



Mémoire présenté devant le jury de l'EURIA en vue de l'obtention du
Diplôme d'Actuaire EURIA
et de l'admission à l'Institut des Actuaire

2022

Par : SCHWARTZBRØD Luc
Titre : Où domicilier sa captive de réassurance ?

Confidentialité : Non

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

**Membre présent du jury de l'Institut
des Actuaire :**
HABART Marine
LE BERRE Annaëlle
Signature :

Entreprise : Willis Towers Watson France
WTW SAS au capital de 1 432 600 €
Signature : 33-34, quai de Dion Bouton - 92800 Puteaux
Tél. 01 41 43 50 00
RCS Nanterre 311 248 637 - ORIAS 07001707
TVAN° 61-311 248 637

Membres présents du jury de l'EURIA : Directeur de mémoire en entreprise :
VERMET Franck

SCHWACHTGEN Aurélien
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 :

Signature du candidat :

Résumé

Dans un contexte de durcissement du marché assurantiel, les grandes entreprises sont en perpétuelle quête de pistes innovantes dans le domaine de la gestion des risques afin d'identifier des solutions moins onéreuses associées à de meilleures garanties. Les captives, filiales assurantielles de groupes industriels ou financiers, se révèlent être une solution de plus en plus envisagée. Elles permettent de structurer l'auto-assurance et le bénéfice de meilleures conditions de cession du risque. Elles possèdent un agrément d'assurance ou de réassurance. Ainsi, ces captives sont soumises à la norme prudentielle Solvabilité II et à d'autres régimes particuliers selon les pays. Ces différentes réglementations étatiques posent la question du choix de la domiciliation de la captive. Ainsi, certains pays comme l'Irlande profitent d'une fiscalité plus intéressante marquée notamment par un niveau d'imposition sur les sociétés plus faible. D'autres, comme le Luxembourg, s'appuient sur une Provision pour Fluctuation de la Sinistralité (PFS) permettant de lisser son résultat sur plusieurs années et de bénéficier d'un impôt différé. En 2021, un projet d'amendement a été soumis devant le Parlement français, pour permettre aux captives françaises de jouir d'une provision similaire à celle du Luxembourg. Quel est le but de ce projet ? Faire de la France un domicile de choix pour la création de captives de réassurance et rapatrier les captives des grands groupes français. Ce mémoire a pour objectif de comparer les différents domiciles pour une captive de réassurance, avec l'hypothèse d'une nouvelle Provision pour Fluctuation de la Sinistralité en France, en s'appuyant sur l'exemple d'un groupe industriel souhaitant créer une captive de réassurance. Pour cela, nous avons utilisé plusieurs méthodes de tarification, notamment la méthode dite "*As-If* " ou des méthodes stochastiques permettant la calibration des sinistres catastrophes grâce à la théorie des valeurs extrêmes. Après avoir établi le profil de risque complet de l'entreprise et modélisé sa sinistralité, nous avons appliqué cette modélisation en fonction de différentes domicilia-tions européennes afin d'évaluer le coût total du risque. Ainsi, nous avons établi l'avantage conséquent qu'une PFS en France pour les captives apporterait, en termes de protection pour la captive et d'économies sur les risques conservés par la captive.

Mots clefs: Réassurance, *Pricing*, Théories des valeurs extrêmes, Captives, Domiciles, Transfert de Risque Alternatif, Non Assurabilité, *Hard Market* .

Abstract

In a context of a hardening insurance market, major companies are looking for innovative and more cost-effective risk management solutions with better coverages.

Captives reveal themselves to be an emerging alternative, as they allow companies to be self-insured and benefit from better rates conditions. Captives are, in fact, insurance or reinsurance companies wholly owned by the entity that created them.

Due to their legal status as insurance companies, they are subject to the "Solvency II" prudential standard and other country-specific regulations, and are also subject to a licence. These give rise to the related question of captives' domiciliation. Indeed, some countries such as Ireland offer a more attractive fiscal environment, with lower corporate taxes. Other countries, such as Luxembourg, use a fluctuating claims provision, allowing them to smooth their results over several years and benefit from a tax exemption.

