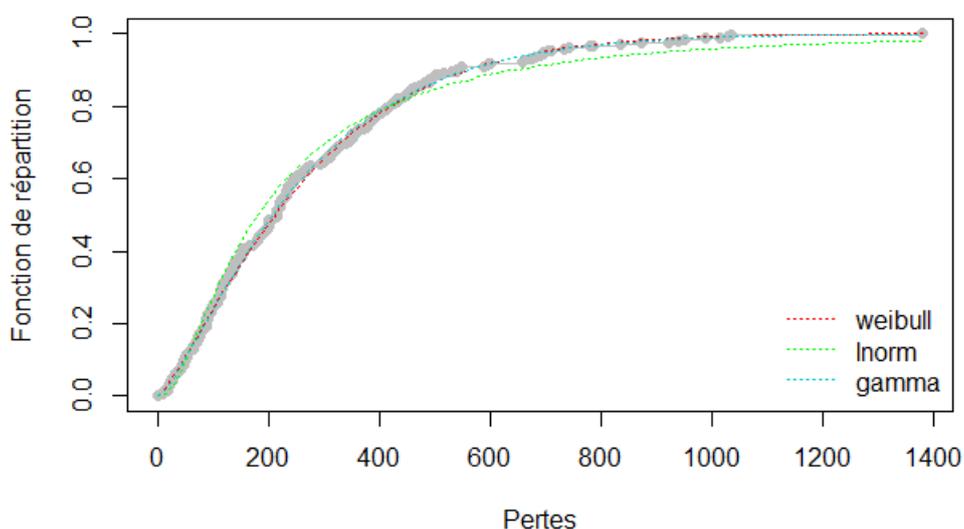
Analogiquement à l'application de la méthode sur les données de l'organisme Actyam, les lois de Weibull, Gamma et Log-Normale sont envisagées pour modéliser la sévérité de chaque risque. Là encore, les p-valeurs des tests sont calculés par *bootstrap* paramétrique afin de réduire l'impact de l'ajustement des paramètres sur les données empiriques. De plus, des intervalles de confiance construits par *bootstrap* non paramétrique ont été évalués dans

l'intérêt de refléter l'incertitude liée à la faible quantité de données. Les détails sur ces méthodes sont disponibles au sein de la partie I.1.B du chapitre III.

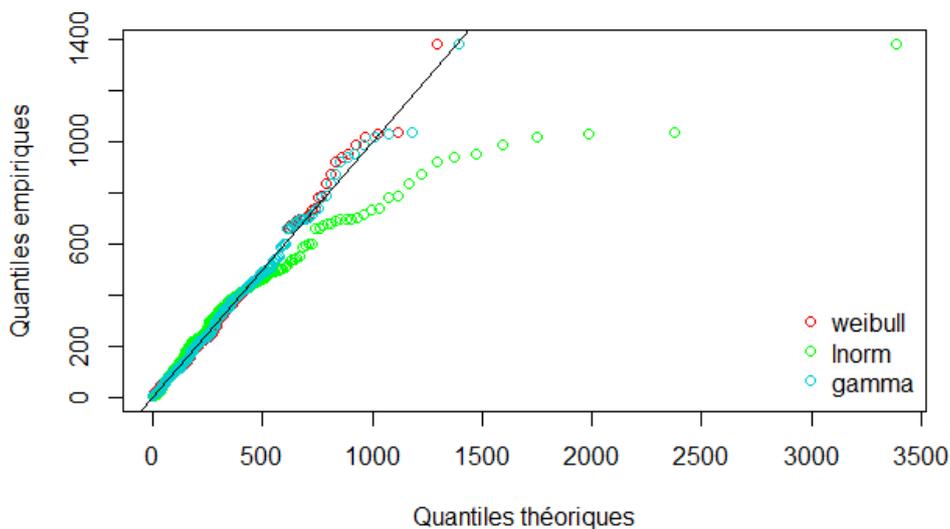
*Risque clients, produits et pratiques commerciales*

	Loi de Weibull	Loi log-normale	Loi Gamma
Paramètres de la distribution	$\mathcal{W} ( 1.23 ; 285.77 )$	$\mathcal{Ln}( 5.19 ; 0.99 )$	$\mathcal{G} ( 1.43 ; 0005)$
Test de Kolmogorov-Smirnov	p-valeur = 48.79%	p-valeur = 0.02%	p-valeur = 87.77%
Test d'Anderson-Darling	p-valeur = 46.50%	p-valeur = 0.001%	p-valeur = 77.38%
Test de Cramér von Mises	p-valeur = 45.90%	p-valeur = 0.001%	p-valeur = 65.54%

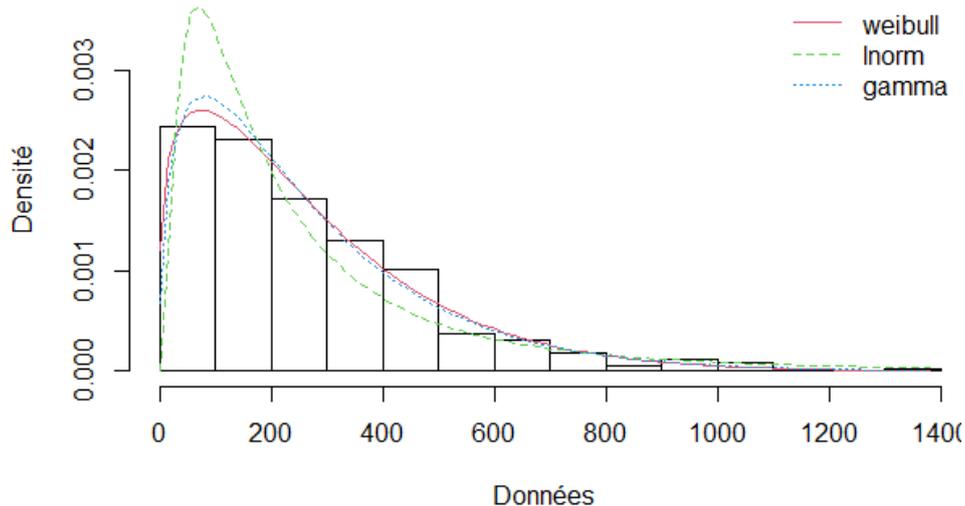
À l'issue des tests d'adéquation, les hypothèses nulles pour la loi Weibull et la loi Gamma ne sont pas rejetées, à un niveau de risque de première espèce de 5%. L'hypothèse nulle de distribution de la sévérité selon une loi log-normale est-elle.



**Graphique 12:** Comparaison des fonctions de répartition pour le risque clients, produits et pratiques commerciales



**Graphique 13:** Comparaison des QQ-plot pour le risque clients, produits et pratiques commerciales



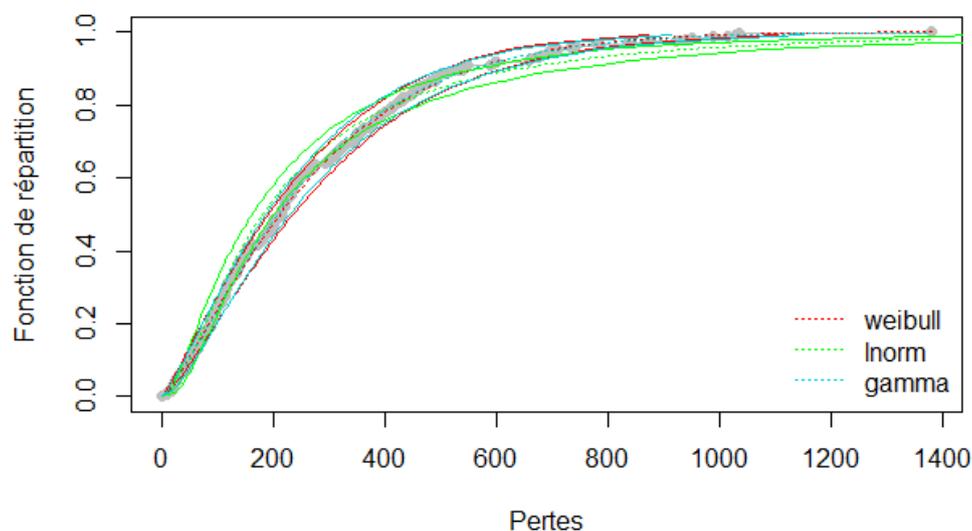
**Graphique 14** : Comparaison des fonctions de densités théoriques et empirique pour le risque clients, produits et pratiques commerciales

Après analyse des p-valeurs de tests obtenus à l'issue des tests d'ajustements et examen graphique des ajustements de lois sur les données empiriques de ce risque, la distribution de Weibull est sélectionnée pour modéliser la sévérité du risque de défaillance des systèmes. En effet, celle-ci semble légèrement surestimer la queue de distribution par rapport à la loi Gamma. L'intérêt étant porté sur le calcul de la  $VaR_{99.5\%}$ , c'est la loi qui semble la plus appropriée.

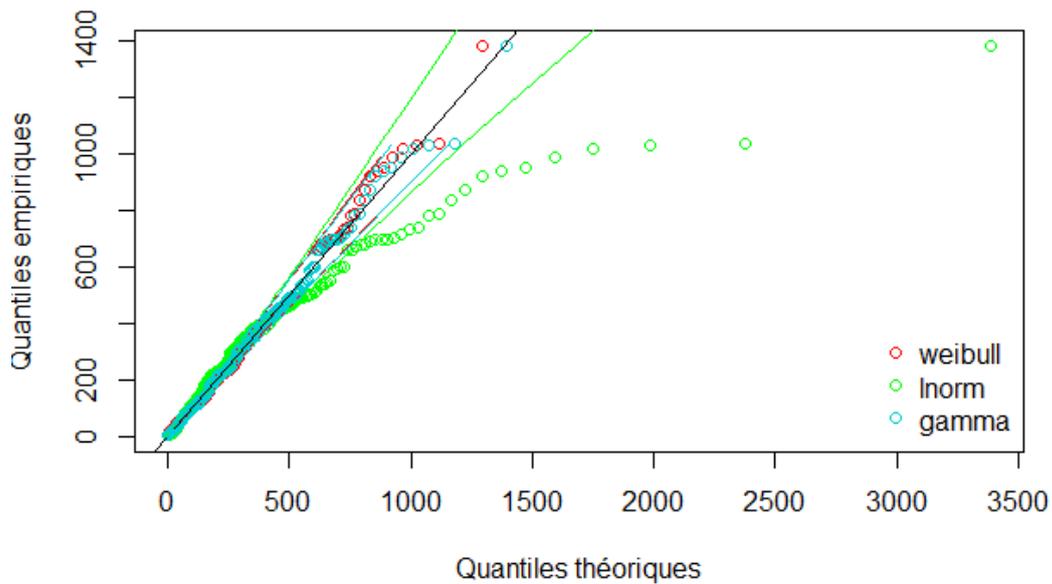
Afin d'évaluer l'incertitude liée à cet ajustement, due au nombre de données, l'intervalle de confiance pour le paramètre de forme de la loi de Weibull, calculé par la méthode des quantiles est le suivant :

$$IC_{95\%}^{quantiles} = [1.47 ; 2.34]$$

Toujours dans l'intérêt d'illustration de l'incertitude présente autour des estimations de paramètres, les enveloppes de confiance à un seuil de 95% sont tracées sur les graphiques de comparaison des quantiles-quantiles ainsi que des fonctions de répartition ci-dessous.



**Graphique 15** : Comparaison des fonctions de répartition et enveloppes de confiance



**Graphique 16** : Comparaison des graphiques quantiles-quantiles et enveloppes de confiance

### Loi de sévérité retenue par catégorie de risque opérationnel

Finalement, les différentes lois retenues pour modéliser la sévérité de chaque catégorie de risque opérationnel pour cette seconde base de données sont présentées ci-dessous.

	Loi retenue
Risque clients, produits et pratiques commerciales	$\mathcal{W} ( 3.27 ; 127.97 )$
Risque de Fraude Interne	$\mathcal{Ln}( 4.69 ; 0.32 )$
Risque de Fraude Externe	$\mathcal{W} ( 2.47 ; 16.11 )$
Risque d'exécution, livraison et gestion des processus	$\mathcal{W} ( 1.44 ; 265.22 )$
Risque de pratiques d'emploi et de sécurité sur le lieu de travail	$\mathcal{W} ( 2.53 ; 739.09 )$

**Tableau 22** : Récapitulatif des distributions de coût pour les données O.R.X

Les comparaisons graphiques des fonctions de répartition et les graphiques quantiles-quantiles montrent qu'en ce qui concerne les queues de distribution, les ajustements ne sont pas parfaits et des écarts perceptibles persistent, notamment au niveau des queues de distribution. Toutefois, il ne s'agit pas dans ce mémoire de réduire ces écarts et les résultats positifs aux tests d'adéquation sont considérés satisfaisants.

### b. Modélisations des distributions des pertes et calcul du SCR opérationnel par catégorie de risque

À titre de rappel, le tableau ci-dessous récapitule les lois sélectionnées pour modéliser la distribution des pertes de chaque catégorie de risque.

	Risque clients, produits et pratiques commerciales	Risque de Fraude Interne	Risque de Fraude Externe	Risque d'exécution, livraison et gestion des processus	Risque de pratiques d'emploi et de sécurité sur le lieu de travail
Loi retenue pour modéliser la fréquence	$\mathcal{NB}( 1.17, 0.11 )$	$\mathcal{NB}( 1.59, 0.48 )$	$\mathcal{P}( 1.44 )$	$\mathcal{NB}( 0.89 , 0.34 )$	$\mathcal{NB}( 1.36 , 0.61 )$
Loi retenue pour modéliser la sévérité	$\mathcal{W} ( 1.23 ; 285.77 )$	$\mathcal{Ln}( 4.69 ; 0.32 )$	$\mathcal{W} ( 2.47 ; 16.11 )$	$\mathcal{W} ( 1.44 ; 265.22 )$	$\mathcal{W} ( 2.53 ; 739.09 )$

**Tableau 23** : Récapitulatif des distributions de fréquence et de coût pour chaque catégorie de risque

Les distributions de fréquence et de sévérité des pertes opérationnelles pour chacun des risques sont désormais définies et paramétrées. Il s'agit maintenant de les combiner afin d'obtenir la fonction des pertes totales annuelles. La méthode de simulation de Monte-Carlo est appliquée pour cette dernière étape de la modélisation.

Ainsi, pour chaque catégorie de risque, 100 000 simulations ont été réalisées. Pour chacune d'entre elles, un nombre N d'occurrences de risque est défini par la loi de fréquence associée au risque. Puis, pour chaque simulation, N montants sont définis indépendamment, à partir de la loi de sévérité.

Pour chaque simulation, la somme de ces montants correspond finalement à une perte annuelle possible pour la catégorie de risque en question. Cette démarche est répétée un grand nombre de fois, 100 000 dans notre cas, pour obtenir un grand échantillon de la distribution des pertes annuelles pour la catégorie de risque spécifique.

Les résultats des simulations par catégorie de risque sont présentés ci-après avec les calculs des quantiles des queues de distributions.

	Risque clients, produits et pratiques commerciales	Risque de Fraude Interne	Risque de Fraude Externe	Risque d'exécution, livraison et gestion des processus	Risque de pratiques d'emploi et de sécurité sur le lieu de travail
SCR <sub>op</sub>	22 658 209	1 253 827	102 319	4 253 116	4 779 991

**Tableau 24** : SCR opérationnels obtenus avec les données O.R.X., par catégorie de risque (en M€)

À l'issue de l'application de l'approche par distribution des pertes, le risque clients paraît là encore être le plus coûteux en termes de SCR opérationnel, suivi par les risques de processus et de pratiques des employés sur le lieu de travail. Rappelons que le premier est celui dont le nombre de données disponibles est le plus élevé, à l'inverse des deux derniers.

Rappelons là encore que les lois de sévérité et de fréquences sont ajustées sur des données historiques, peu exhaustives et présentant un certain nombre de biais, les résultats des simulations de Monte-Carlo peuvent donc être instables dans leurs estimations des quantiles de distributions à queues lourdes. De ce fait, les calculs d'intervalles de confiance pour chaque estimation de paramètre de lois de sévérité ont l'avantage d'illustrer et d'indiquer le degré d'incertitude obtenu pour chaque catégorie de risque, ce qui permet de relativiser l'importance du montant de perte annuelle obtenue par catégorie de risque.

### C. DIVERSIFICATION DES RISQUES ET CALCUL DE LA CHARGE TOTALE

Analogiquement à ce qui a été précédemment développé avec la base de données d'Actyam, cette partie présente les différents résultats de SCR<sub>op</sub> global obtenu, en fonction de la méthode de diversification choisie.

### a. La méthode additive

Cette première méthode qui consiste à sommer chaque VaR<sub>99.5%</sub> obtenue suppose une corrélation parfaite entre les risques et aboutie à un SCR<sub>op</sub> global obtenu d'un montant de 33 047 k€.

### b. Agrégation par matrices de corrélation

Là encore, cette méthode a été appliquée aux différents SCR obtenus par catégories de risques et pour trois mesures de corrélations différentes ( coefficient de Pearson, rhô de Spearman et taux Kendall).

Les matrices de corrélations respectives sont présentées ci-après et un tableau récapitulatif présente les différents montants de SCR<sub>op</sub> obtenu en fonction du coefficient de corrélation choisi.

#### Coefficient de Pearson

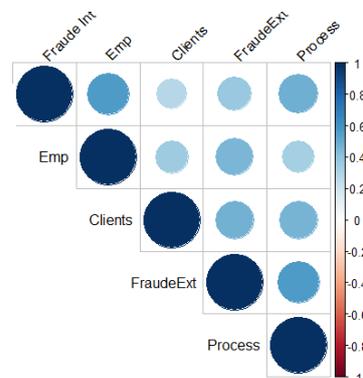
	Fraude interne	Fraude externe	Processus	Clients	Employés
Fraude interne	1.000	-0,103	-0,073	-0,102	0,009
Fraude externe	-0,103	1.000	0,182	0,216	0,453
Processus	-0,073	0,182	1.000	0,767	0,073
Clients	-0,102	0,216	0,767	1.000	0,042
Employés	0,009	0,453	0,073	0,042	1.000



Les coefficients de corrélation calculés pour les couples de risques clients-processus et fraude externe-pratiques des employés dénotent une prépondérance de la relation affine sur les variations internes des variables, dans une moindre mesure pour le second.

#### Rhô de Spearman

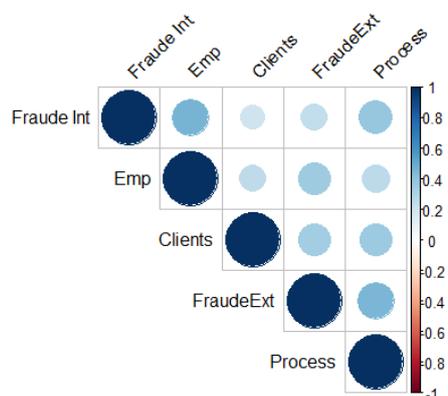
	Fraude interne	Fraude externe	Processus	Clients	Employés
Fraude interne	1.000	0.375	0.483	0.286	0.568
Fraude externe	0.375	1.000	0.564	0.478	0.453
Processus	0.483	0.564	1.000	0.464	0.334
Clients	0.286	0.478	0.464	1.000	0.356
Employés	0.568	0.453	0.334	0.356	1.000



Les coefficients de corrélation calculés entre les différentes catégories de variables sont assez élevés et tous positifs ce qui met en avant d'une forte tendance monotone et croissante entre les rangs des observations.

## Taux de Kendall

	Fraude interne	Fraude externe	Processus	Clients	Employés
Fraude interne	1.000	0.250	0.383	0.209	0.461
Fraude externe	0.250	1.000	0.457	0.348	0.354
Processus	0.383	0.457	1.000	0.364	0.262
Clients	0.209	0.348	0.364	1.000	0.251
Employés	0.461	0.354	0.262	0.251	1.000



À l'issue de l'analyse des taux de Kendall entre les différents couples de catégories de risques, la plus haute force de dépendance remarquée est entre les risques de « Fraude Interne » et de « Pratiques des employés et sécurité sur le lieu de travail ».

## Risque opérationnel global diversifié

Après calcul des différentes mesures de corrélation et application de la formule de diversification de la Formule Standard, les différents SCR<sub>op</sub> diversifiés obtenus sont présentés ci-après. Le résultat d'une corrélation parfaite entre les risques correspond à celui obtenu par la méthode additive. La mesure de risque opérationnel global a également été calculée sous l'hypothèse que les risques soient totalement indépendants.

	Coefficient de Pearson	Rhô de Spearman	Taux de Kendall	Corrélation parfaite	Risques indépendants	SCR Formule Standard
VaR <sub>99,5%</sub>	26 661 917	27 702 355	26 737 837	33 047 462	23 778 173	23 800 000€

Tableau 25 : Récapitulatif des montants SCR par méthodes d'agrégation (en M€)

Au global, les trois méthodes de calcul du SCR<sub>op</sub> agrégé avec une matrice de corrélation sont plus faibles que celui obtenu sous l'hypothèse d'une corrélation parfaite, avec une économie faite allant de 16% à 19%.

## PARTIE II : UTILISATION DE L'OUTIL CORAL

### 1. Présentation de la cartographie des risques

La cartographie des risques opérationnels de l'assureur Actyam présente 238 risques opérationnels classés par macro processus et processus.

Les 17 macro-processus représentés dans la base de données sont listés ci-après. Pour chacun, un exemple de risque est donné à titre d'illustration.

- **Tarifier et piloter les risques techniques** : risque d'erreur dans la tarification dû à une erreur de saisie du tarificateur (fichier excel),
- **Concevoir les produits et services** : risque d'erreur d'estimation due à des données sources non fiables,
- **Mesurer l'équilibre technique** : retard dû à l'indisponibilité des données en externes (non-respect des délais de transmission)
- **Prospecter et souscrire** : risque de pratiques commerciales trompeuses et/ou abusives,
- **Concevoir et réaliser la communication** : erreurs dans le support ou dans l'action (faute d'orthographe, tableau de garantie,..)
- **Gérer les ressources humaines** : retard dans les virements de la paie et des charges sociales et fiscales,
- **Gérer les activités juridiques** : ignorance des évolutions législatives et réglementaire,
- **Gérer les moyens et le patrimoine** : déclaration de travaux hors délais ou incomplète,
- **Gérer les données comptables et financières** : retard ou oubli de règlement des prestations,
- **Gérer les systèmes d'information** : perte de disponibilité du service d'information dû à une cyberattaque,
- **Gérer la relation clients** : fermeture imprévue de l'agence ou retard à l'ouverture,
- **Gérer les achats** : absence de fournisseurs pouvant répondre à la demande (délai, produit/service),
- **Gérer l'action sociale et la prévention** : mauvaise qualité de l'action de prévention,
- **Réaliser et piloter les placements financiers** : Risque de méconnaissance du comportement du portefeuille et des opérations effectuées par le délégataire (diffusion partielle ou inexistante d'un reporting)
- **Gérer les prestations** : erreur de saisie dans la liquidation de la prestation.

Ainsi, pour chaque risque identifié au sein de chaque processus et macro-processus, les cotations définies par les experts en entretiens avec la gestion des risques sont renseignées. Par exemple, en ce qui concerne le risque « perte de disponibilité du service d'information dû à une cyberattaque », les informations sont les suivantes :

- Impact financier de niveau 3,
- Impact légal et juridique de niveau 4,
- Image et qualité de service de niveau 5.

Dans le cadre de la cartographie des risques d'Actyam, le critère de détermination de l'impact global pour un risque a été de retenir le maximum des trois impacts cités ci-dessus. De ce fait, l'impact retenu pour le risque considéré est de « 5- Majeur », conformément à l'échelle de cotation correspondante.

		FINANCIER	LEGAL ET JURIDIQUE	IMAGE ET QUALITE DE SERVICE
Non significatif	1	< 10K €	Non-respect des directives opérationnelles	Visible uniquement en interne
Mineur	2	Entre 10K€ et 100K€	Non-respect des directives stratégiques et/ou du règlement mutualiste	Visible en interne, par les intermédiaires, les professionnels de santé et/ou les élus, mais sans conséquence néfaste ou remise en cause de la relation commerciale
Modéré	3	Entre 100K€ et 500K€	Non-respect des directives du Conseil d'Administration	Visible par les intermédiaires, les professionnels de santé et les adhérents (< 5000) avec des conséquences néfastes ou remise en cause de la relation commerciale
Significatif	4	Entre 500K€ et 1M€	Sanctions des Autorités de tutelles ou de contrôle (ACPR) Non-respect code de la mutualité	Visible par une majorité d'adhérents (> 5000) avec des conséquences néfastes ou remise en cause de la relation commerciale ou diffusion dans les réseaux sociaux
Majeur	5	> 1M€	Poursuite : civil ou pénal (amende ou tribunal)	Diffusion dans les médias

Tableau 26 : Échelle de cotation des impacts

D'autre part, la fréquence de survenance de ce risque est estimée être de deux fois par an ce qui correspond à un niveau de cotation « 3- Possible ».

PROBABILITE		Récurrent
Rare	1	1 fois par an
Occasionnel	2	2 fois par an
Possible	3	Tous les 3 mois = 4 fois par an
Fréquent	4	Tous les mois = 12 fois par an
Très fréquent	5	Chaque semaine = 50 fois par an

Tableau 27 : Échelle de cotation des fréquences d'occurrence des risques

Le risque brut correspondant est alors défini par le croisement des deux cotations (impact global et fréquence d'occurrence), à partir de la matrice de chaleur présentée ci-dessous.

Impact	5	3- Modéré	4- Significatif	5- Majeur	5- Majeur
	4	2- Mineur	3- Modéré	5- Majeur	5- Majeur
	3	2- Mineur	3- Modéré	4- Significatif	5- Majeur
	2	1- Non significatif	2- Mineur	3- Modéré	4- Significatif
	1	1- Non significatif	1- Non significatif	2- Mineur	3- Modéré
		1	2	4	5
		Fréquence			

Figure 16 : Matrice de détermination du niveau de risque brut

Ainsi, pour le risque pris pour exemple, le niveau de risque brut est de niveau « 5- Majeur ».

D'autre part, Actyam considère huit catégories d'éléments de maîtrise des risques présentés dans la figure suivante.



**Documentation** : Politiques, procédures, modes opératoires, règles de gestion, notes de service, directives, etc.



**Gouvernance** : Gouvernance, instances de pilotage, délégation, habilitations, etc.



**Pilotage** : Rapports, tableaux de bords, indicateurs clés, etc.



**Moyens humains** : Compétences, formation, mise à disposition de ressources, expertises externes et/ou internes, etc.



**Plan de sécurité / de continuité** : Dispositif de sécurité des personnes et des biens, audit des installations, etc.



**Contrôle informatiques** : contrôles automatiques



**Contrôles humains** : contrôles manuels

Figure 17 : Catégories d'éléments de maîtrise du risque

Dans le cas de l'exemple, les EMR considérés sont la documentation, les moyens humains, le pilotage ainsi que le plan de continuité d'activité. Le niveau d'efficacité des éléments de maîtrise pour ce risque est de « 3- Partielle », ce qui fait référence à un dispositif adapté, mais partiellement mis en place. À titre d'illustration, les éléments de maîtrise renseignés pour ce risque sont :

Le niveau global d'évaluation de l'efficacité des éléments de maîtrise a été défini en concertation avec les experts métiers en entretien. Par mesure de prudence, lorsque le niveau d'efficacité n'est pas le même pour tous les EMR d'un même risque, le plus faible est généralement retenu.

En effet, les mêmes outils d'atténuation du risque peuvent avoir une efficacité différente sur la survenance de tel ou tel risque. De plus, certains éléments de maîtrise, bien que parfaitement mis en place, n'auront pas d'effet suffisant pour atténuer significativement les impacts de la survenance : dans le cas d'une cyberattaque par exemple, la documentation

disponible, bien qu'utile, aura toujours un impact moindre sur la survenance que la mise en place d'un dispositif de sécurité des installations qui est régulièrement audité.

	Echelle	Définition
1	Inexistant	Pas d'élément de maîtrise ou dispositif non mis en œuvre
2	insuffisant	Le dispositif n'est pas adapté ou est insuffisant par rapport au risque
3	Partiellement efficace	le dispositif est adapté mais mis en œuvre de manière partielle
4	Efficace	le dispositif est adapté et mis en œuvre avec de rare possibilité de défaillance
5	Très Efficace	Le risque est parfaitement couvert

**Figure 18 :** Échelle de cotation de l'élément de maîtrise

À chacun des risques est donc attribuée une fréquence d'occurrence, des niveaux d'impacts et des cotations d'éléments de maîtrise selon les échelles prédéfinies présentées ci-dessous.

Nombre de risques	Fréquence moyenne	Fréquence minimale	Fréquence maximale	Impact financier moyen	Impact financier minimal	Impact financier maximal
238	2	1	5	1	1	4

**Tableau 28 :** Statistiques descriptives des cotations des risques opérationnels d'ACTYAM

Un même risque peut être identifié dans plusieurs processus distincts. De ce fait, il est possible qu'il soit mentionné à plusieurs reprises dans la cartographie, avec des cotations potentiellement différentes. Il est important de réaliser autant de modélisation qu'il y a de mention de ce risque dans la cartographie.

En considérant qu'un risque ayant une fréquence de niveau supérieur ou égal à « 4- Fréquent » soit menaçant, la cartographie des risques met en avant une vingtaine de risques de fréquence pour l'assureur.

	Rare	Occasionnel	Possible	Fréquent	Très fréquent
Nombre de risques	102	45	71	15	5

**Tableau 29 :** Nombre de risques par niveaux de fréquence brute

D'autre part, la cartographie des risques d'Actyam ne présente aucun risque financier de niveau « 5- Majeur » et seulement trois de niveau « 4- Significatif ». Le recensement des risques par l'organisme ne considère donc aucun risque dont l'impact financier serait supérieur à un million d'euros.

	1- Non Significatif	2- Mineur	3- Modéré	4- Significatif	5- Majeur
Nombre de risques	204	20	11	3	0

**Tableau 30 :** Nombre de risque par niveaux d'impact financier brut

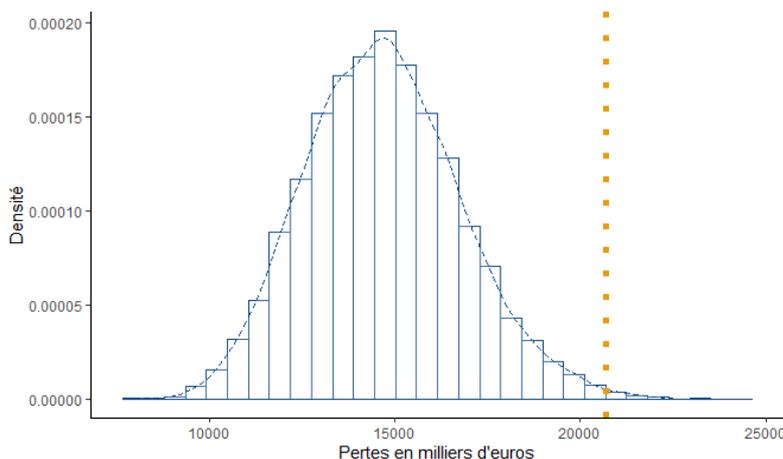
## 2. Quantification du risque opérationnel

La liste des risques et leurs cotations sont renseignées au sein de l’outil CORAL afin d’en simuler une distribution des pertes annuelles. La démarche est effectuée quatre fois en prenant à chaque fois les données suivantes :

- Les cotations brutes,
- Les cotations de fréquence ajustées et les cotations d’impact financier brutes,
- Les cotations de fréquence brutes et les cotations d’impact financier,
- Les cotations nettes,

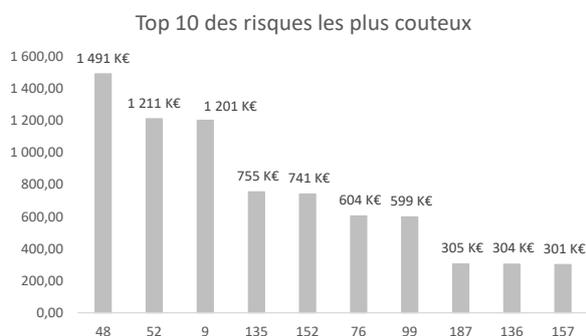
### A. QUANTIFICATION A PARTIR DES DONNEES BRUTES

La prise en compte des données brutes de la cartographie des risques par l’outil CORAL, c’est-à-dire sans prise en compte des éléments de maîtrise, aboutie à une mesure du risque opérationnel de **20 868 k€**.



**Graphique 17** : Tracé de la distribution des pertes obtenues à partir des données brutes de la cartographie

À l’issue de cette première application de l’outil CORAL à la cartographie, le top 10 des risques les plus coûteux pour l’organisme est le suivant :



**Graphique 18** : Restitution du top 10 des risques les plus coûteux en moyenne en vision brute

Id risque	Cotation de fréquence	Cotation de sévérité	Risque brut
48	2 - Occasionnel	4- Significatif	3- Modéré
52	3 - Possible	3- Modéré	3- Modéré
9	3 - Possible	3- Modéré	5- Majeur
135	1 - Rare	4- Significatif	2- Mineur
152	1 - Rare	4- Significatif	2- Mineur
76	2 - Occasionnel	3- Modéré	3- Modéré
99	2 - Occasionnel	3- Modéré	3- Modéré
187	1 - Rare	3- Modéré	2- Mineur
136	1 - Rare	3- Modéré	2- Mineur
157	1 - Rare	3- Modéré	2- Mineur

Le podium des risques les plus coûteux ne correspond pas forcément à ceux du plus haut niveau de risque brut mis en avant par la cartographie. En effet, le risque brut tel que retenu

dans l'outil de gestion des risques correspond au maximum des impacts parmi le financier, le légal et juridique et l'image et la qualité de service.

Dans un objectif de quantification du risque, seul l'impact financier est pris en compte parmi les trois. Enfin, en vision brute, le top 10 des risques les plus coûteux à l'organisme est constitué des risques de sévérité, c'est-à-dire à cotation d'impact financier élevée. Cela peut être induit par le petit nombre de risques de fréquence présents dans la cartographie. Comme le montre le tableau numéro 15, seuls vingt risques sont à fréquence élevée et aucun n'est associé à un haut niveau de sévérité.

## B. QUANTIFICATION A PARTIR DES DONNEES AJUSTEES DES ELEMENTS DE MAITRISES

Il s'agit maintenant de reprendre l'outil pour y incrémenter les données de la cartographie ajustées des effets induits par les éléments de maîtrise.

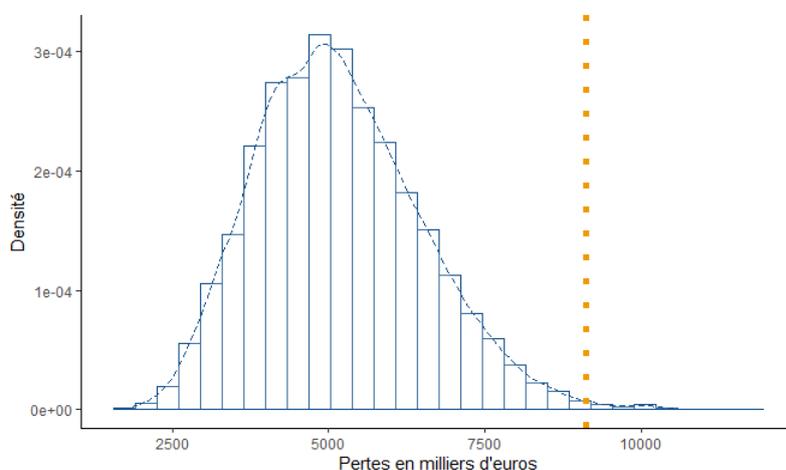
### a. Fréquences nettes et impact financier brut

Il s'agit dans cette partie de ne prendre en compte que les ajustements sur les fréquences des risques et de garder les cotations brutes en ce qui concerne les impacts financiers.

En pratique, les ajustements des cotations de fréquence en fonction des niveaux d'efficacité des éléments de maîtrise suivent la démarche suivante :

- Lorsque la cotation d'EMR est de niveau « 1 – Inexistant » ou « 2 – Insuffisant », aucun ajustement n'est appliqué et la fréquence ajustée reste égale à la brute.
- Si la cotation des EMR d'un risque est cotée « 3 - Partielle », alors le risque est jugé partiellement maîtrisé par Actyam et la fréquence brute est ajustée d'un cran à la baisse.
- Enfin, si la cotation de l'EMR du risque est « 4 - Satisfaite » ou « 5 - Totale », l'ajustement est fait de deux crans à la baisse sur la fréquence brute initiale.

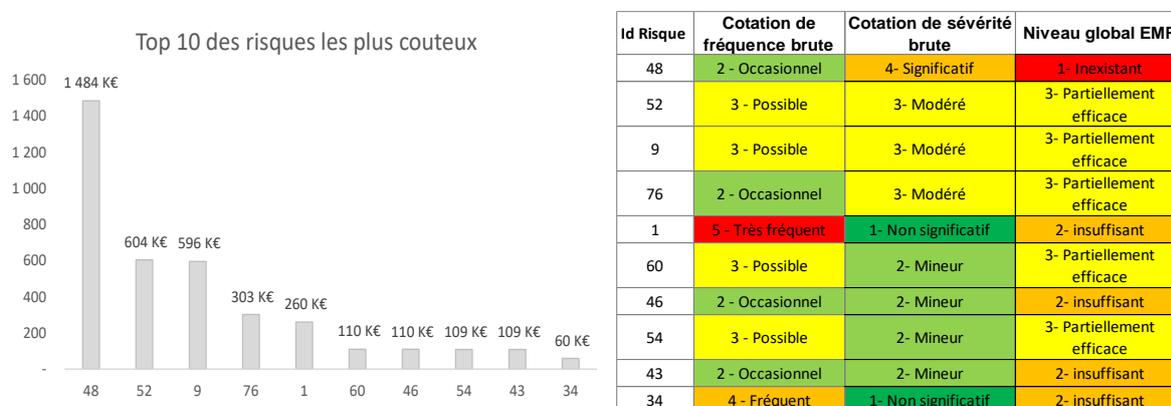
Ces ajustements induits par les différents niveaux d'efficacité des éléments de maîtrise sont définis à dire d'experts lors des entretiens avec la gestion des risques et les responsables de processus.



Graphique 19 : Tracé de la distribution des pertes selon les paramètres de fréquences nettes

Le quantile à 99.5% de la distribution des pertes globales obtenues correspond finalement à un montant de SCR<sub>Op</sub> de **9 289 k€**, soit moins de la moitié du montant obtenu précédemment. Bien que les risques de fréquences ne soient pas nombreux dans la cartographie, l'impact des ajustements sur ce paramètre pour tous les risques de la cartographie est conséquent.

Les 10 risques majeurs en matière de cout pour l'organisme sont alors présentés ci-dessous :



**Graphique 20** : Top 10 des risques les plus couteux en moyenne en vision fréquences nette

Sans grande surprise, les risques ayant disparus du classement des risques les plus menaçants sont ceux pour lesquels le niveau d'efficacité globale de l'élément de maitrise était à minima de niveau « 4- Efficace ».

#### b. Fréquences brutes et impact financier net

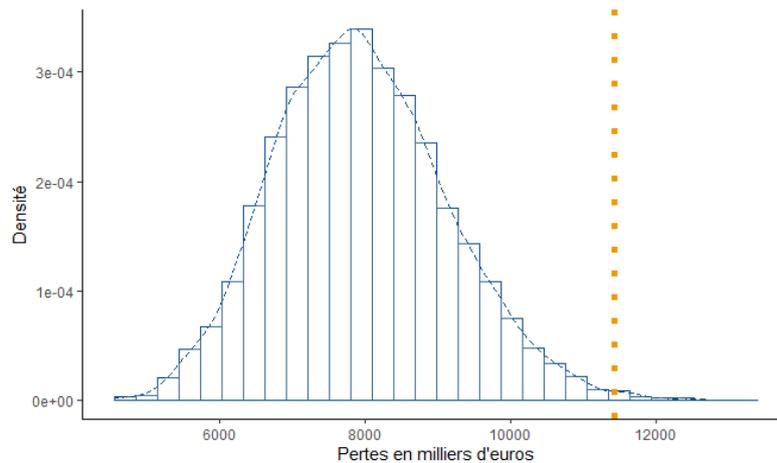
De façon analogue à la démarche précédente, l'outil est lancé en prenant les cotations brutes de fréquences et les cotations ajustées d'impact financier.

Dans le cadre de cette analyse, les ajustements des cotations d'impact financier en fonction des niveaux d'efficacité des éléments de maitrise se font suivant la démarche suivante :

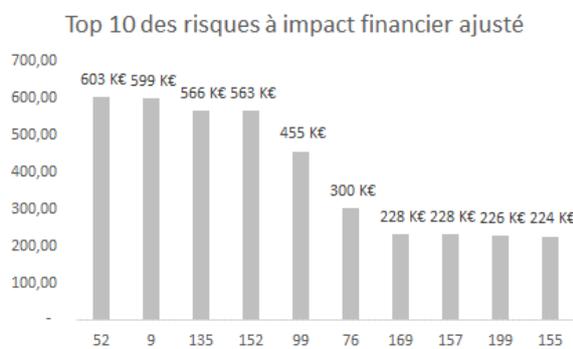
- Pour une cotation d'EMR de niveau « 1 – Inexistant », l'intervalle de cout reste inchangé,
- Pour une cotation d'EMR de niveau « 2 – Insuffisant », les bornes de l'intervalle de cout sont réduites de 0.25%,
- Si la cotation des EMR d'un risque est cotée « 3 - Partielle », alors le risque est jugé partiellement maitrisé par Actyam et les bornes de l'intervalle de cout sont réduites de 50%,
- Si la cotation de l'EMR du risque est « 4 - Satisfaite » les bornes de l'intervalle sont réduites de 0.75%,
- Enfin, si la cotation de l'EMR est de niveau « 5 – Totale », alors le risque est jugé être totalement maitrisé et son cout est nul.

Une fois ces nouveaux paramètres introduits dans CORAL, la mesure de risque opérationnel obtenue est d'un montant de 11 424 k€. Bien que ce dernier soit supérieur à celui obtenu avec les ajustements sur les fréquences, l'impact des éléments de maitrise sur le cout du risque est

conséquent avec une diminution de plus de 50% par rapport à la considération des cotations brutes.