In 2021, a draft amendment has been submitted to the french Parliament, allowing french captives to benefit from a provision similar to the one in Luxembourg. The main goal is to bring back captives of major french corporations and to make France a preferred location for reinsurance captives.

This thesis develops the creation of a reinsurance captive. For this purpose, we will use several pricing methods, such as the so-called "as-if" method, as well as a series of stochastic methods for calibrating disaster claims, based on the Extreme Value Theory. Once we had established the complete risk profile of the captive, and modeled its sinistrality, we were able to study the different European locations, and to compare them according to their total cost of risk. Thus, we quantified the substantial advantage that a Reserve for Claims Fluctuation would bring to France for captives. This provision would bring more protection and savings on the risks withheld by the captive.

Keywords: Reinsurance, Pricing, Extreme Value Theory, Captives, Domiciles, Alternative Risk Transfer, Non Insurability, Hard Market.

Note de synthèse

Captives

Une captive se définit, selon l’Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution (ACPR), comme une “entreprise d’assurance ou de réassurance fondée par un groupe industriel ou commercial dont l’objet est d’en couvrir exclusivement les risques. La création d’une captive permet au groupe auquel elle appartient de mutualiser les programmes d’assurance et de réassurance en vue d’obtenir de meilleures garanties, à des prix plus compétitifs, auprès du marché international de l’assurance”.

Depuis 2019, nous assistons à l’émergence d’une nouvelle période de *Hard-Market*¹ dans laquelle les assureurs cherchent prioritairement à sécuriser leur résultat plutôt que de gagner des parts de marché. Les sociétés de (ré)assurances dites “captives” se révèlent être une alternative stratégique attrayante. En effet, elles permettent des solutions d’auto-assurance et la possibilité de bénéficier de meilleures conditions de cessions de risques au marché. Par ailleurs, elles peuvent assurer des risques émergents et difficilement assurables, comme le risque cyber. De plus, ce dispositif permet de mutualiser les risques entre les filiales, sans pour autant laisser les plus petites d’entre elles face à des franchises trop importantes. Leur statut de société assurantielle leur impose la norme prudentielle "Solvabilité II" et d’autres dispositions spécifiques en fonction des pays où elles sont domiciliées. Certains pays de l’Union Européenne se distinguent par leurs taux d’imposition sur les sociétés attractifs ou par des réglementations plus souples. Ainsi, l’Irlande propose un taux d’imposition sur les sociétés de 12,5% tandis que le Luxembourg bénéficie d’un dispositif de Provision pour Fluctuation de la Sinistralité (PFS) permettant aux entreprises de bénéficier d’un impôt différé. Ces caractéristiques particulières à chaque pays posent donc la question du choix du lieu de création d’une captive. Cependant, à défaut d’un régime fiscal et réglementaire adapté pour les filiales de réassurances françaises, un projet d’amendement [17] a été proposé au Parlement français en 2021, ouvrant la voie aux captives françaises d’accéder à une Provision pour Fluctuation de la Sinistralité comparable à celle du Luxembourg. Cette modification législative pourrait relancer la compétition avec les autres pays européens autour de la domiciliation de captives et favoriser leur (ré)implantation sur le territoire national.

1. Durcissement du marché assurantiel.

Ce travail a pour objectif principal de mesurer l'impact de la mise en place d'une Provision pour Fluctuation de la Sinistralité dans le dispositif des captives en France, en s'appuyant sur l'exemple d'un groupe industriel souhaitant créer une captive de réassurance.

Il existe différents types de captives, avec chacune ses spécificités financières. Nous nous sommes intéressés aux captives monoparentales dans ce travail, créé pour un seul groupe industriel ou financier, afin de couvrir leurs risques. Les principales captives monoparentales sont les captives d'assurance et de réassurance. Leurs principales différences sont récapitulées dans le tableau 1.