**Graphique 21** : Distribution des pertes avec ajustement sur les impacts financiers



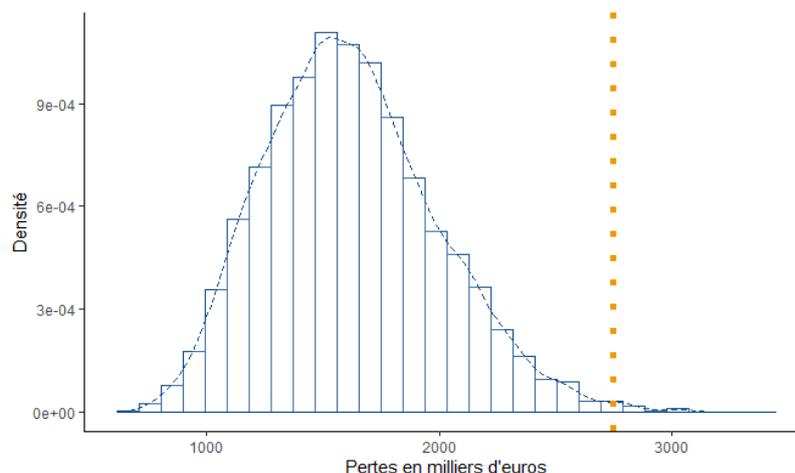
Id Risque	Cotation de fréquence brute	Cotation de sévérité brute	Niveau global EMR
52	3 - Possible	3- Modéré	3- Partiellement efficace
9	3 - Possible	3- Modéré	3- Partiellement efficace
135	1 - Rare	4- Significatif	4- Efficace
152	1 - Rare	4- Significatif	4- Efficace
99	2 - Occasionnel	3- Modéré	4- Efficace
76	2 - Occasionnel	3- Modéré	3- Partiellement efficace
169	1 - Rare	3- Modéré	4- Efficace
157	1 - Rare	3- Modéré	4- Efficace
199	1 - Rare	3- Modéré	4- Efficace
155	1 - Rare	3- Modéré	4- Efficace

**Graphique 22** : Top 10 des risques les plus couteux en moyenne en vision impact financier ajusté

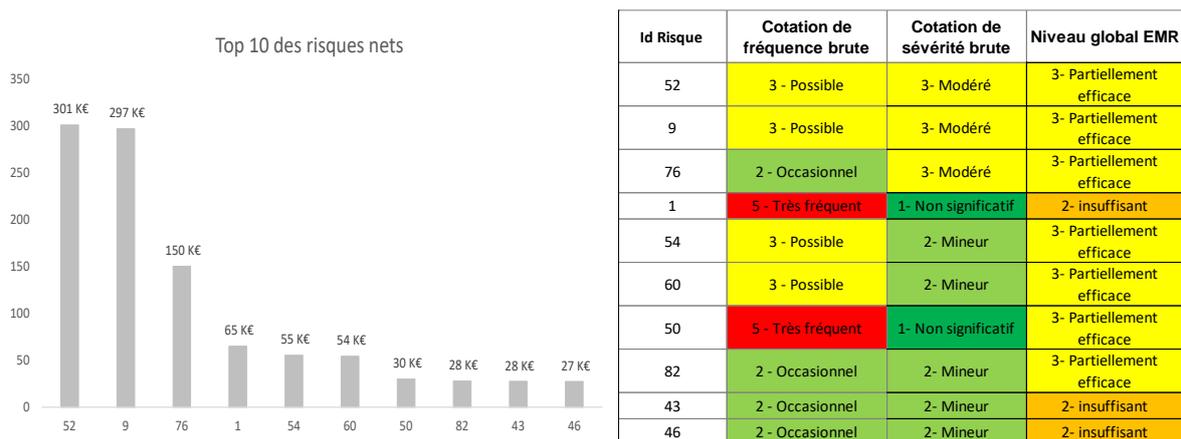
### c. Cotations nettes

Enfin, il s'agit dans cette dernière application de l'approche CORAL® à la cartographie des risques d'appliquer les ajustements induits par les éléments de maîtrise à la fois aux risques de fréquence et de sévérité.

Ainsi, la mesure de risque au regard du risque opérationnel obtenue est de 2 739 k€ et la distribution de la fonction des pertes simulées est représentée dans le graphique suivant :



**Graphique 23** : Distribution des pertes selon les cotations nettes d'EMR



**Graphique 24** : Top 10 des risques les plus coûteux en moyenne en vision risque brut

Les risques 9 et 52 qui étaient déjà sur le podium des risques bruts les plus menaçants en matière de coût sont toujours présents après prise en compte de l'effet des éléments de maîtrise mis en place. En plus de mettre en avant les risques majeurs pour l'organisme, cette utilisation de la cartographie à travers l'outil CORAL permet de chiffrer le coût de ces risques non maîtrisés, ou pas suffisamment. À l'inverse, cette approche permet également de quantifier l'impact financier de la mise en place d'éléments de maîtrise sur le coût du risque. En effet, pour le risque 52 qui était le deuxième dans le classement des risques bruts en coût moyen avec un montant de **1 211 k€**, la mise en place d'éléments de maîtrise a engendré une diminution de la perte de 75%, rapportant son coût annuel moyen à **301 k€**.

### C. TESTS DE SENSIBILITES SUR LE PARAMETRAGE

Afin d'illustrer l'impact des hypothèses d'ajustement sur le montant de capital pour risque opérationnel obtenu avec la méthode CORAL®, cette partie présente les résultats de tests de sensibilité selon lequel les ajustements induits par les éléments de maîtrise sont atténués.

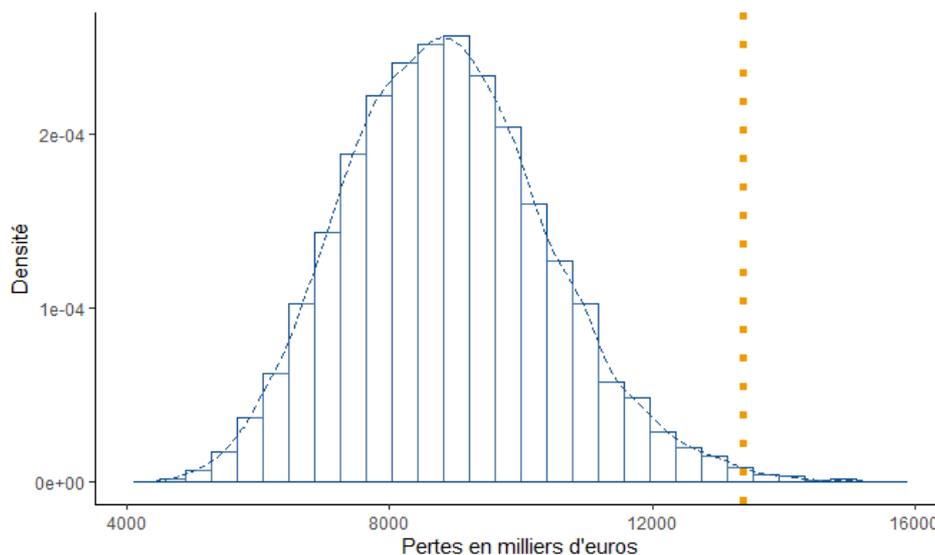
Ainsi, les ajustements sur la fréquence se font selon la démarche suivante :

- Lorsque la cotation d'EMR est de niveau « 1 – Inexistant », « 2 – Insuffisant » ou « 3 - Partielle », aucun ajustement n'est appliqué et la fréquence ajustée reste égale à la brute.
- Si la cotation des EMR d'un risque est cotée « 4 - Satisfaite » ou « 5 - Totale », alors fréquence brute est ajustée d'un cran à la baisse.

De même, les ajustements sur les impacts financiers se font selon la démarche suivante :

- Pour une cotation d'EMR de niveaux « 1 – Inexistant », « 2 – Insuffisant », ou « 3- Partielle », les intervalles de coût restent inchangés,
- Pour une cotation d'EMR de niveau « 4 - Partielle » ou « 5- Totale », les bornes de l'intervalle de coût sont réduites de 0.25%,

Ainsi, la mesure de risque au regard du risque opérationnel obtenue est de **13 388 k€** et la distribution de la fonction des pertes simulées est représentée dans le graphique suivant :



**Graphique 25** : Distribution des pertes selon les ajustements modifiés

Ainsi, le montant de capital pour risque opérationnel obtenu après modification des ajustements induits par les éléments de maîtrise est bien plus élevé que celui obtenu avec les hypothèses initiales. Cela met en avant la sensibilité de la méthode aux échelles d'ajustements définies avec les responsables des risques et l'importance de veiller à leur définition et par conséquent, à celles des critères de fréquence et d'impact également (les ajustements agissant directement sur ces derniers).

#### D. AJOUT DE NOUVEAUX RISQUES

Au sein de cette dernière utilisation de l'outil CORAL®, il s'agit d'évaluer le montant de perte au regard du risque opérationnel dans le cas de deux scénarios particuliers :

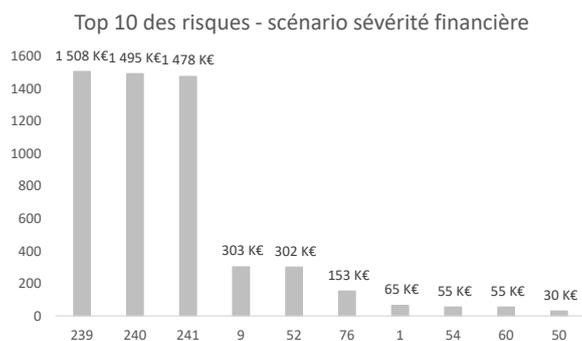
- L'ajout de trois risques d'impact financier « 5- Majeur », c'est-à-dire dont le cout est compris entre un et deux millions d'euros,
- L'ajout de dix risques de fréquence de niveau « 5 – Très fréquente », dont la survenance est estimée toutes les semaines.

##### a. Rajout de trois risques à fort impact financier

La cartographie des risques opérationnels d'Actyam ne présente aucun risque d'impact financier majeur. Il s'agit dans cette partie d'imaginer le scénario extrême dans lequel trois risques supplémentaires à fort impact financier n'aient pas été identifiés par les experts.

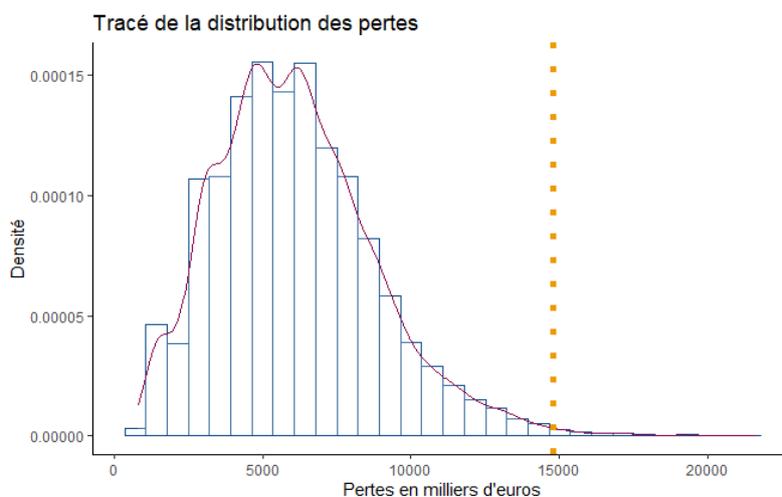
La fréquence des risques en question est considérée de niveau rare et les niveaux d'efficacité des éléments de maîtrise sont respectivement de niveau « 1- inexistant », « 2- Faible » et « 3- Partiel ». Bien que les risques n'aient pas été identifiés, il n'est pas imprudent de faire l'hypothèse que certains des éléments de maîtrises de l'organisme déjà mis en place pour d'autres risques pourraient atténuer les survenances des risques en question.

L'étude est réalisée avec prise en compte des ajustements induits par les éléments de maîtrise afin d'évaluer le risque au plus près de la réalité telle que décrite par les experts métiers.



**Graphique 26 :** Top 10 des risques les plus coûteux en moyenne – scénario sévérité

Les nouveaux risques pris en compte étant à impact financier majeur et sans éléments de maîtrise adaptés, ils arrivent en tête des risques les plus coûteux à l’organisme.



**Graphique 27 :** Distribution des pertes avec ajout de risques à fort impact financier

Au global, le  $SCR_{op}$  obtenu est de **14 790 k€**, soit près de 5 fois plus élevé que celui obtenu à partir des cotations nettes de la cartographie initiale.

#### b. Rajout de dix risques à forte fréquence de survenance

Il s’agit dans ce deuxième cas de figure d’évaluer l’impact de l’ajout de dix risques de fréquence à la cartographie des risques. Partant de l’éventualité que l’organisme soit exposé à ces risques, mais ne les ait pas identifiés au sein de sa cartographie, aucun élément de maîtrise n’a été pris en compte.

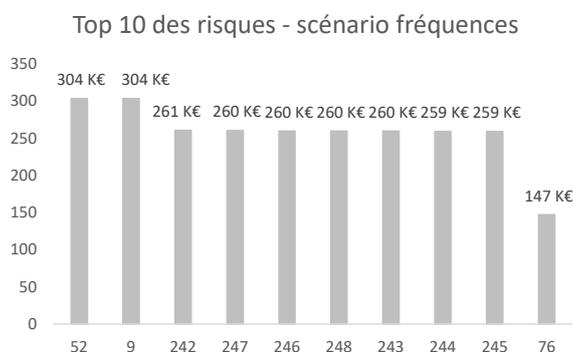
L’impact financier des risques en question est considéré inférieur à 10 k€ et sous la même hypothèse que certains éléments de maîtrise déjà existants pourraient atténuer les survenances de ces nouveaux risques, les niveaux d’efficacité d’EMR suivants ont été pris en compte :

- Quatre risques ont un niveau d’efficacité d’EMR « 1- Inexistant »,
- Trois risques ont un niveau d’efficacité d’EMR « 2 – Faible »,
- Trois risques ont un niveau d’efficacité d’EMR « 3 – Partiel »,

La fréquence des risques en question est considérée de niveau rare et les niveaux d’efficacité des éléments de maîtrise sont respectivement de niveau « 1- inexistant », « 2- Faible » et « 3-

Partiel ». Bien que les risques n'aient pas été identifiés, il n'est pas imprudent de faire l'hypothèse que certains des éléments de maitrises de l'organisme déjà mis en place pour d'autres risques pourraient atténuer les survenances des risques en question.

Le classement des 10 risques les plus couteux est alors donné par le graphique ci-dessous :



**Graphique 28** : Top 10 des risques les plus couteux en moyenne – scénario fréquence

Bien que sur les dix nouveaux risques de fréquence envisagés, sept se retrouve sur le podium des risques les plus chers, ceux-ci représentent visiblement une menace moindre que les risque à fort impact financier, mais à faible fréquence. En effet, la VaR<sub>99,5%</sub> obtenue en tant que mesure du risque opérationnel pour ce dernier scénario envisagé est de **4 785 k€** et un tel scénario engendrerait donc un capital au regard du risque opérationnel de 2 M€ plus élevé que celui obtenu à partir de la cartographie des risques d'Actyam.

## CHAPITRE IV : ANALYSE CRITIQUE DES RESULTATS ET PROPOSITIONS

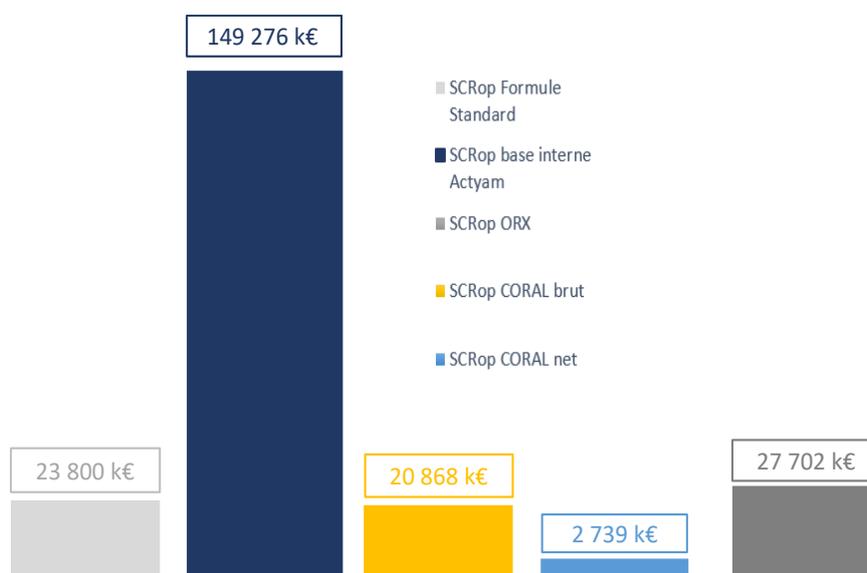
Dans un premier temps, cette dernière partie du mémoire vient analyser les différents résultats de chacune des approches entreprises et en souligner les points d'attention, les limites et les avantages. Elle expose dans un second temps des réflexions et des propositions de bonnes pratiques à mettre en place dans une démarche d'évaluation du risque opérationnel.

### 1. Récapitulatif des résultats

A l'issue des applications LDA, les résultats de capitaux au regard du risque opérationnel retenus sont ceux issus de l'agrégation par matrice de corrélation selon les rhô de Spearman.

Les résultats issus des prises en compte des cotations brutes et nettes d'éléments de maitrises sont repris à l'issue de l'approche CORAL.

De plus, le SCR<sub>op</sub> de l'organisme, obtenu avec la formule standard de Solvabilité II telle que présentée en annexe I est de 23 800 k€.



**Graphique 29** : Récapitulatif des mesures de risque opérationnels obtenues par méthode

Les résultats issus de la méthode standard, de la base de données O.R.X. et de l'approche CORAL sur les données brutes d'éléments de maîtrise sont d'ordres de grandeur similaires. Cependant, cela peut n'être dû qu'au hasard. En effet, chacune des méthodes couvre des périmètres plus ou moins différents, voir complémentaires (les quantifications issues de la base incidents externes complètent avec une information sur les risques majeurs extrêmes, certainement jamais survenus auparavant).

Le SCR<sub>op</sub> obtenu à partir de la base incidents Actyam est beaucoup plus élevé que les précédents, contrairement à la même mesure de risque obtenue avec CORAL® pour les cotations nettes qui elle est beaucoup plus faible.

De ce premier constat sur les montants de SCR<sub>op</sub> obtenus à l'issue des différentes méthodes appliquées ressort la complexité de quantification de risque opérationnel : le capital de

solvabilité obtenu au regard de ce dernier est très fluctuant en fonction de la méthode, des données choisies pour le calculer mais également du périmètre d'étude choisi.

La suite de cette partie se propose alors de commenter les résultats des différentes approches.

#### A. LA METHODE LDA SUR LA BASE INCIDENTS D'ACTYAM

Cette approche rétrospective de quantification du risque opérationnelle se base sur les données propres à l'organisme. Elle dépend étroitement de son profil de risque à la date d'arrêt du recensement des pertes ainsi que de l'exhaustivité de ce dernier.

D'autre part, l'estimation des paramètres de lois sur les échantillons de données induit une incertitude autour des résultats des tests statistiques d'adéquation.

Enfin, la limite de quantité de données et de leur exhaustivité pour chaque catégorie de risque induit également une incertitude quant aux estimations de lois. Sur ce dernier point, la construction d'intervalles de confiance permet d'indiquer le degré d'incertitude obtenu ce qui permet de relativiser l'importance du résultat renvoyé par les modèles.

Enfin, cette approche par base incidents considère les survenances passées des risques. Elle ne prend en compte ni les données sur les risques jamais survenus pour l'organisme, ni celles des éléments de maîtrise, d'atténuation ou de suppression des risques mis en place à posteriori.

#### B. L'APPROCHE DE QUANTIFICATION DE L'OUTIL CORAL

La méthode CORAL est une approche prospective qui part d'une vision « à jour » des risques donnée par les opérationnels qui leur sont le plus proche.

Cette approche repose fondamentalement sur un travail conjoint entre les services du contrôle interne et de l'actuariat. Elle nécessite une étroite collaboration et une parfaite communication entre ces deux services.

En effet, que ce soit pour les cotations d'impacts, de fréquences, d'efficacité des éléments de maîtrise et de leur effet, l'avis de l'expert métier est au centre des décisions et cela nécessite une parfaite prise en compte de l'enjeu de quantification.

L'approche CORAL présente toutefois de sérieux avantages. Elle capitalise sur les lourds travaux de gestion des risques déjà menés par les structures d'assurance dans le cadre de la réglementation en place. En effet, la cartographie des risques est réalisée minutieusement selon un référentiel organisé. Elle permet de recenser de façon exhaustive et spécifique chaque risque opérationnel susceptible de toucher les différents processus de l'organisme, selon les avis d'experts. D'autre part, CORAL permet une

quantification de l'impact des éléments de maîtrise et de l'efficacité des systèmes sur le capital de solvabilité requis.

Il est toutefois important de spécifier les bonnes pratiques à mettre en œuvre au moment des entretiens avec les équipes métiers et les experts.

Dans le cadre de la méthode CORAL®, certaines informations spécifiques sont à recensées dans le but de venir compléter la démarche avec un objectif de quantification du risque opérationnel et non plus exclusivement de gestion.

### C. LA METHODE LDA SUR LA BASE PUBLIQUE D'O.R.X

Enfin, la méthode LDA basée sur les données de la base publique d'ORX est quelque peu à part puisqu'elle ne couvre pas le même périmètre que la base incidents et la cartographie des risques de l'organisme. Elle vient compléter une démarche menée en interne avec des informations sur les risques rares et extrêmes tels que ceux des catégories de « Fraude » ou de « Clients, produits et pratiques commerciales ».

Comme pour l'application sur la base incidents d'Actyam, une incertitude découle de l'estimation des paramètres de lois sur les données ainsi que de la quantité de données. Les approches par bootstrap paramétrique et non paramétrique permettent de réduire et quantifier ces incertitudes.

Enfin, une telle quantification du risque opérationnel à partir des données de marché reste enrichissante et ses résultats peut venir renforcer, compléter ou simplement challenger les résultats obtenus en interne.

Finalement, les résultats des différentes méthodes ne sont pas vraiment comparables : chacune des méthodes à sa propre appréciation du risque et couvre un périmètre spécifique. L'approche CORAL et la LDA sur données internes se complètent dans leur discernement du risque puisqu'elle couvrent la même activité. La méthode LDA sur données externes, vient apporter une information complémentaire sur les risques sévères et rares sur lesquels l'organisme n'a pas forcément d'information ou d'expertise.

## 2. Propositions

Les méthodes entreprises sont chacune porteuses d'une philosophie particulière avec des approches différentes. Elles présentent chacune des limites et des axes d'amélioration spécifiques. Les analyses menées conduisent à l'émission d'un certain nombre de propositions.

## A. L'APPROCHE BASE INCIDENTS

L'approche de modélisation des pertes sur la base de données historiques nécessite une grande quantité de ressources, à savoir du temps et des compétences.

De plus, l'insuffisance de la qualité des données reste souvent problématique. Une solution souvent apportée est de faire appel aux dires d'experts. Ces derniers peuvent être appuyés par une mesure de l'incertitude autour des estimations par intervalles de confiance.

*Quel pourrait être un processus efficace permettant le recensement d'informations sur les incidents opérationnels en interne ?* Les équipes de chaque pôle d'activité doivent être formées à l'enregistrement de toute perte identifiée. Un seuil de collecte d'information est à définir en amont du lancement de la mission, de façon à ce qu'il n'y ait pas de doutes sur la nécessité ou non de recenser la perte.

Dans un environnement d'open data où beaucoup de données sont accessibles à tous, il reste très difficile pour un assureur d'accéder à une base de données sur les pertes opérationnelles complète et proche de son profil de risque (localisation, activité, etc.). La mise en place d'un pool d'assureurs français dont l'engagement serait le partage anonymisé des informations sur leur pertes opérationnelles internes peut être évoquée. Un accès « facile » à l'information sur les risques extrêmes serait instauré.

Du côté des autorités prudentielles et des réglementations, aucune exigence ne fait état d'une nécessité d'enregistrer les pertes opérationnelles subies. De ce fait, le processus de recensement des incidents n'est pas normalisé. Ce dernier point rajoute une difficulté dans l'éventualité d'une mise en commun des données de pertes. *Pourquoi ne pas travailler à la formalisation du processus d'alimentation d'une base incidents opérationnels ?* Enfin, préférer une approche par modélisation des pertes par catégorie de risque et non au global permet de croiser les résultats entre les différentes catégories et de potentiellement leur attribuer des poids en fonction d'un profil de risque spécifique.



### ***En pratique, comment alimenter une base incidents opérationnels ?***

- Former les équipes à la nécessité de recensement des pertes et à son utilité,
- Pour chaque perte identifiée au-delà du niveau de recensement, remplir plusieurs champs :
  - o la date d'occurrence du risque,
  - o la date de découverte,
  - o le processus,
  - o le montant de la perte financière induite (même s'il est nul),
  - o la catégorie de risque opérationnel correspondante,
  - o la liste des éléments de maîtrise du risque,
- Favoriser le choix d'une catégorisation des risques opérationnels accessible à tous les organismes (par exemple celle de Bâle II),
- Accompagner le fichier de stockage d'une note méthodologique reprenant les consignes d'alimentation de la base de données,
- S'assurer de la mise à jour de la base incidents régulière, à chaque survenance de risque opérationnel.

## **B. L'APPROCHE OUTIL CORAL<sup>®</sup> PAR CARTOGRAPHIE DES RISQUES**

L'exercice de construction d'une cartographie des risques opérationnels met en jeu plusieurs acteurs d'un organisme, allant des opérationnels aux responsables d'équipes. Cet outil (la cartographie des risques), pourtant démocratisé dans les systèmes de gestion des risques des assureurs, n'est pas suffisamment exploité à des fins de quantification du risque opérationnel.

Une cartographie des risques se base sur une description objective, structurée et documentée des risques opérationnels. Elle fait ressortir l'existence des risques et leur fréquence de survenance, les éléments susceptibles de les accroître et les réponses à y apporter. *Comment l'exploiter pour définir, ou du moins challenger, la quantification financière de son risque opérationnel ?*

Certaines informations sont à ajouter à celles habituellement recensées sur les risques au moment de la création de la cartographie. Cela nécessite la revue des cartographies des risques confectionnées selon les normes IFACI :

- La définition et la cotation de la fréquence de survenance du risque,
- La cohérence entre les cotations respectives de fréquences, d'impact financier et d'EMR,
- La définition de l'échelle d'ajustements induits par les EMR sur les cotations des risques.

Ces notions, lorsqu'elles viennent s'ajouter aux pratiques d'usages, ouvrent un nouveau champs d'application de la cartographie à la gestion des risques et à la quantification du risque opérationnel.

L'approche CORAL<sup>®</sup>, qui tisse un lien entre contrôle interne et gestion des risques permet une appréhension du risque multiple, avec la prise en compte ou non d'EMR. Cette possibilité de paramétrage permet de calculer le retour sur investissement des procédures mises en place pour maîtriser les risques.

Il est également possible de quantifier des sensibilités, faisant varier les cotations des risques ou supposant l'exposition à des risques supplémentaires.

De plus, la vision par risque reste disponible, ce qui permet de mettre en avant les risques les plus menaçants. L'analyse des résultats peut se faire sur une telle maille qu'elle vient servir les besoins de reporting et de pilotage des risques, avec une approche quantitative des impacts.

D'autre part, la sensibilité d'une telle approche aux risques à fort impact financier suggère un effort particulier en ce qui concerne l'identification des risques de sévérité.

Plusieurs ouvertures et axes d'amélioration viennent en complément de la mise en œuvre d'une telle démarche de quantification. En effet, *comment s'assurer de la prise en compte par la cartographie des risques extrêmes?* Peut-être serait-il intéressant de venir compléter la cartographie, dans un second temps, avec des scénarios sur les risques extrêmes. Cela permettrait de les introduire dans le périmètre des risques étudiés, et donc des risques opérationnels quantifiés. Ces scénarios pourraient être construits à partir des données publiques sur les risques opérationnels, recensant particulièrement les évènements extrêmes.



### Comment construire sa cartographie pour faire le lien entre le contrôle interne et l'actuariat ?

- S'assurer de l'exhaustivité des risques au moment du recensement,
- S'assurer de la bonne délimitation des périmètres par rapport aux autres risques déjà quantifiés : un risque assurantiel n'est pas un risque opérationnel,
- S'assurer de la cohérence des cotations de fréquence, d'impact financier et d'EMR au moment des entretiens,
- Définir les cotations avec un objectif de quantification du risque : la fréquence de survenance du risque et son impact financier doivent être définis en accord l'un avec l'autre,
- Définir la fréquence d'occurrence du processus auquel le risque est rattaché,
- Définir la fréquence de survenance du risque auquel le risque est rattaché,
- Bien spécifier l'échelle de cotation de l'impact financier : cette dernière est-elle exprimée par année ou par mois ?

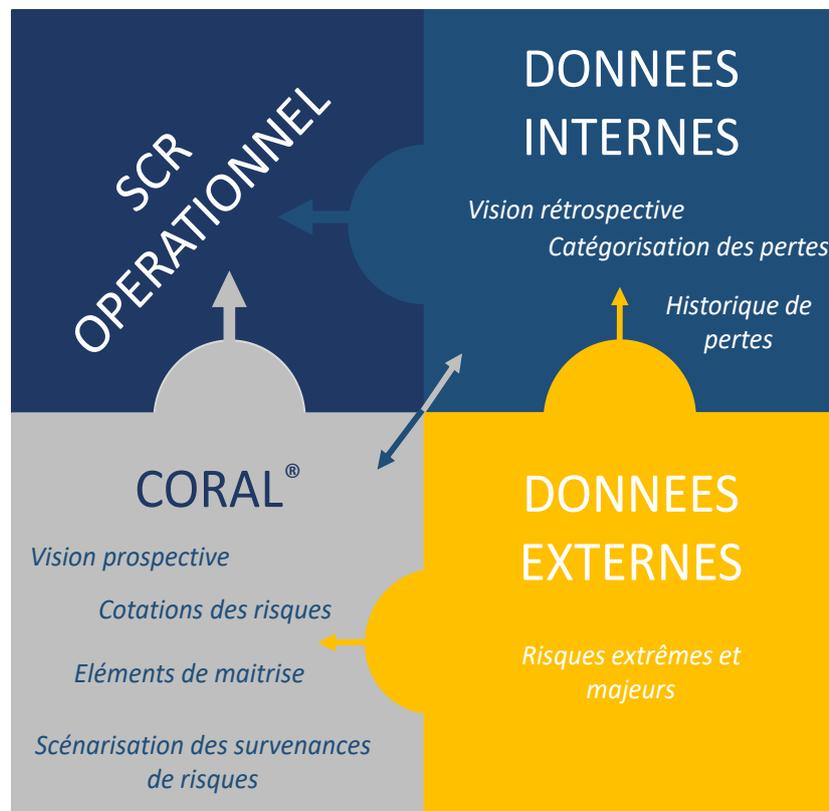


Figure 19 : Schéma de synthèse de l'étude

## CONCLUSION

Face à des mœurs contemporaines susceptibles d'accroître le risque opérationnel, ses approches de quantification ne sont pas universelles. Ce mémoire a eu pour intérêt la mise en œuvre et la comparaison d'approches de quantification du risque opérationnel.

Après avoir exploiter deux types de base incidents d'une part et développer une démarche de quantification du risque opérationnel à partir d'une cartographie des risques d'autre part, les résultats ne sont pas comparables. Les méthodes ne se remplacent pas l'une l'autre mais apportent des appréciations alternatives du risque qui peuvent s'emboîter ou se compléter dans une démarche de quantification.

Les méthodes LDA sur base interne et CORAL® sont assez complémentaires. Là où la première approche la quantification du risque d'une vision rétrospective, l'autre le fait de façon prospective.

Enfin, la méthode LDA sur données externes apporte une information supplémentaire sur les risques d'un autre périmètre : ceux sur lesquels l'organisme n'a pas forcément d'informations en interne.

Cependant, chacune de ces méthodes rencontre certaines limites.

La constitution d'une base incidents opérationnels exige la mise en place d'un dispositif de recensement permanent. Ce dernier doit avoir été étudié et choisi, de façon à ce que chaque perte recensée réponde à certains critères (seuil de collecte, périmètre de définition des risques, etc). Il nécessite également une sensibilisation des opérationnels à son utilisation. De plus, l'accès aux données externes et/ou publiques concernant les pertes opérationnelles d'autres assureurs est difficile.

En pratique, les données, quand elles existent, ne sont pas facilement exploitables. Des biais quant aux pertes recensées, aux informations qui les caractérisent ou au seuil de collecte sont identifiés. De ce fait, l'ajustement de lois usuelles sur les données de sévérité n'est pas toujours évident. L'utilisation de bases incidents à des fins de détermination du capital pour risque opérationnel exige un certain nombre de compétences et des ressources conséquentes. Souvent, elle fait également appel aux avis d'experts pour venir compléter les résultats.

Pour pallier les difficultés soulevées par les approches d'exploitation de données, certaines propositions ont été suggérées. La mise en place d'un pool d'assurance et la normalisation réglementaire d'un processus de recensement des pertes opérationnelles en font parties. Certaines propositions de bonnes pratiques quant à l'alimentation d'une base incidents ont également été émises.

La sélection de lois pour modéliser les fréquences et les sévérités par catégorie de risque a été menée sur la base de tests statistiques sur la qualité des ajustements. L'impact de l'estimation des paramètres de lois à partir des données historiques sur la fiabilité des test statistiques reste à approfondir. Une étude de quantification des biais présents dans les bases de données respectives pourrait être menée en dehors de ce mémoire.

Face au manque de communication et d'échanges entre équipes de gestion des risques et contrôle interne sur leur travaux, ce mémoire propose une démarche de quantification du risque opérationnel basée sur la cartographie des risques.

Cette dernière met à disposition une source exhaustive de données sur les risques opérationnels. Sous réserve de quelques informations supplémentaires à recenser, il a été montré qu'une mesure du  $SCR_{op}$  peut être obtenue à partir de la cartographie des risques. Cela implique la mise au point de certaines bonnes pratiques à rajouter aux méthodologies d'usage pour la création d'une cartographie des risques.

Une telle approche permet la hiérarchisation des risques les plus importants. Elle permet également de chiffrer l'impact des éléments de maîtrise sur le  $SCR_{op}$ . Une limite de la Formule Standard de Solvabilité II pour le risque opérationnel est que cette dernière ne prend en compte aucun ajustement en fonction des éléments de maîtrise investis par les organismes.

Les résultats obtenus à partir de l'outil CORAL® peuvent alors servir la remise en cause de la quantification du risque opérationnel par la Formule Standard dans le cadre d'une Évaluation Interne des Risques et de la Solvabilité (ORSA).

L'approche introduite avec l'outil CORAL® demande finalement l'alignement des informations recensées par le contrôle interne avec les objectifs de la gestion des risques et de l'actuariat. Bien que cela nécessite de nouvelles pratiques à intégrer aux protocoles actuellement appliqués, elle semble être plus encline à une utilisation par les petites à moyennes structures. En effet, la plupart de ces dernières travaillent déjà avec des cartographies des risques.

La principale limite à l'approche par cartographie des risques reste la nécessité de recensement des bonnes informations sur les risques et leurs impacts. La prise d'une telle initiative implique de reprendre toutes les démarches de cotations des risques d'une cartographie. En effet, les résultats de l'outil CORAL® sont très sensibles à la vision prise lors de la cotation des risques. Cette dernière doit donc être faite de façon cohérente avec un objectif de quantification à posteriori. Enfin, se pose la question des risques majeurs liés aux événements rares ou extérieurs, qui peuvent être très coûteux. Ces derniers pourraient éventuellement être rajoutés à la cartographie des risques, sous forme de scénarios imaginés ou inspirés des données publiques sur les événements rares.

## TABLES DES FIGURES

FIGURE 1 : RECAPITULATIF DES PRINCIPALES MESURES DE RISQUES OPERATIONNELS OBTENUES PAR METHODE	13
FIGURE 2 : SCHEMA DE SYNTHESE DE L'ETUDE	15
FIGURE 3 : MAIN OPERATIONAL RISK MEASURES OBTAINED BY METHOD	20
FIGURE 4 : QUELQUES CHIFFRES SUR LE RISQUE OPERATIONNEL DES ASSUREURS MEMBRES DU CONSORTIUM ORX	22
FIGURE 5 : EXEMPLES DE PERTES OPERATIONNELLES	23
FIGURE 6 : SCHEMA RECAPITULATIF DE LA METHODE STANDARD DE BALE III	29
FIGURE 7: STRUCTURE DES DIFFERENTS MODULES DE RISQUES SOUS SOLVABILITE II	30
FIGURE 8 : QUELQUES CHIFFRES SUR LES PRATIQUES DU MARCHÉ	32
FIGURE 9 : NOMBRE DE PERTES PAR CATEGORIE DE RISQUES RECENSEES PAR O.R.X EN 2020	35
FIGURE 10 : REPRESENTATION TRIDIMENSIONNELLE DU COSO	36
FIGURE 11 : ETAPES CONSTRUCTION D'UNE CARTOGRAPHIE DES RISQUES	37
FIGURE 12 : SCHEMA D'UN DISPOSITIF TYPE DE GESTION DES RISQUES	46
FIGURE 13 : STATISTIQUES DESCRIPTIVES DU NOMBRE DE PERTES PAR CATEGORIE DE RISQUE, PAR ANNEE DE SURVENANCE	60
FIGURE 14 : TRACE DE LA SERIE CHRONOLOGIE ET DE L'HISTOGRAMME DES MONTANTS DE PERTES DE LA BASE INTERNE	61
FIGURE 15 : TRACE DE LA SERIE CHRONOLOGIE ET DE L'HISTOGRAMME DES MONTANTS DE PERTES DE LA BASE O.R.X	83
FIGURE 16 : MATRICE DE DETERMINATION DU NIVEAU DE RISQUE BRUT	94
FIGURE 17 : CATEGORIES D'ELEMENTS DE MAITRISE DU RISQUE	94
FIGURE 18 : ÉCHELLE DE COTATION DE L'ÉLÉMENT DE MAITRISE	95
FIGURE 19 : SCHEMA DE SYNTHESE DE L'ETUDE	110

## TABLES DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : DEFINITIONS REGLEMENTAIRES DU RISQUE OPERATIONNEL	24
TABLEAU 2 : COEFFICIENTS DE PONDERATION PAR LIGNE D'ACTIVITE (BANQUES)	25
TABLEAU 3 : COEFFICIENTS MARGINAUX PAR TRANCHE D'INDICATEUR D'ACTIVITE	28
TABLEAU 4 : RECAPITULATIF DES METHODES REGLEMENTAIRES	33
TABLEAU 5: EXEMPLE D'ECHELLE DE COTATION DE LA FREQUENCE	38
TABLEAU 6 : EXEMPLE D'ECHELLE DE COTATION DES IMPACTS	39
TABLEAU 7 : EXEMPLES D'ECHELLES DE COTATION DES NIVEAUX D'UTILISATION ET IMPACT DES EMR	41
TABLEAU 8 : EXEMPLE D'ECHELLE D'APPRECIATION DES EMR	41
TABLEAU 9 : EXEMPLE DE MATRICE D'OBTENTION DU RISQUE NET	41
TABLEAU 10 : EXEMPLE DE DEFINITIONS DES NIVEAUX DE COTATION DU RISQUE NET	42
TABLEAU 11 : COMPARAISONS DES APPROCHES ASCENDANTES ET DESCENDANTES	44
TABLEAU 12 : MINIMUM, MAXIMUM ET QUANTILES DES DONNEES EMPIRIQUES (EN €)	61
TABLEAU 13 : STATISTIQUES DE DISPERSION ET DE FORME DE LA DISTRIBUTION EMPIRIQUE	61
TABLEAU 14 : RECAPITULATIF LES LOIS DE FREQUENCES RETENUES PAR CATEGORIE DE RISQUE POUR LA BASE ACTYAM	67
TABLEAU 15 : MESURES DE L'ECART DES FONCTIONS DE REPARTITIONS ET LEUR FORMULE EFFECTIVE	68
TABLEAU 16 : TABLEAU DES LOIS DE SEVERITE RETENUES PAR CATEGORIE DE RISQUE POUR LES DONNEES D'ACTYAM	75
TABLEAU 17 : RECAPITULATIF DES DISTRIBUTIONS DE FREQUENCE ET DE COUT POUR CHAQUE CATEGORIE DE RISQUE	76
TABLEAU 18 : SCR OPERATIONNEL PAR CATEGORIE DE RISQUE	76
TABLEAU 19 : MINIMUM, MAXIMUM ET QUANTILES DES MONTANTS DE PERTES NORMALISES (EN POURCENTAGES)	82

TABLEAU 20 : STATISTIQUES DE FORME ET DE DISPERSION DE LA DISTRIBUTION EMPIRIQUE PERTES NORMALISEE ( MOYENNE ET ECART-TYPE EXPRIMES EN POURCENTAGES)	82
TABLEAU 21 : RECAPITULATIF DES LOIS POUR MODELISER LA FREQUENCE	85
TABLEAU 22 : RECAPITULATIF DES DISTRIBUTIONS DE COUT POUR LES DONNEES O.R.X	88
TABLEAU 23 : RECAPITULATIF DES DISTRIBUTIONS DE FREQUENCE ET DE COUT POUR CHAQUE CATEGORIE DE RISQUE	88
TABLEAU 24 : SCR OPERATIONNELS OBTENUS AVEC LES DONNEES O.R.X., PAR CATEGORIE DE RISQUE (EN M€)	89
TABLEAU 25 : RECAPITULATIF DES MONTANTS SCR PAR METHODES D'AGREGATION (EN M€)	91
<i>TABLEAU 26 : ÉCHELLE DE COTATION DES IMPACTS</i>	93
<i>TABLEAU 27 : ÉCHELLE DE COTATION DES FREQUENCES D'OCCURRENCE DES RISQUES</i>	93
TABLEAU 28 : STATISTIQUES DESCRIPTIVES DES COTATIONS DES RISQUES OPERATIONNELS D'ACTYAM	95
TABLEAU 29 : NOMBRE DE RISQUES PAR NIVEAUX DE FREQUENCE BRUTE	95
TABLEAU 30 : NOMBRE DE RISQUE PAR NIVEAUX D'IMPACT FINANCIER BRUT	95