	Captive d'assurance	Captive de réassurance
Fronting	Fronting pour les zones sans possibilité d'assurance directe	Requis pour l'ensemble des risques souscris
Autonomie	Plus de liberté pour les souscriptions	Réduite par l'intervention du fronteur
Réglementation	Plus contraignante	Possibilité de souscrire tout type de risques
Gestion administrative	Une gestion plus lourde est présente, avec la gestion de l'émission des polices, la facturation et la gestion des sinistres	Gestion plus simple, peu de personnel requis

FIGURE 1 – Tableau des différences entre les captives d'assurances et de réassurances

La Provision pour Fluctuation de Sinistralité s'appliquant uniquement aux organismes de réassurances, nous consacrerons cet article à ce type de captives. Le cas d'étude, le groupe ABC, souhaite disposer d'une captive de réassurance pour s'assurer en Dommages Directs et Pertes d'Exploitations (DDPE) et en Responsabilité Civile Professionnelle (RC). Ces deux branches ont été confrontées à un renouvellement difficile, avec une augmentation des primes. Leurs assureurs proposaient les mêmes garanties assurantielles avec cependant une augmentation de 20% de chacune des primes.

Le groupe ABC est une multinationale française installée dans plus de 50 pays et dont le chiffre d'affaires en 2021 est de 10 Milliards d'euros.

Afin de mener à bien cette étude, nous avons proposé au groupe ABC de travailler autour de deux options différentes représentées dans le tableau 3.3 pour le segment DDPE et 3.4 pour le segment RC.

Options de rétention Segment DDPE	Option 1	Option 2
Montant par sinistre	2,5 M€	5 M€
Montant de l' <i>aggregate</i> ²	4 M€	10 M€
En excès de	0,5 M€	0,5 M€

FIGURE 2 – Tableau récapitulatif des options pour le segment DDPE.

Options de rétention Segment RC	Option 1	Option 2
Montant par sinistre	10 M€	20 M€
Montant de l' <i>aggregate</i>	20 M€	40 M€
En excès de	1 Million d'euros	1 Million d'euros

FIGURE 3 – Tableau récapitulatif des options pour le segment RC

Pour construire nos simulations, nous nous sommes notamment basés sur l'historique des sinistres pour 11 années, de 2010 à 2020 en RC et en DDPE, en excluant 2021 qui est une année non mature. Nous avons utilisé ces sinistres pour définir la sinistralité et leur date de souscription pour établir leur fréquence. Nous nous sommes appuyés sur un modèle de tarification à multi-composante en utilisant la théorie des valeurs extrêmes.

Modèle de tarification

Ce modèle de tarification se base sur un modèle de fréquence permettant de déterminer le nombre de sinistres annuels attendu. Pour cela, nous nous sommes référés à deux lois, la loi de Poisson et la loi Binomiale Négative. La première a été utilisée en cas de non-dispersion du nombre de sinistres par année tandis que la seconde a permis une meilleure représentation de la dispersion des sinistres annuels. Pour déterminer la dispersion dans les nombres de sinistres, nous avons utilisé le ratio $Variance/Moyenne$ de la répartition des sinistres. Lorsque ce ratio était strictement supérieur à 1, nous choissions la loi Négative Binomiale, dans le cas contraire, nous décidions d'utiliser une loi de Poisson. Les résultats que nous avons obtenus pour chacun des segments d'assurance, en termes de fréquence annuelle de sinistralité sont compilés dans le tableau 4.

Paramètres des lois Segment RC	Loi choisie	Paramètre estimé 1	Paramètre estimé 2
RC	Loi Négative Binomiale	$\lambda = 17$	$\alpha = 1,44$
DDPE	Loi Négative Binomiale	$\lambda = 9,76$	$\alpha = 2,21$

FIGURE 4 – Tableau des paramètres des lois pour les branches RC et DDPE.