## TABLES DES GRAPHIQUES

GRAPHIQUE 1 : AJUSTEMENTS DE FREQUENCE POUR LE RISQUE DE DEFAILLANCE DES SYSTEMES	65
GRAPHIQUE 2 : COMPARAISON GRAPHIQUE AVEC UNE LOI DU CHI-DEUX POUR L'AJUSTEMENT A UNE LOI DE POISSON	66
GRAPHIQUE 3 : COMPARAISON GRAPHIQUE AVEC UNE LOI DU CHI-DEUX POUR UNE LOI BINOMIALE NEGATIVE	66
GRAPHIQUE 4 : COMPARAISON DES FONCTIONS DE REPARTITION POUR LE RISQUE DE DEFAILLANCE DES SYSTEMES	72
GRAPHIQUE 5 : COMPARAISON DES QQ-PLOT POUR LE RISQUE DE DEFAILLANCE DES SYSTEMES	73
GRAPHIQUE 6 : COMPARAISON DES FONCTIONS DES DENSITES THEORIQUES ET EMPIRIQUES POUR LE RISQUE DE DEFAILLANCE DES SYSTEMES	73
GRAPHIQUE 7 : COMPARAISON DES FONCTIONS DE REPARTITION ET ENVELOPPES DE CONFIANCE	75
GRAPHIQUE 8 : COMPARAISON DES GRAPHIQUES QUANTILES-QUANTILES ET ENVELOPPES DE CONFIANCE	75
GRAPHIQUE 9 : PROPORTIONS DU NOMBRE DE PERTES RECENSEES PAR CATEGORIE DE RISQUE	82
GRAPHIQUE 10 : AJUSTEMENTS DE FREQUENCE POUR LE RISQUE CLIENTS, PRODUITS ET PRATIQUES COMMERCIALES	84
GRAPHIQUE 11 : COMPARAISON GRAPHIQUE DE LA DISTRIBUTION DE LA STATISTIQUE DE TEST APPROCHEE PAR <i>BOOTSTRAP</i> AVEC UNE LOI DU CHI-DEUX A 3 DEGRES DE LIBERTE	85
GRAPHIQUE 12: COMPARAISON DES FONCTIONS DE REPARTITION POUR LE RISQUE CLIENTS, PRODUITS ET PRATIQUES COMMERCIALES	86
GRAPHIQUE 13: COMPARAISON DES QQ-PLOT POUR LE RISQUE CLIENTS, PRODUITS ET PRATIQUES COMMERCIALES	86
GRAPHIQUE 14 : COMPARAISON DES FONCTIONS DE DENSITES THEORIQUES ET EMPIRIQUE POUR LE RISQUE CLIENTS, PRODUITS ET PRATIQUES COMMERCIALES	87
GRAPHIQUE 15 : COMPARAISON DES FONCTIONS DE REPARTITION ET ENVELOPPES DE CONFIANCE	87
GRAPHIQUE 16 : COMPARAISON DES GRAPHIQUES QUANTILES-QUANTILES ET ENVELOPPES DE CONFIANCE	88
GRAPHIQUE 17 : TRACE DE LA DISTRIBUTION DES PERTES OBTENUES A PARTIR DES DONNEES BRUTES DE LA CARTOGRAPHIE	96
GRAPHIQUE 18 : RESTITUTION DU TOP 10 DES RISQUES LES PLUS COUTEUX EN MOYENNE EN VISION BRUTE	96
GRAPHIQUE 19 : TRACE DE LA DISTRIBUTION DES PERTES SELON LES PARAMETRES DE FREQUENCES NETTES	97
GRAPHIQUE 20 : TOP 10 DES RISQUES LES PLUS COUTEUX EN MOYENNE EN VISION FREQUENCES NETTE	98
GRAPHIQUE 21 : DISTRIBUTION DES PERTES AVEC AJUSTEMENT SUR LES IMPACTS FINANCIERS	99
GRAPHIQUE 22 : TOP 10 DES RISQUES LES PLUS COUTEUX EN MOYENNE EN VISION IMPACT FINANCIER AJUSTE	99
GRAPHIQUE 23 : DISTRIBUTION DES PERTES SELON LES COTATIONS NETTES D'EMR	100
GRAPHIQUE 24 : TOP 10 DES RISQUES LES PLUS COUTEUX EN MOYENNE EN VISION RISQUE BRUT	100
GRAPHIQUE 25 : DISTRIBUTION DES PERTES SELON LES AJUSTEMENTS MODIFIES	101
GRAPHIQUE 26 : TOP 10 DES RISQUES LES PLUS COUTEUX EN MOYENNE – SCENARIO SEVERITE	102
GRAPHIQUE 27 : DISTRIBUTION DES PERTES AVEC AJOUT DE RISQUES A FORT IMPACT FINANCIER	102
GRAPHIQUE 28 : TOP 10 DES RISQUES LES PLUS COUTEUX EN MOYENNE – SCENARIO FREQUENCE	103
GRAPHIQUE 29 : RECAPITULATIF DES MESURES DE RISQUE OPERATIONNELS OBTENUES PAR METHODE	104
GRAPHIQUE 30 : AJUSTEMENTS DE FREQUENCE POUR LE RISQUE DE FRAUDE	121
GRAPHIQUE 31 : COMPARAISON GRAPHIQUE AVEC UNE LOI DU CHI-DEUX POUR L'AJUSTEMENT A UNE LOI DE POISSON	121
GRAPHIQUE 32 : AJUSTEMENTS DE FREQUENCE POUR LE RISQUE CLIENTS	122
GRAPHIQUE 33 : COMPARAISON GRAPHIQUE AVEC UNE LOI DU CHI-DEUX POUR L'AJUSTEMENT A UNE LOI DE POISSON	122
GRAPHIQUE 34 : AJUSTEMENTS DE FREQUENCE POUR LE RISQUE DE PROCESSUS	123
GRAPHIQUE 35 : COMPARAISON GRAPHIQUE AVEC UNE LOI DU CHI-DEUX POUR L'AJUSTEMENT A UNE LOI DE POISSON	123

GRAPHIQUE 36 : COMPARAISON GRAPHIQUE AVEC UNE LOI DU CHI-DEUX POUR L'AJUSTEMENT A UNE LOI BINOMIALE NEGATIVE	124
GRAPHIQUE 37 : COMPARAISON DES FONCTIONS DE REPARTITION ET ENVELOPPES DE CONFIANCE POUR LE RISQUE DE FRAUDE	125
GRAPHIQUE 38 : COMPARAISON DES QQ-PLOT ET ENVELOPPES DE CONFIANCE POUR LE RISQUE DE FRAUDE	125
GRAPHIQUE 39 : COMPARAISON DES FONCTIONS DE REPARTITION ET ENVELOPPES DE CONFIANCE POUR LE RISQUE CLIENTS	126
GRAPHIQUE 40 : COMPARAISON DES QQ-PLOT ET ENVELOPPES DE CONFIANCE ET COMPARAISON DES DENSITES POUR LE RISQUE CLIENTS	126
GRAPHIQUE 41 : COMPARAISON DES FONCTION DE REPARTITION ET ENVELOPPES DE CONFIANCES POUR LE RISQUE DE PROCESSUS	127
GRAPHIQUE 42 : COMPARAISON DES QQ-PLOT ET ENVELOPPE DE CONFIANCE POUR LE RISQUES DE PROCESSUS	127
GRAPHIQUE 43 : COMPARAISON DES DENSITES POUR LE RISQUE DE PROCESSUS	127
GRAPHIQUE 44 : COMPARAISON DES FONCTIONS DE REPARTITION ET ENVELOPPES DE CONFIANCE POUR LE RISQUE LIE AUX EMPLOYES	128
GRAPHIQUE 45 : COMPARAISON DES QQ-PLOT ET ENVELOPPES DE CONFIANCE ET COMPARAISON DES DENSITES POUR LE RISQUE LIE AUX EMPLOYES	128
GRAPHIQUE 46 : AJUSTEMENTS DE FREQUENCE POUR LE RISQUE DE FRAUDE INTERNE	129
GRAPHIQUE 47 : COMPARAISON GRAPHIQUE AVEC UNE LOI DU CHI-DEUX POUR L'AJUSTEMENT A UNE LOI BINOMIALE NEGATIVE	129
GRAPHIQUE 48 : AJUSTEMENTS DE FREQUENCE POUR LE RISQUE DE FRAUDE EXTERNE	130
GRAPHIQUE 49 : COMPARAISON GRAPHIQUE AVEC UNE LOI DU CHI-DEUX POUR L'AJUSTEMENT A UNE LOI BINOMIALE NEGATIVE	130
GRAPHIQUE 50 : AJUSTEMENTS DE FREQUENCE POUR LE RISQUE DE DEFAILLANCE DES PROCESSUS	131
GRAPHIQUE 51 : COMPARAISON GRAPHIQUE AVEC UNE LOI DU CHI-DEUX POUR L'AJUSTEMENT A UNE LOI BINOMIALE NEGATIVE	131
GRAPHIQUE 52 : COMPARAISON DES FONCTIONS DE REPARTITION ET ENVELOPPES DE CONFIANCE POUR LE RISQUE DE FRAUDE INTERNE	132
GRAPHIQUE 53 : COMPARAISON DES DENSITES POUR LE RISQUE DE FRAUDE INTERNE	132
GRAPHIQUE 54 : COMPARAISON DES QQ-PLOT POUR LE RISQUE DE FRAUDE INTERNE	132
GRAPHIQUE 55 : COMPARAISON DES FONCTIONS DE REPARTITION ET ENVELOPPES DE CONFIANCE POUR LE RISQUE DE FRAUDE EXTERNE	133
GRAPHIQUE 56 : COMPARAISON DES DENSITES POUR LE RISQUE DE FRAUDE EXTERNE	133
GRAPHIQUE 57 : COMPARAISON DES QQ-PLOT POUR LE RISQUE DE FRAUDE EXTERNE	133
GRAPHIQUE 58 : COMPARAISON DES FONCTIONS DE REPARTITION ET ENVELOPPES DE CONFIANCE POUR LE RISQUE DE PROCESSUS	134
GRAPHIQUE 59 : COMPARAISON DES QQ-PLOT POUR LE RISQUE DE DEFAILLANCE DES PROCESSUS	134
GRAPHIQUE 60 : COMPARAISON DES DENSITES POUR LE RISQUE DES PROCESSUS	134

## BIBLIOGRAPHIE

### Textes réglementaires

Parlement européen et du Conseil du 25 novembre 2009 [2009], Directive 2009/138/CE, « La Directive Solvabilité II : Directive sur l'accès aux activités de l'assurance et de la réassurance et leur exercice »

Commission européenne [2014], « Règlement délégué : compléments d'information sur l'accès aux activités de l'assurance et de la réassurance et leur exercice ».

Comité de Bâle sur le contrôle bancaire, Note récapitulative sur les réformes Bâle III , Décembre 2017.

Institut Français de l'audit et du contrôle internes, Cahier de la Recherche – La cartographie des risques, 2<sup>e</sup> édition.

### Articles et Ouvrages

SANDSTROM. A (2011). Handbook of Solvency for Actuaries and Risk Managers, Theory and Practice, Chapman & Hall/CRC Finance Series.

Frédéric Bertrand et Myriam Maumy-Bertrand (2014). Initiation à la statistique avec R, 2<sup>e</sup> édition, Dunod.

ORX Organization, « ORX Annual Insurance Operational Risk Report 2020 », Juin 2020.

ORX Organization, « ORX Insurance Operational Risk Reporting Standards », Edition 2018.

ORX Organization, « Capital Methodology in the insurance industry » , Été 2017.

« The future of operational risk management, Evolving data architectures » , Deloitte. Janvier 2019.

### Mémoires et documents de recherches

GAMONET J. [2010]. Modélisation du risque opérationnel dans l'assurance. Mémoire de fin d'étude, Centre d'études actuarielles.

DAHEN H. [2007]. La quantification du risque opérationnel des institutions bancaires. Thèse en vue d'obtention de grade de Ph.D en Administration, HEC Montréal.

KPMG [2014]. Document de recherche sur le risque opérationnel. Institut Canadien des Actuaires.

### Références internet

ACPR, Risque opérationnels : les enjeux réglementaires, Support de présentation du 25 Septembre 2018.

### Supports de cours

BERARD J., « Applications statistiques avec R », Strasbourg : DUAS, 1ere année de Master, 2018/2019.

## ANNEXES

### Annexe I - Calcul du SCR opérationnel selon la formule standard :

L'article 204 - Section 8 du Règlement Délégué présente alors la formule de l'exigence de capital pour le module « Risque opérationnel » suivante :

$$SCR_{op} = \min(0,3 * BSCR; Op) + 0.25 * Exp_{ul}$$

Où :

- BSCR désigne le capital de solvabilité requis de base,
- $Exp_{ul}$  désigne le montant des dépenses encourues au cours des 12 derniers mois en ce qui concerne les contrats d'assurance vie où le risque d'investissement est supporté par les souscripteurs.
- $Op$  désigne le capital de base pour risque opérationnel, tel que :

$$Op = \max (Op_{provisions}; Op_{primes})$$

Avec :

$$Op_{primes} = 0.04(Primes_{life} - Primes_{life-ul}) + 0.03Primes_{non-life} + \max \left( 0; 0.04 * (Primes_{life} - 1.2 * pPrimes_{life} - (Primes_{life-ul} - 1.2 * pPrimes_{life-ul})) \right) + \max (0; 0.03 * (Primes_{non-life} - 1.2 * pPrimes_{non-life})) ,$$

Où :

- $Primes_{vie}$  et  $Primes_{non-vie}$  désignent respectivement les primes acquises au cours des 12 derniers mois pour les engagements d'assurance et de réassurance vie et non-vie, sans déduction des primes de contrats d'assurance ;
- $Primes_{vie-ul}$  désigne les primes acquises au cours des 12 derniers mois pour les engagements d'assurance et de réassurance vie pour lesquels le risque d'investissement est supporté par les preneurs, sans déduction des primes et des contrats de réassurance ;
- $pPrimes_{vie}$  et  $pPrimes_{non-vie}$  désignent respectivement les primes acquises au cours des 12 derniers mois précédents les 12 derniers mois pour les engagements d'assurance et de réassurance vie et non-vie;
- $pPrimes_{vie-ul}$  désigne les primes acquises au cours des 12 derniers mois précédents les 12 derniers mois pour les engagements d'assurance et de réassurance vie, sans déduction des primes des contrats de réassurance ;

Et

$$Op_{provisions} = 0.0045 * \max(0; PT_{vie} - PT_{vie-ul}) + 0.03 * \max(0; PT_{non-vie})$$

Où :

- $PT_{vie}$  et  $PT_{non-vie}$  désignent respectivement les provisions techniques pour les engagements d'assurance et de réassurance vie et non-vie ;
- $PT_{vie-ul}$  désignent respectivement les provisions techniques pour les engagements d'assurance et de réassurance vie pour lesquels le risque d'investissement est supporté par les preneurs ;

## Annexe II – Différentes lois probabilistes

La fonction de densité d'une variable aléatoire  $X$  est définie par la relation suivante :

$$P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(t)dt = F(x)$$

Où  $f(x)$  est la densité de probabilité et  $F(x)$  la fonction de répartition.

Si  $X$  est une variable aléatoire discrète, on parle alors de fonction de masse et la fonction de répartition est de la forme suivante :

$$F(x) = \sum_{t \leq x} f(t)$$

Présentons quelques lois de probabilités usuelles que nous utiliserons par la suite :

### Loi de poisson

Soit  $\lambda \in \mathbb{R}_+$ . On appelle loi de Poisson de paramètre  $\lambda$  la loi de probabilités discrète  $f$  de support  $\mathbb{N}$  vérifiant :

$$f(k) = \begin{cases} e^{-\lambda} \frac{\lambda^k}{k!} & \text{pour } k \in \mathbb{N} \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

Si  $X$  est une variable aléatoire de loi de Poisson  $\mathcal{P}(\lambda)$  alors :

$$E[X] = \text{Var}[X] = \lambda$$

### Loi binomiale négative

Soit  $p \in ]0,1]$  et  $k \in \mathbb{N}^*$ . On appelle loi binomiale négative de paramètres  $k$  et  $p$ ,  $n\text{Binom}(k,p)$  la loi de probabilité discrète  $f$  de support  $\{k, k+1, k+2, \dots\}$  vérifiant :

$$f(k) = \begin{cases} C_{n-1}^{k-1} p^k (1-p)^{n-k} & \text{pour } n \in \mathbb{N} \quad n \geq k, \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

Généralement, on modélise une variable aléatoire par une loi binomiale négative lorsque l'on étudie le nombre d'évènements pouvant se réaliser dans le temps et qui n'ont pas la même probabilité de se réaliser.

### Loi log-normale

La loi log-normale de paramètres  $\mu$  et  $\sigma$  admet pour densité de probabilité, pour  $x > 0$  :

$$f(x; \mu; \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln(x - \mu))^2}{2\sigma^2}\right)$$

Si  $X$  est une variable aléatoire de loi log-normale de paramètres  $\mu$  et  $\sigma$ , alors on note  $X \sim \text{Log} - \mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$ . Généralement, on modélise une variable aléatoire par une loi log-normale lorsque les mesures ou observations dont on dispose sont le résultat d'un effet multiplicatif d'un très grand nombre d'autres variables indépendantes. Plus généralement, il est d'usage de tenter l'ajustement d'une loi Log-Normale lorsque la distribution des observations est très asymétrique.

### Loi de Weibull

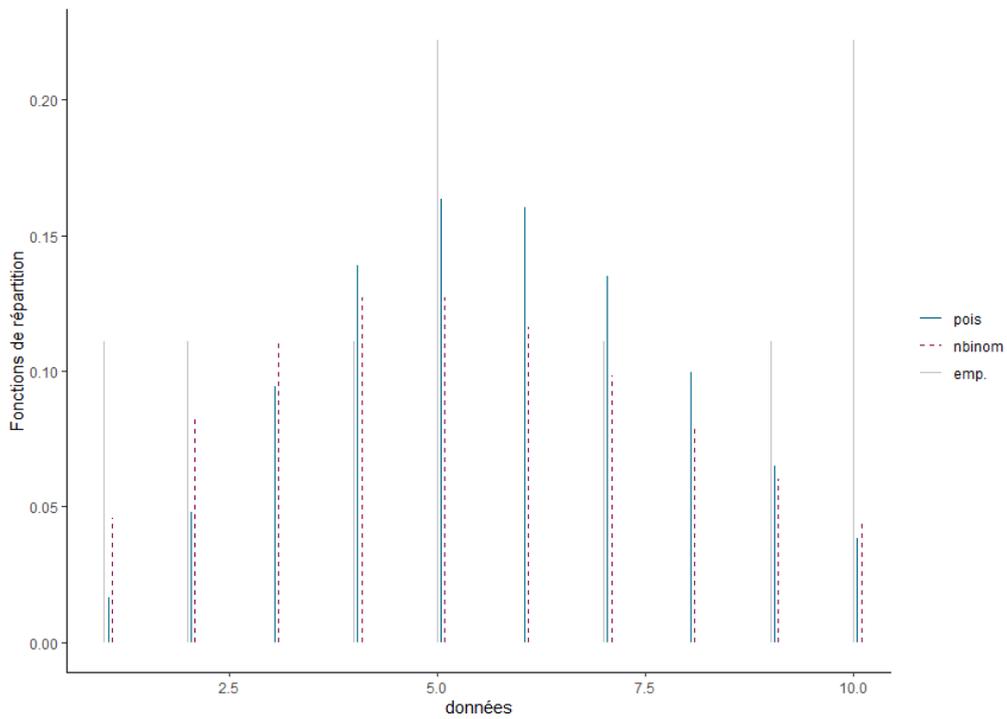
Une variable aléatoire continue  $X$  suit une loi de Weibull de paramètres  $\alpha, \beta \in \mathbb{R}_+^*$  si elle admet pour densité de probabilité la fonction :

$$f(t) = \begin{cases} \beta \alpha t^{\alpha-1} e^{-\beta t^\alpha} & \text{si } 0 < t \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

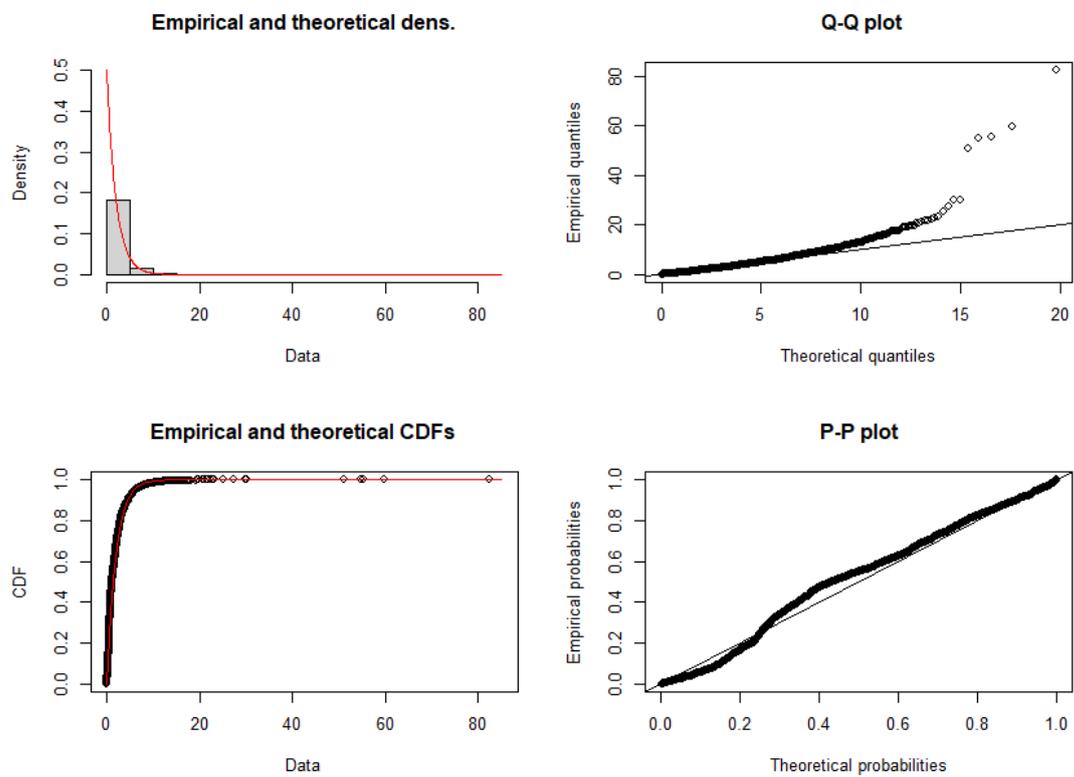
On note alors que  $X \sim \mathcal{W}(\alpha, \beta)$ . La loi de Weibull peut modéliser le temps écoulé entre deux évènements consécutifs.

# Annexe III – Graphiques des ajustements de fréquence sur les données d’Actyam

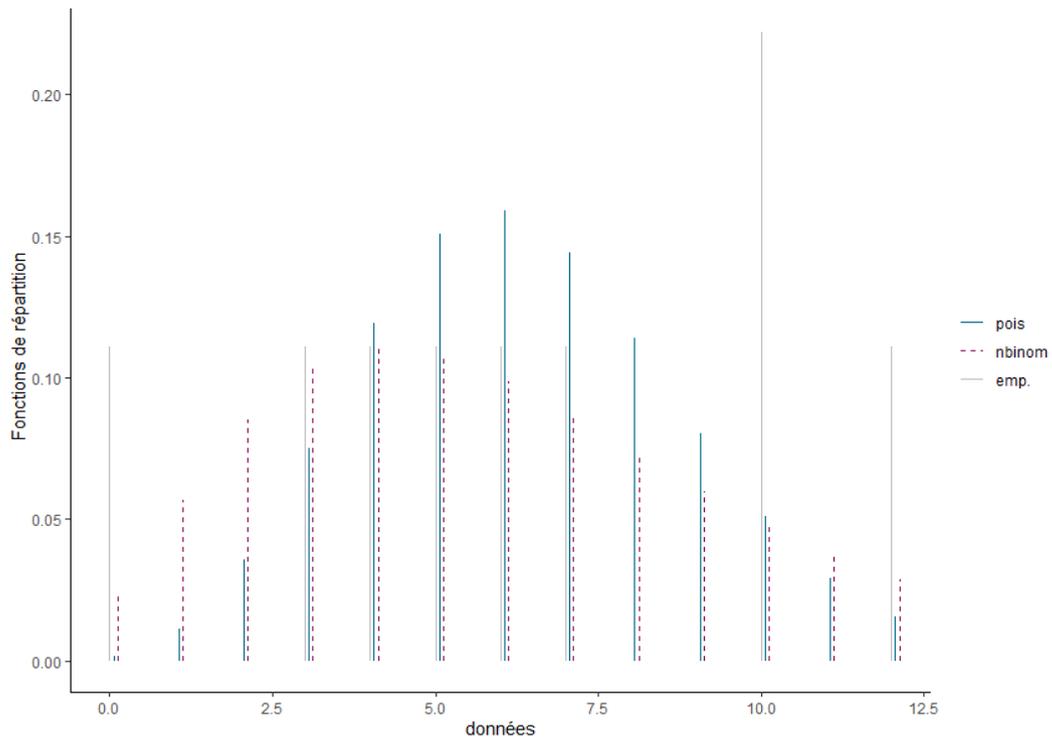
## Risques de fraude



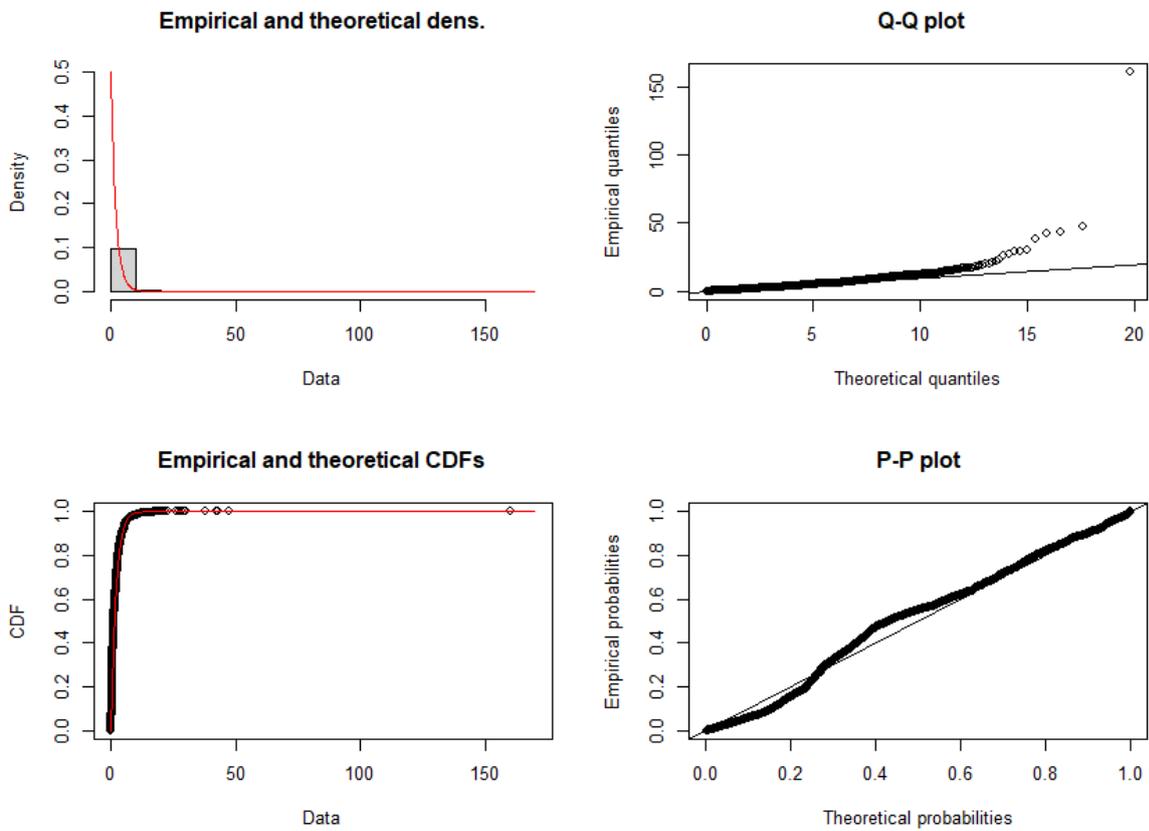
Graphique 30 : Ajustements de fréquence pour le risque de fraude



Graphique 31 : Comparaison graphique avec une loi du Chi-Deux pour l'ajustement à une loi de Poisson

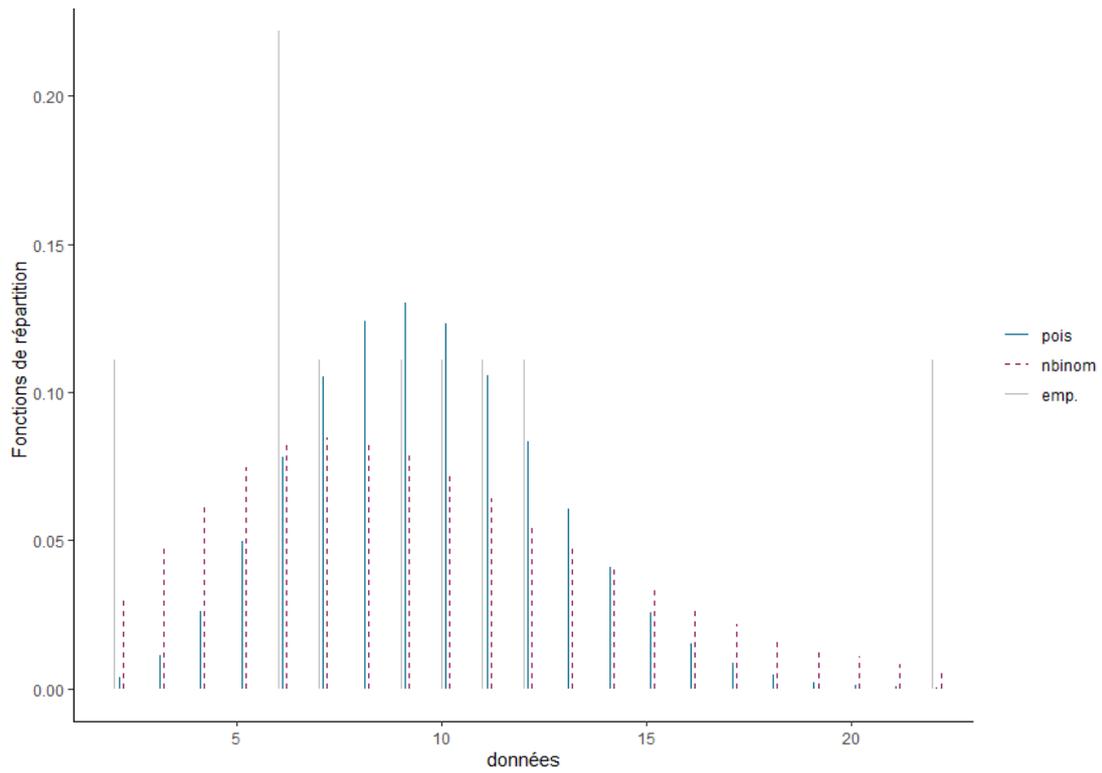


Graphique 32 : Ajustements de fréquence pour le risque Clients

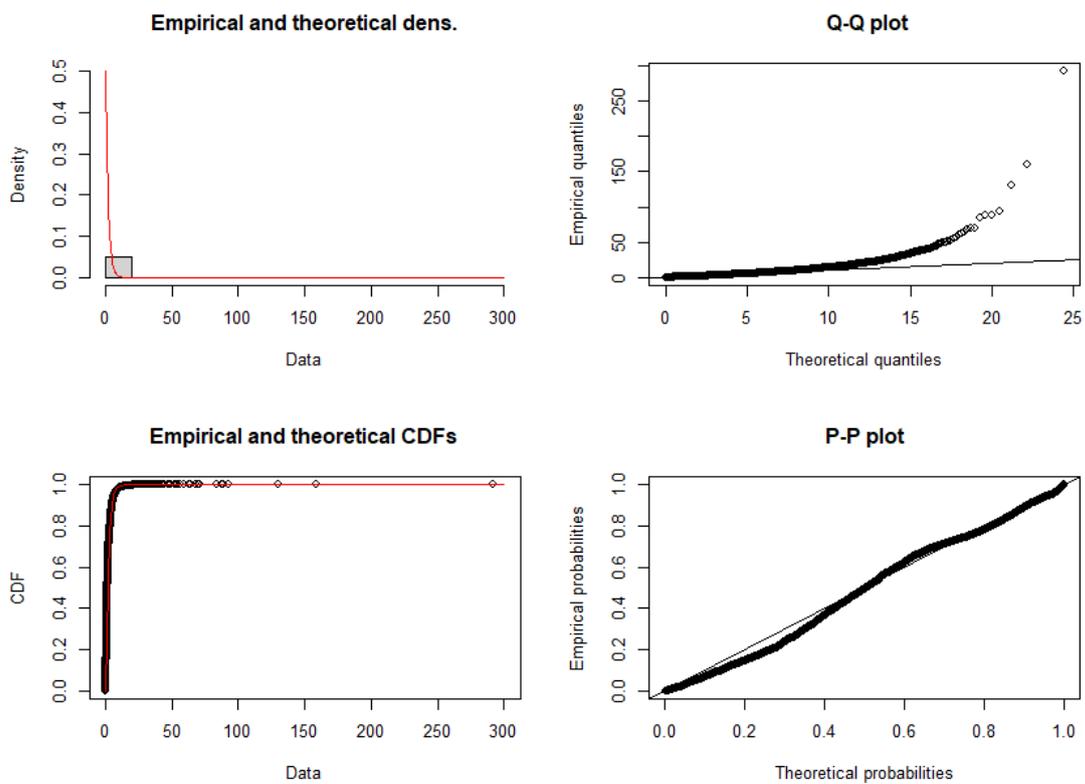


Graphique 33 : Comparaison graphique avec une loi du Chi-Deux pour l'ajustement à une loi de Poisson

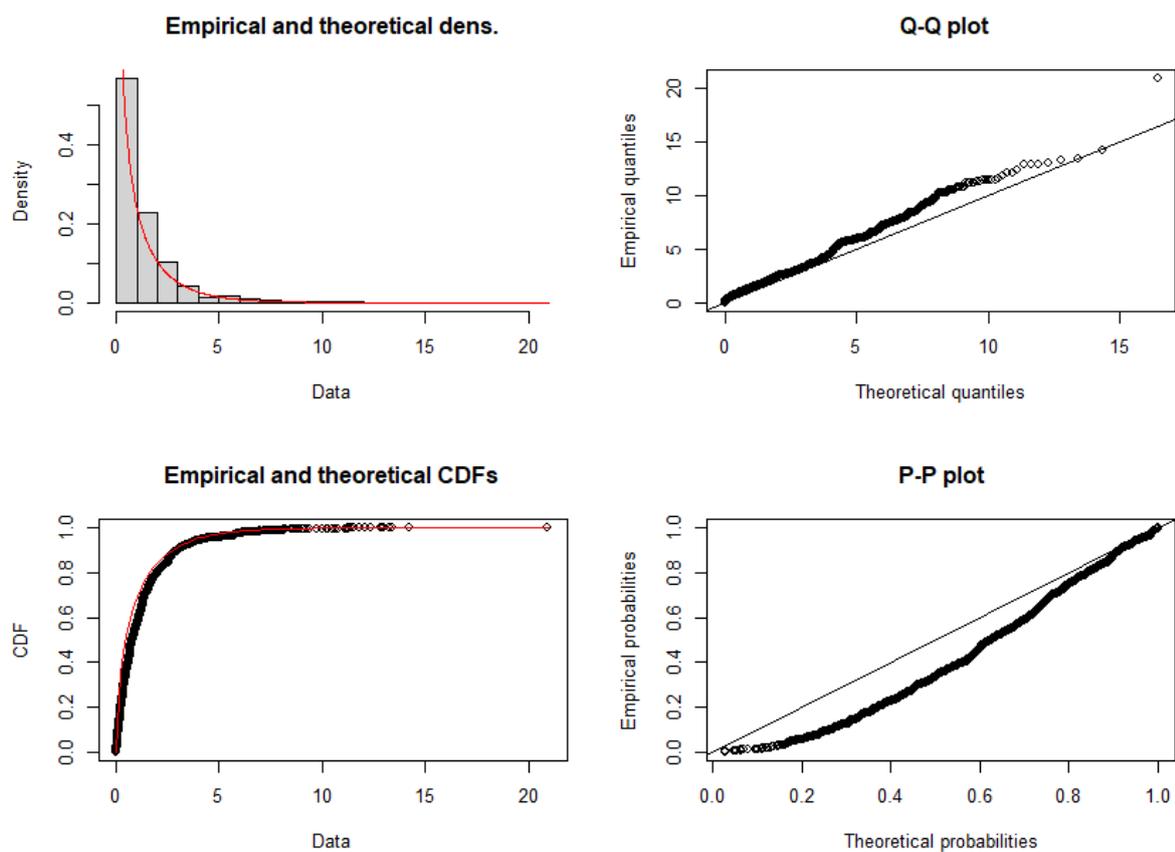
## Risque d'erreur des processus



Graphique 34 : Ajustements de fréquence pour le risque de processus

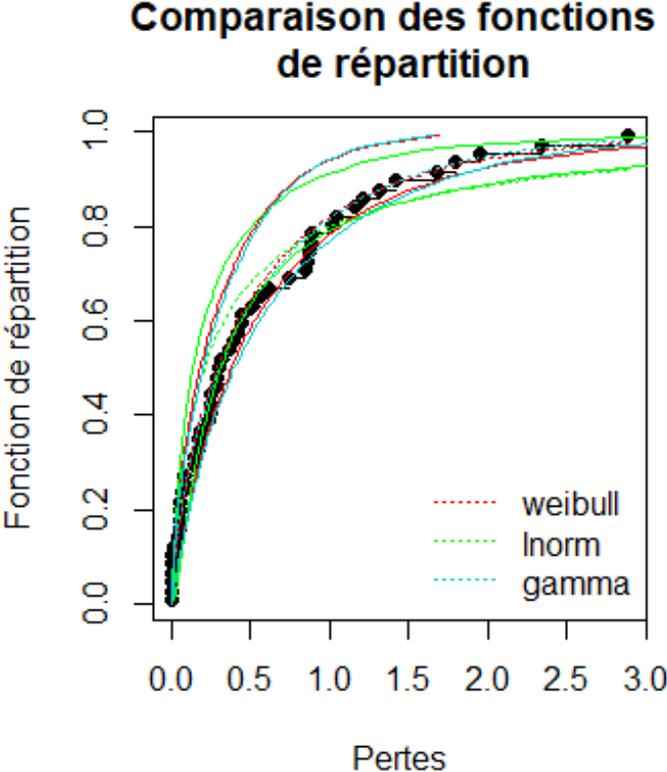


Graphique 35 : Comparaison graphique avec une loi du Chi-Deux pour l'ajustement à une loi de Poisson

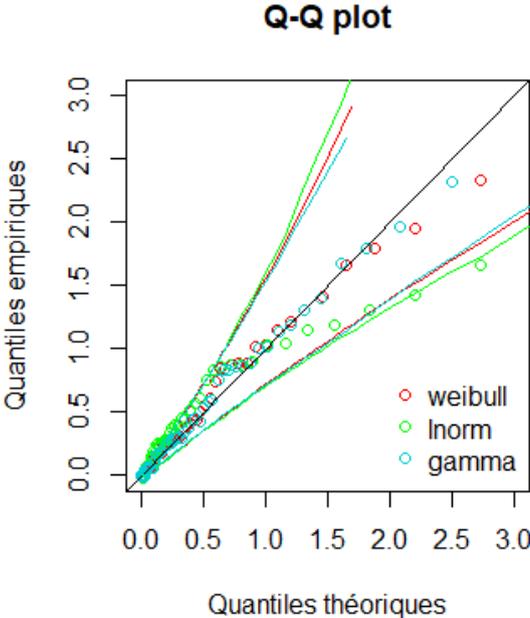


Graphique 36 : Comparaison graphique avec une loi du Chi-Deux pour l'ajustement à une loi Binomiale Négative

Risques de fraude

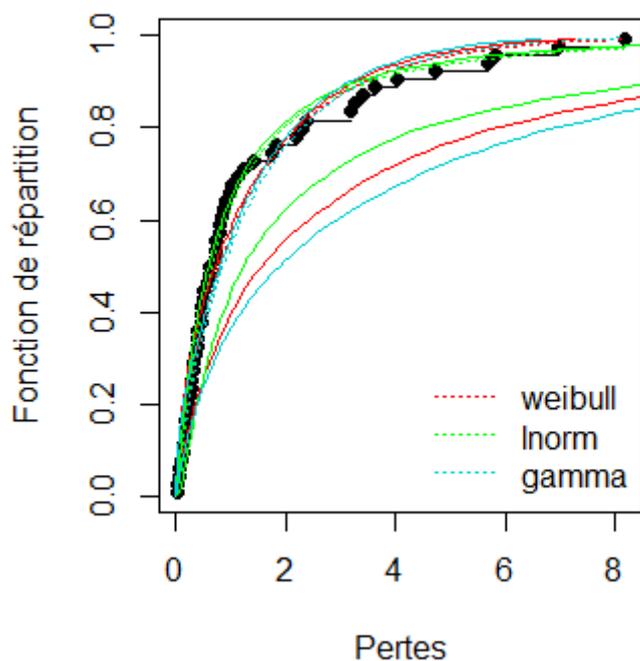


Graphique 37 : Comparaison des fonctions de répartition et enveloppes de confiance pour le risque de fraude