Afin de compléter le modèle de fréquence, nous avons défini un modèle de sinistralité. En réassurance non-vie, et plus particulièrement dans le cas des entreprises, il est nécessaire de modéliser les sinistres extrêmes. En effet, nos bases de données comptent des valeurs extrêmes, près de 10 fois supérieures à la moyenne. Dans ce contexte, nous avons utilisé un modèle à deux lois : une loi pour les sinistres attritionnels inférieurs au seuil u et une loi pour les sinistres extrêmes, supérieurs au seuil u . Nous avons utilisé la méthode *Peak Over Threshold* (POT) pour ajuster une loi de Pareto Généralisée sur nos valeurs extrêmes. La détermination des paramètres des lois se fait par méthode du maximum de vraisemblance. Ensuite, nous validons nos modèles par des tests de Kolmogorov Smirnov et d'Anderson Darling. Ce modèle nous a donné la distribution des valeurs des sinistres pour chacun de nos segments d'assurances.

Paramètres des lois Segment RC	Paramètre estimé 1	Paramètre estimé 2
Loi Lognormale - RC	$\mu = 10,64$	$sd = 4,62$
Loi de Pareto Généralisée - RC	$\sigma_{u=1100000} = 3689083$	$\xi = 0,182$
Loi Lognormale - DDPE	$\mu = 10,02$	$sd = 2,62$

FIGURE 5 – Tableau des paramètres des lois pour la branche RC.

En complément, nous avons appliqué une méthode d'agrégation des sinistres utilisant la méthode de Monte-Carlo et ses propriétés des grands nombres. Nous avons réalisé la simulation de 20000 années de sinistralités pour le groupe ABC. Ces 20000 simulations nous ont conduits à valider un intervalle de confiance à 95%. Le protocole utilisé pour une simulation a été le suivant : Tirage d'une fréquence f_1 avec la loi déterminée pour une branche et tirage de f_1 sinistres en utilisant le modèle de sinistralité. Chacune des valeurs est indépendante. Nous avons additionné les sinistres pour obtenir la sinistralité annuelle modélisée. Ainsi, nous avons déduit de cette distribution des estimateurs sans biais de l'espérance et de l'écart type pour chaque segment d'assurance. De ces derniers, nous avons déduit la tarification, selon le programme assurantiel souhaité. Nous avons étudié deux options pour chaque segment d'assurance dont les résultats sont présentés dans le tableau n°6.

Primes	Option 1 1	Option 2
Prime RC	14 755 483 €	19 200 557€
Prime DDPE	2 129 032€	3 191 849€

FIGURE 6 – Tableau récapitulatif des primes et des fonds propres selon les options

La dernière étape est l'évaluation de la sinistralité combinée, des deux segments d'assurance. Pour cela, nous avons regroupé les sinistralités modélisées par segment selon leur année, puis nous les avons additionnés. Nous avons ainsi obtenu une estimation de la sinistralité globale annuelle de la captive, selon les 2 options, tous segments confondus.

Calcul du SCR et des capitaux minimums pour la captive.

Une captive de réassurance répond elle aussi à la directive européenne Solvabilité II mais ce dispositif de captive comporte également plusieurs spécificités. Ainsi, une captive de réassurance non-vie doit posséder 1,2 M€ de fonds propres, tandis que les compagnies de réassurance non-vie classique doivent en posséder 2,5 M€. En France, l'ACPR demande un ratio de solvabilité de Fonds propres/SCR = 120%. Ainsi, pour une captive de réassurance non-vie, il est nécessaire d'injecter au minimum 1,44 M€.

Le calcul du *Solvency Capital Requirement* (SCR) par la formule standard pour une captive est simplifié. Tout d'abord, en France, les fonds de la captive étant une filiale à part entière d'un groupe industriel, sont intégralement mis à la disposition de la maison mère. Ainsi, il n'y a pas d'investissement en obligations ou en actions. Le risque marché est donc réduit au risque des taux d'intérêts. Il en est de même pour le risque de défaut qui ne prend en compte uniquement la notation du groupe. Ainsi, le risque majeur est le risque de non-vie. Nous avons donc calculé les SCR et les capitaux initiaux pour chacune des options étudiées et avons reporté les valeurs dans le tableau 7.

SCR	Option 1	Option 2
SCR	17 491 463 €	30 718 285€
Capital Initial	32 000 000€	57 000 000€

FIGURE 7 – Tableau des SCR et des capitaux initiaux à la création de la captive.

Études des domiciliations.