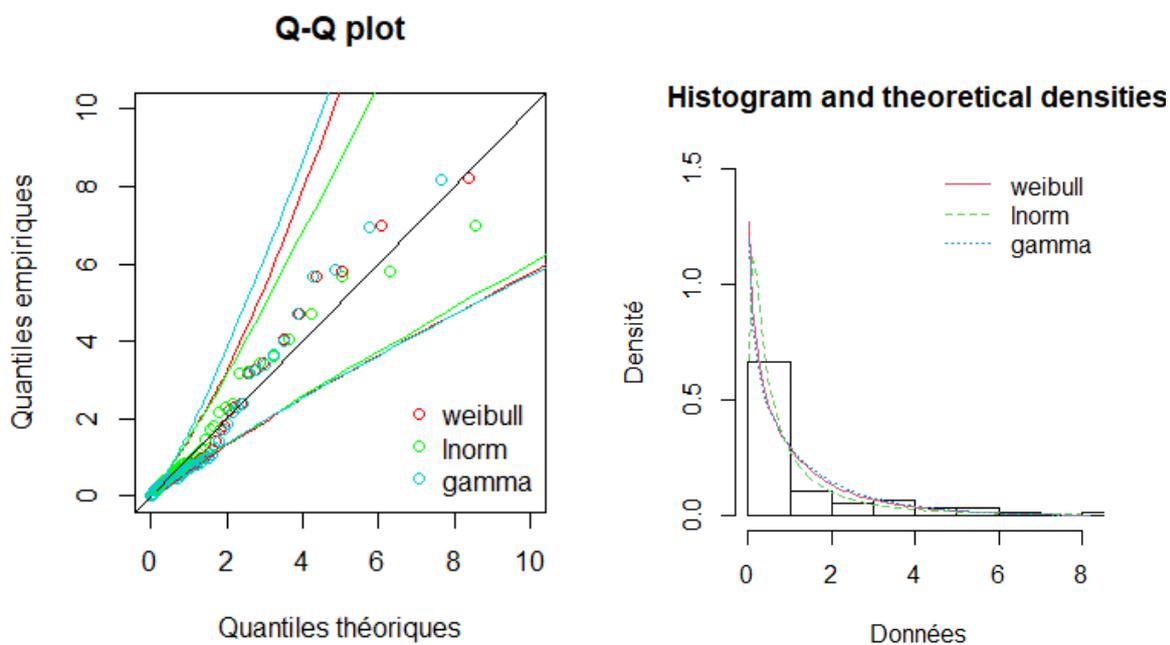


Graphique 38 : Comparaison des QQ-plot et enveloppes de confiance pour le risque de fraude

### Comparaison des fonctions de répartition

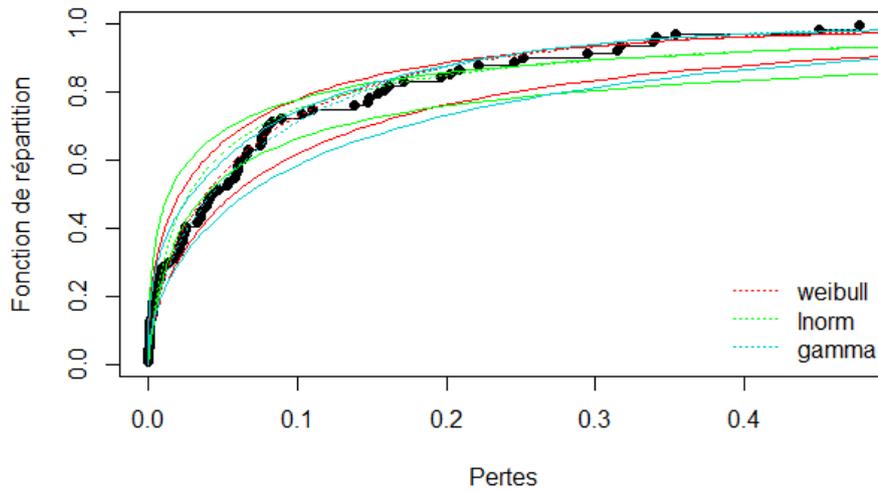


Graphique 39 : Comparaison des fonctions de répartition et enveloppes de confiance pour le risque Clients

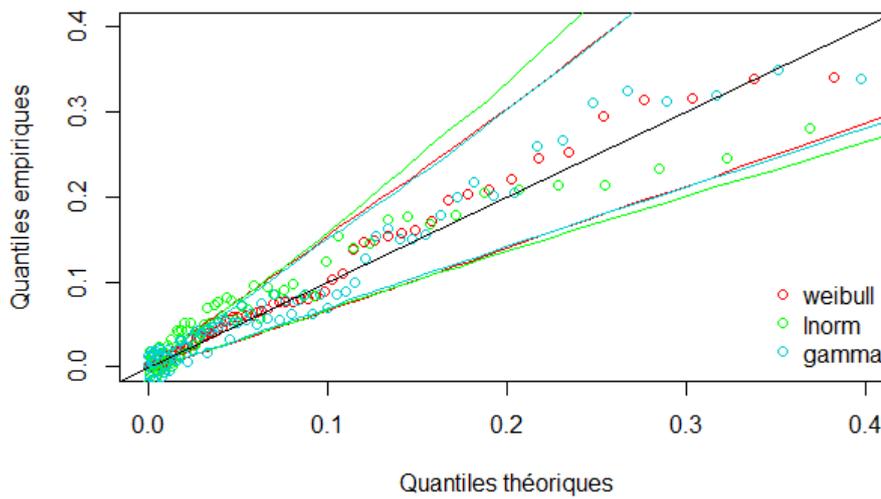


Graphique 40 : Comparaison des QQ-plot et enveloppes de confiance et comparaison des densités pour le risque Clients

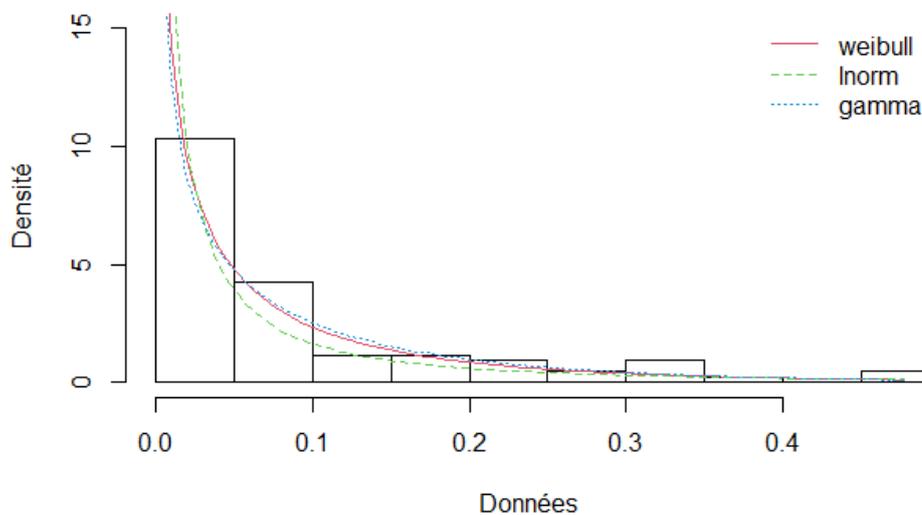
## Risque d'erreur des processus



Graphique 41 : Comparaison des fonction de répartition et enveloppes de confiances pour le risque de processus

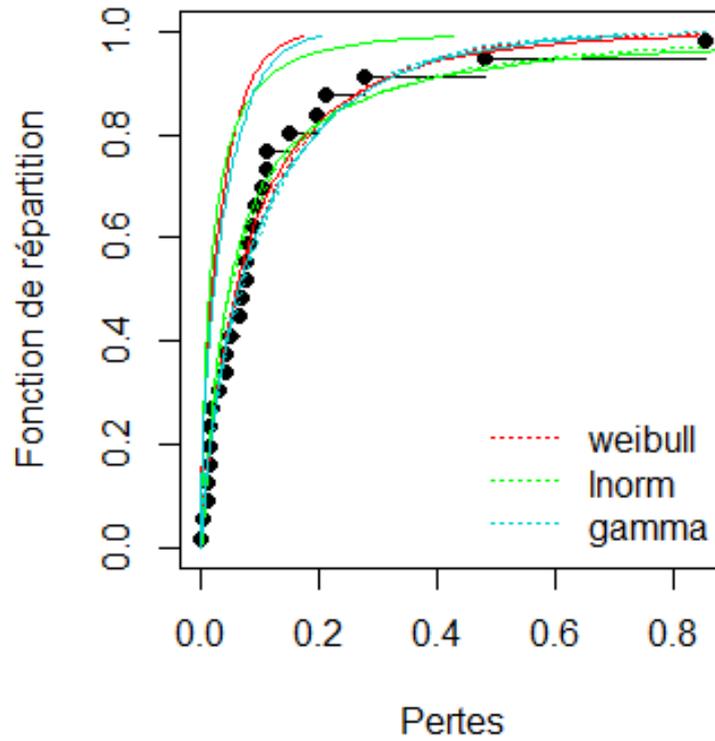


Graphique 42 : Comparaison des QQ-plot et enveloppe de confiance pour le risques de processus

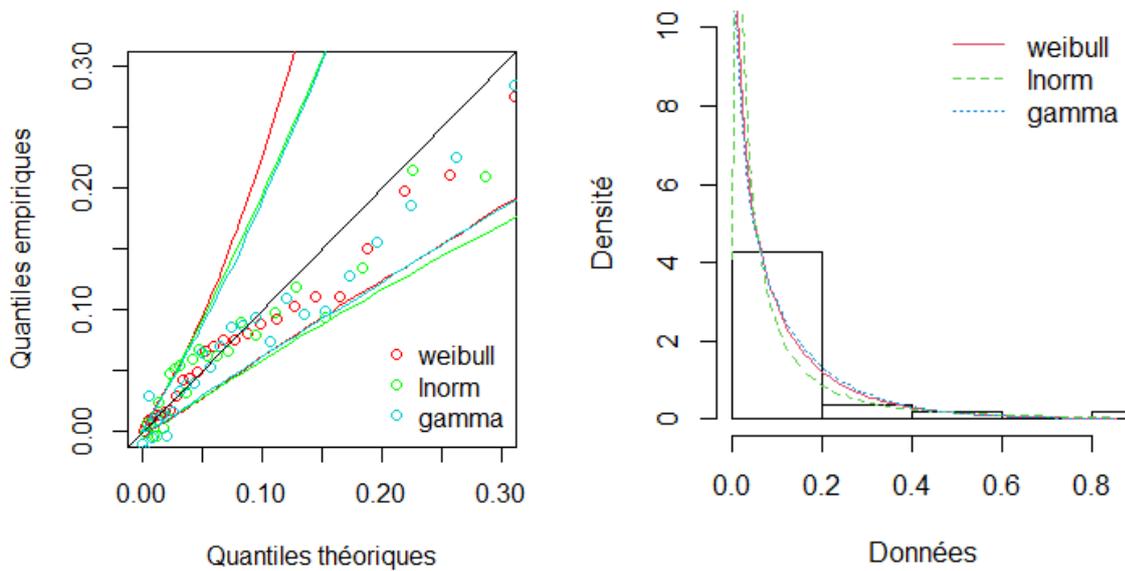


Graphique 43 : Comparaison des densités pour le risque de processus

Risque liés aux pratiques des employés



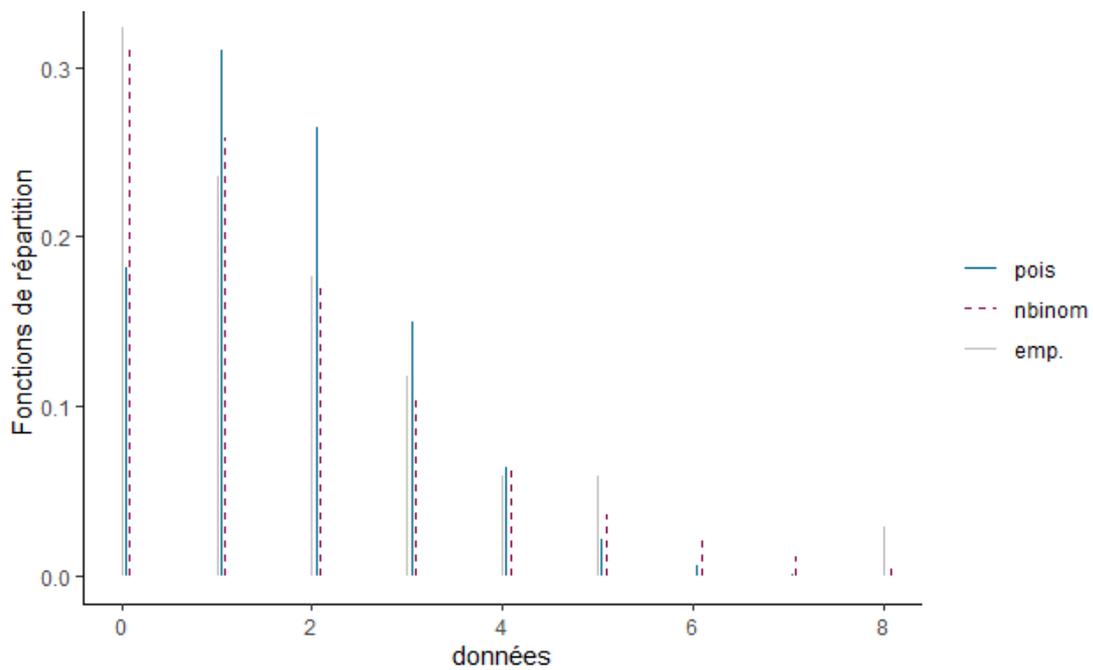
Graphique 44 : Comparaison des fonctions de répartition et enveloppes de confiance pour le risque lié aux employés



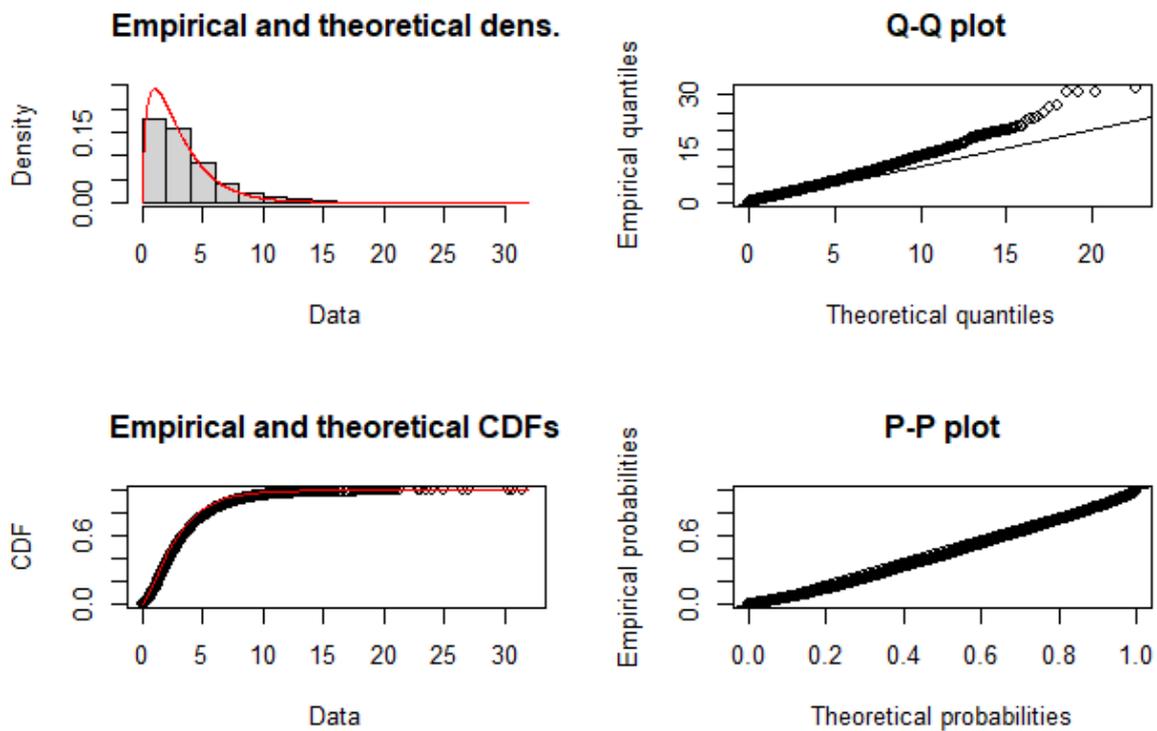
Graphique 45 : Comparaison des QQ-plot et enveloppes de confiance et comparaison des densités pour le risque lié aux employés

## Annexe V – Graphiques des ajustements de fréquence sur les données O.R.X

### Risque de fraude interne

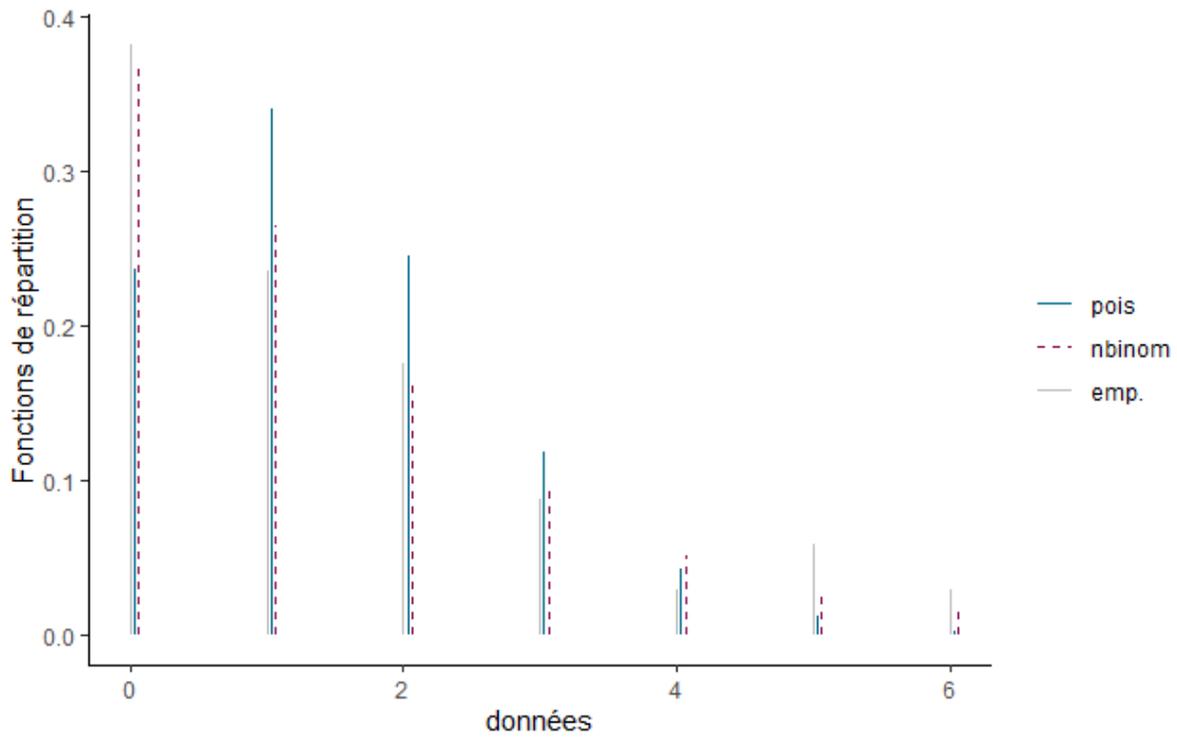


Graphique 46 : Ajustements de fréquence pour le risque de fraude interne

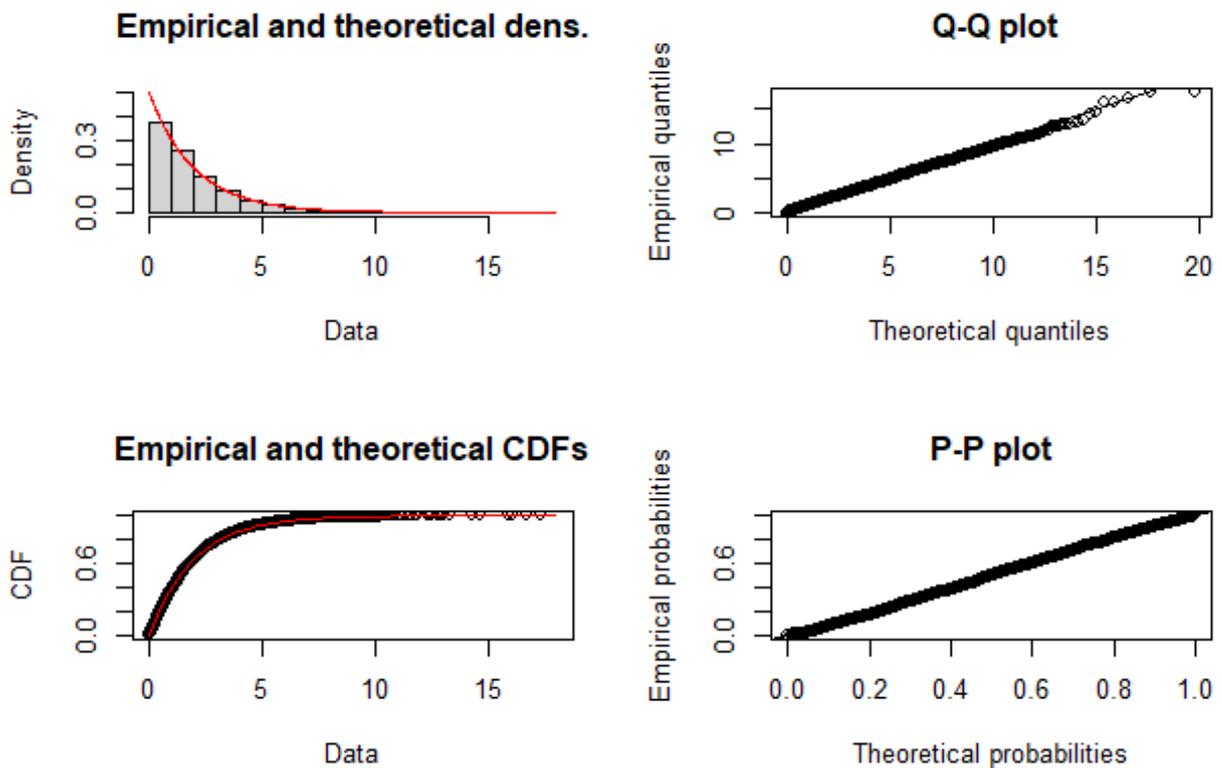


Graphique 47 : Comparaison graphique avec une loi du Chi-Deux pour l'ajustement à une loi Binomiale Négative

### Risque de fraude externe

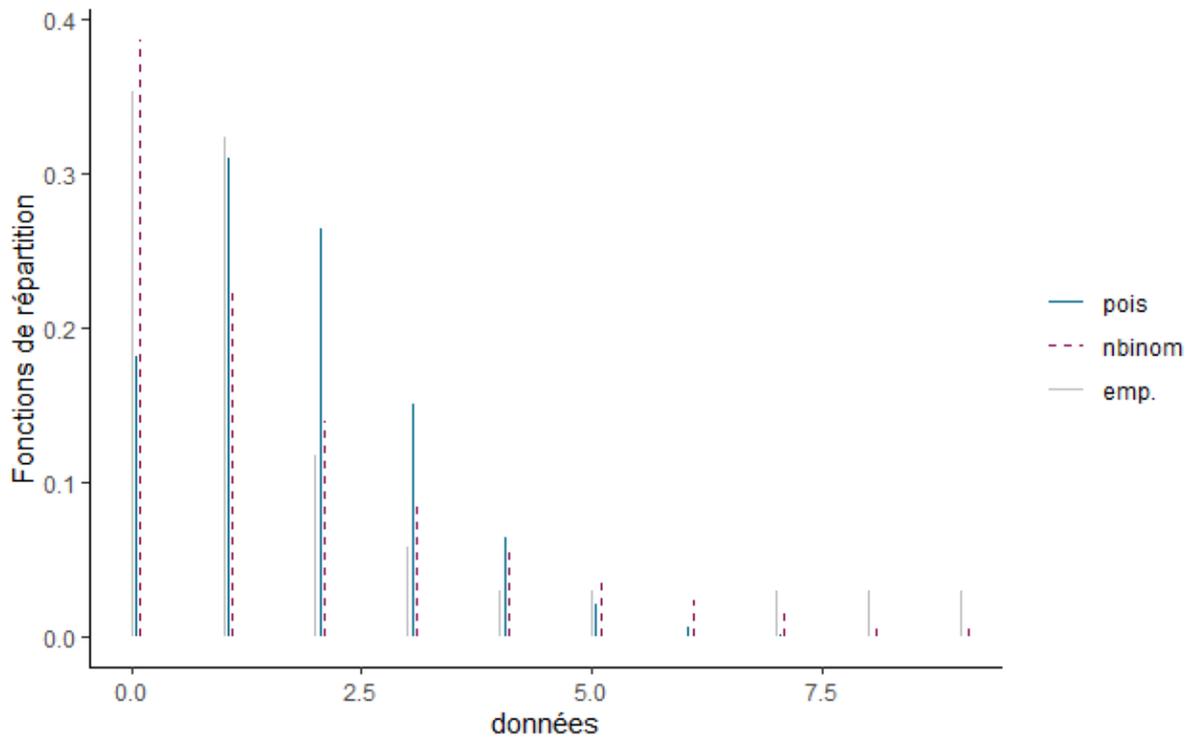


Graphique 48 : Ajustements de fréquence pour le risque de fraude externe

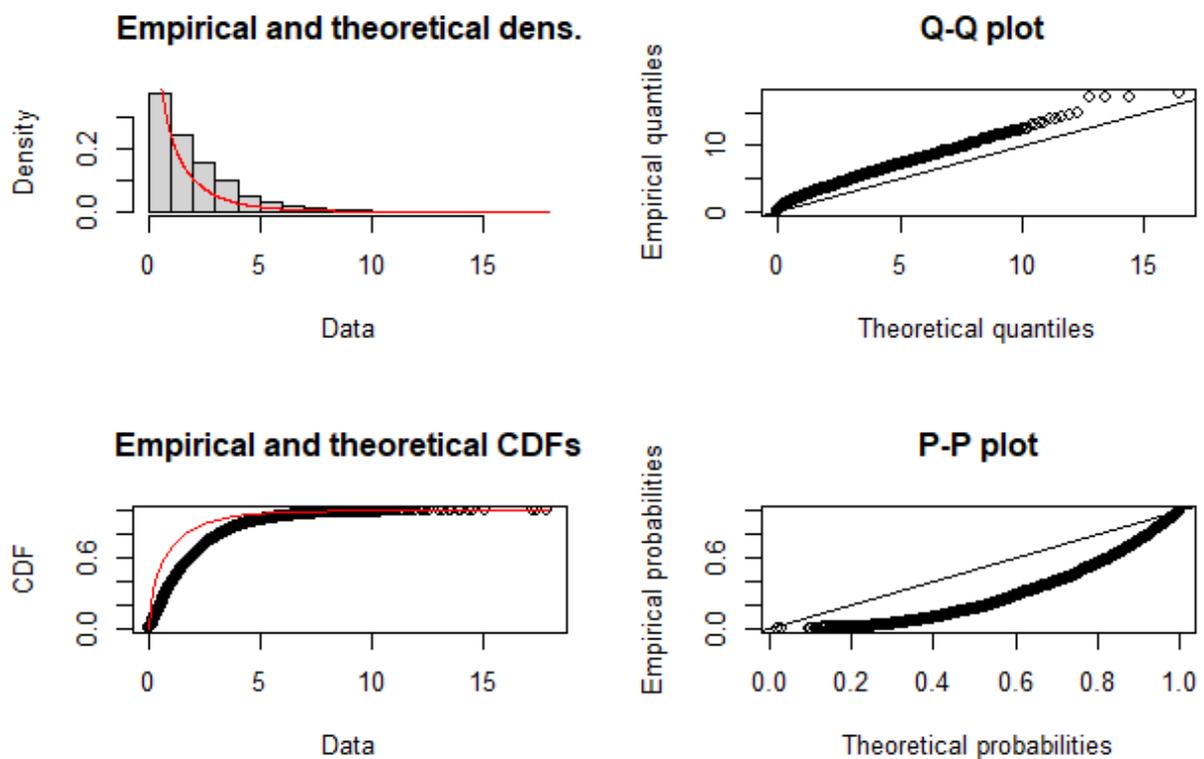


Graphique 49 : Comparaison graphique avec une loi du Chi-Deux pour l'ajustement à une loi Binomiale Négative

### Risque de défaillance des processus



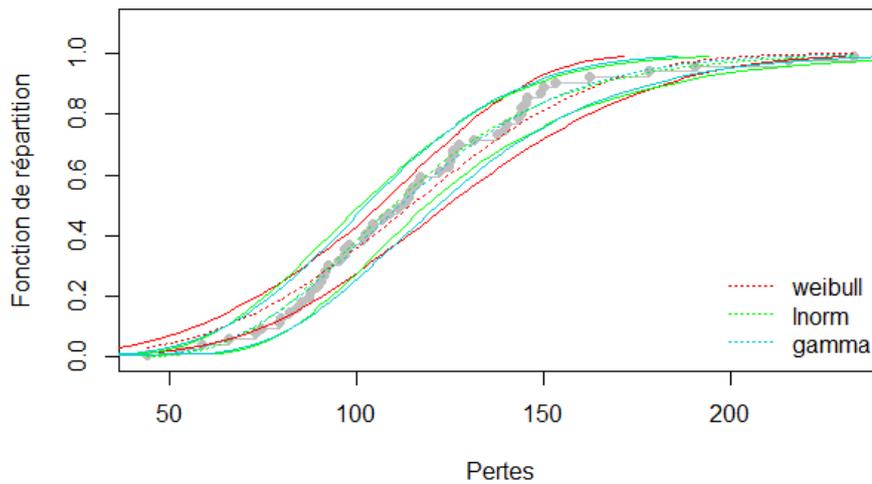
Graphique 50 : Ajustements de fréquence pour le risque de défaillance des processus



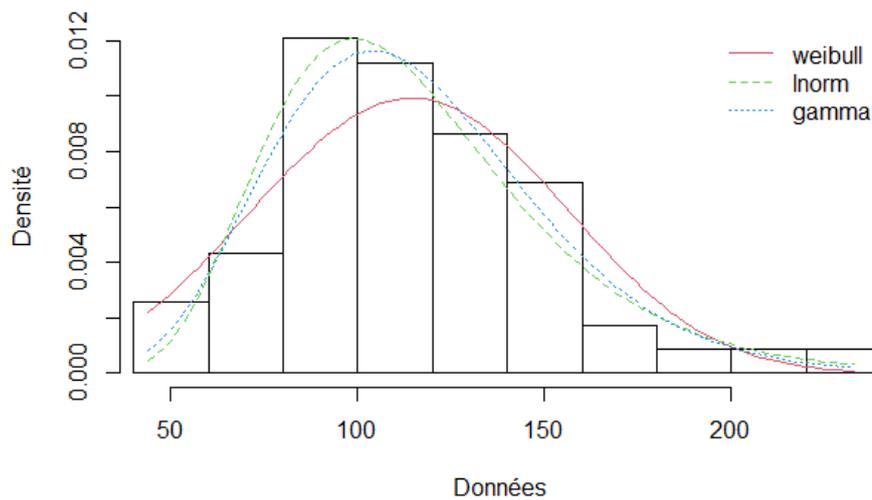
Graphique 51 : Comparaison graphique avec une loi du Chi-Deux pour l'ajustement à une loi Binomiale Négative

## Annexe VI – Graphiques des ajustements de sévérité sur les données O.R.X

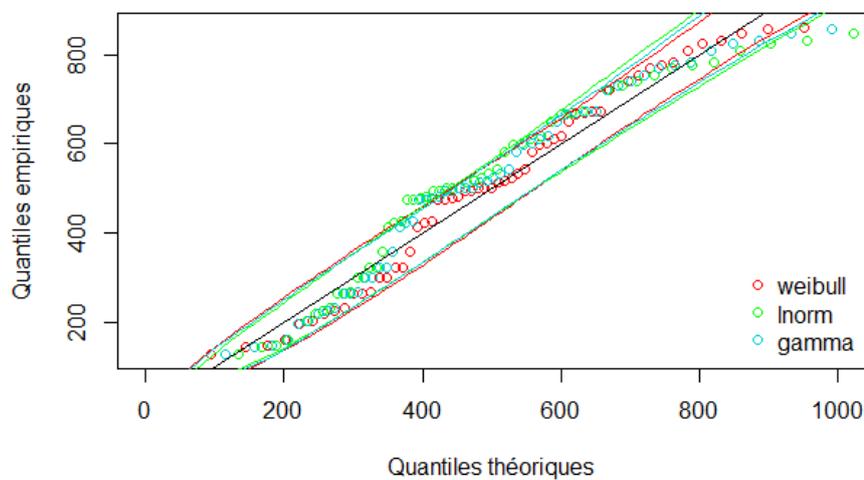
### Risque de fraude interne



**Graphique 52 :** Comparaison des fonctions de répartition et enveloppes de confiance pour le risque de fraude interne

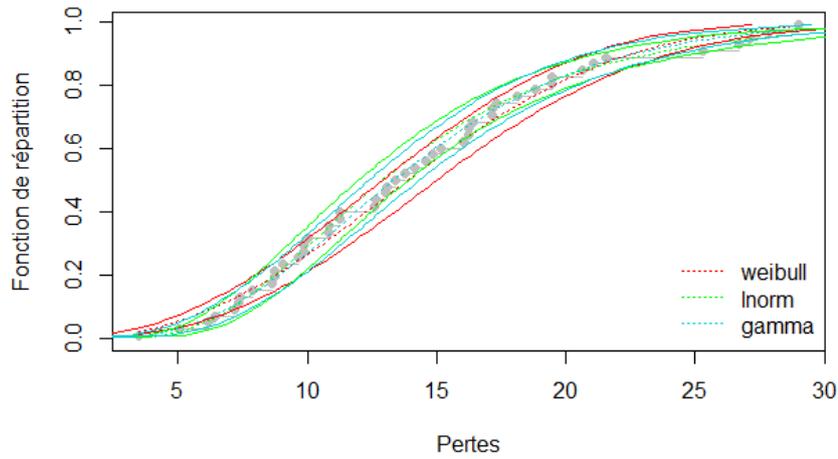


**Graphique 53 :** Comparaison des densités pour le risque de fraude interne

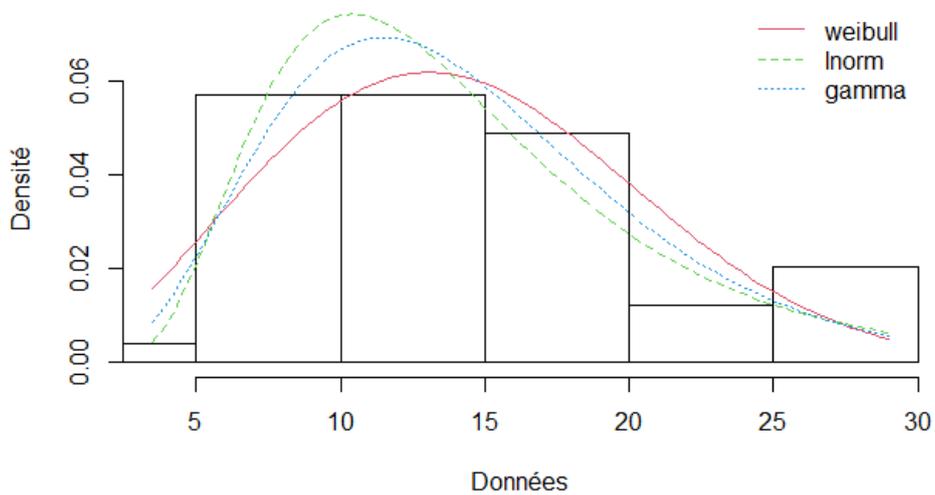


**Graphique 54 :** Comparaison des QQ-plot pour le risque de fraude interne

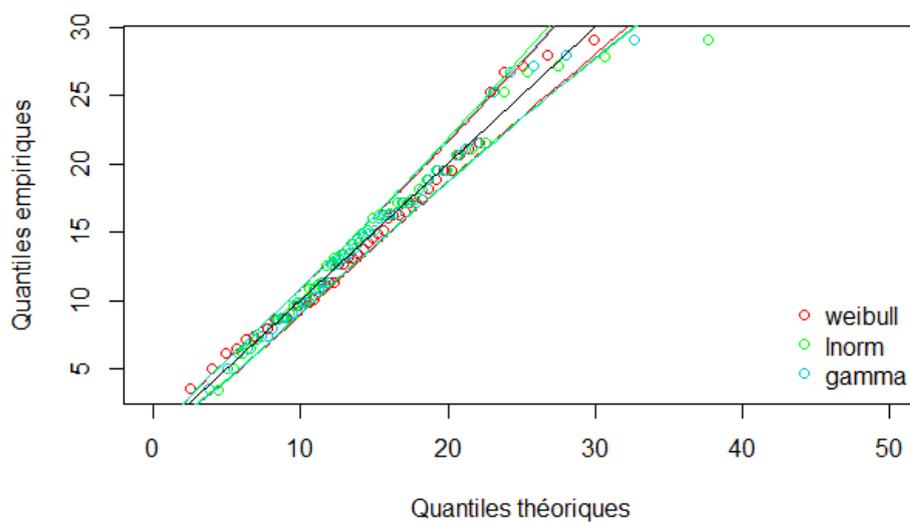
## Risque de fraude externe



**Graphique 55 :** Comparaison des fonctions de répartition et enveloppes de confiance pour le risque de fraude externe

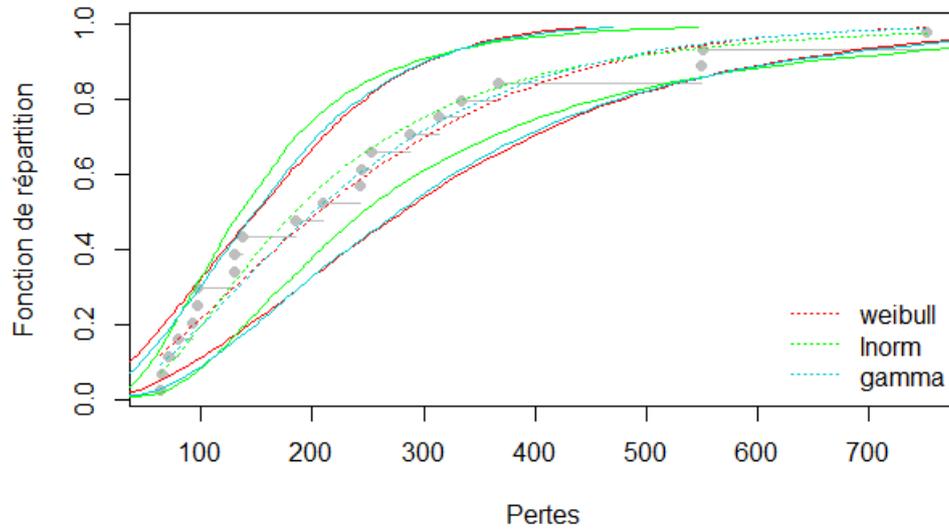


**Graphique 56 :** Comparaison des densités pour le risque de fraude externe

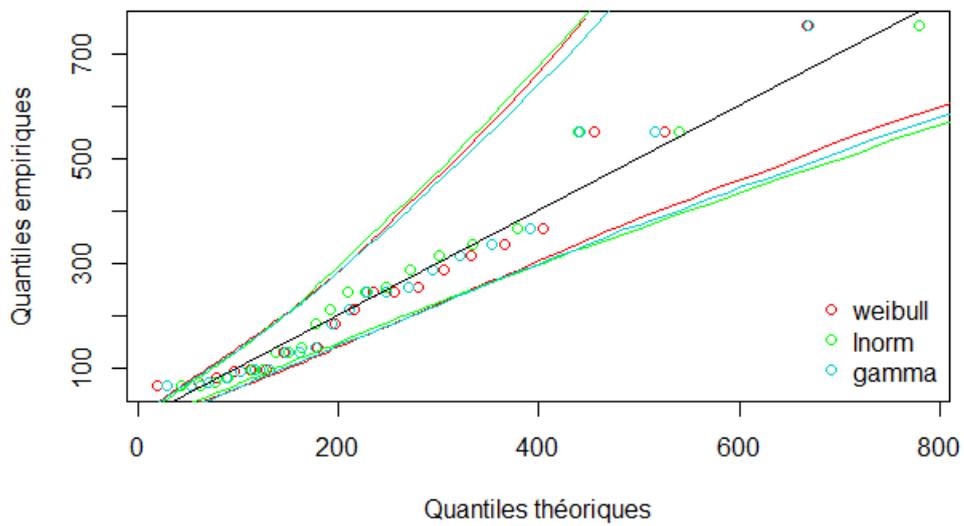


**Graphique 57 :** Comparaison des QQ-plot pour le risque de fraude externe

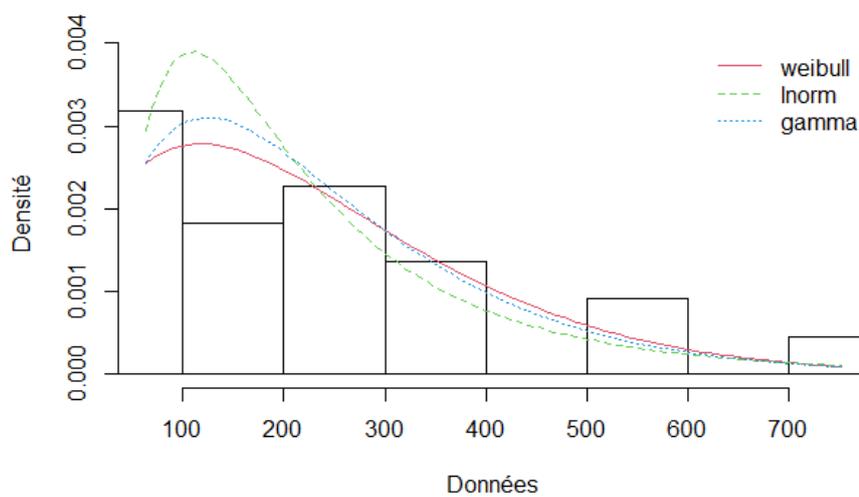
## Risque de défaillance des processus



**Graphique 58** : Comparaison des fonctions de répartition et enveloppes de confiance pour le risque de processus



**Graphique 59** : Comparaison des QQ-plot pour le risque de défaillance des processus



**Graphique 60** : Comparaison des densités pour le risque des processus

## ANNEXE VII : Liste des variables de la base de données O.R.X

La base de données publiques O.R.X présente un grand nombre de variables pour chaque perte opérationnelle enregistrée :

- L'organisme ayant subi la perte,
- Le code référence de l'histoire publiée,
- Le secteur d'activité de l'organisme,
- La localité de l'organisme,
- Le montant de la perte opérationnelle concernée en dollars américains,
- Le montant de la perte opérationnelle en euros,
- La devise avec laquelle le montant de perte est enregistré,
- Les lignes d'activités de niveaux 1 et 2,
- Les catégories de risques, de niveaux 1 et 2,
- La date de première médiatisation de la perte opérationnelle,
- La date de première occurrence du risque,
- La date de fin d'occurrence du risque,
- La date de découverte de la survenance du risque,
- La cause de déclenchement du risque opérationnel.