Après avoir déterminé les ratios de solvabilité ainsi que les capitaux propres nécessaires à la création de la captive, nous avons établi un *business plan* pour discuter le domicile optimal pour abriter cette captive. Le tableau n°8 reprend les principaux éléments

ments importants dans la gestion d'une captive en les comparant entre différents pays en mesure d'accueillir la captive.

	Irlande	Luxembourg	France - Actuel	France – Avec PFS
Capital minimum	1 000 000 euros	1 225 000 euros	1 200 000 euros	1 200 000 euros
Marge de solvabilité	Directive européenne Solvabilité II			
Provisions	Provisions techniques	Provisions techniques + Provision pour Fluctuation de la Sinistralité (PFS)	Provisions techniques	Provisions techniques + Provision pour Fluctuation de la Sinistralité (PFS)
IS (taux de droit commun)	12.5%	25%	25%	25%
Participation au Cash Pool	Actif Net	100% de l'actif + 30% de la PFS	100% de l'actif	100% de l'actif + 30% de la PFS
Frais de gestions estimés	120 000 euros	120 000 euros	100 000 euros	100 000 euros

FIGURE 8 – Différences entre les domiciles des captives

Dans ce tableau n°8, nous avons ajouté une option pour la France, en incluant l'ajout d'une Provision pour Fluctuation de la Sinistralité à la française. Cela nous a permis de comparer les fonds des entreprises, et le coût total du risque, selon les propriétés des domiciles. Le graphique n°9 nous montre l'évolution de l'actif pour la captive pour l'option 1 avec une vision sur les cinq prochaines années, avec une évolution du risque selon nos modélisations.

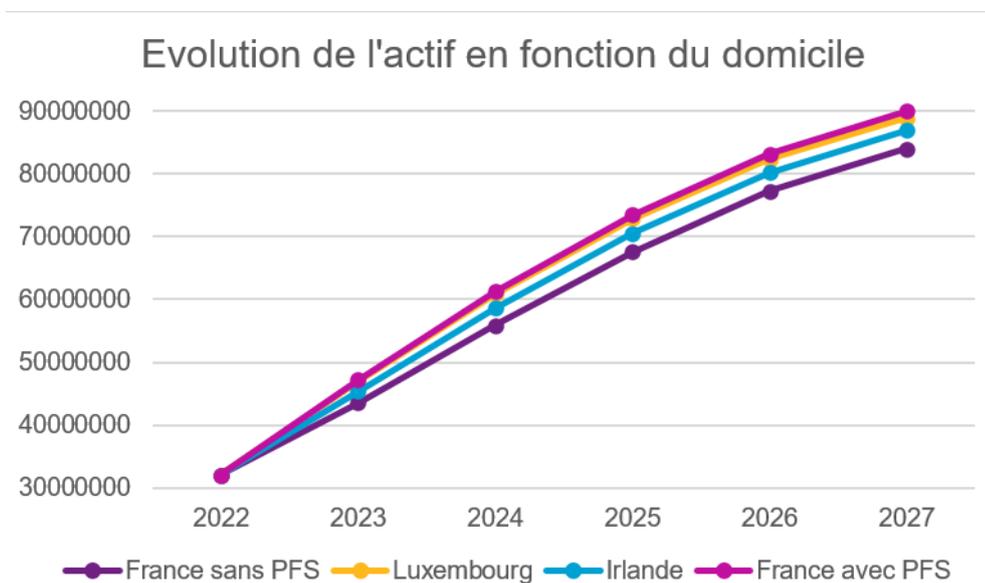


FIGURE 9 – Évolution de l'actif de la captive pour l'option 1 selon un scénario prédéfini.

Nous avons pu établir que le domicile le plus pertinent pour le groupe ABC est la France avec une PFS, puis le Luxembourg, en se fondant sur une logique d'arbitrage purement financière. Sous nos hypothèses, nous avons établi qu'une PFS permettrait une économie sur le coût total du risque par rapport à la réglementation actuelle équivalent à 7% de la prime globale annuelle. Nous avons également pu comparer l'impact d'une baisse d'imposition par rapport à l'implantation d'une PFS, grâce au domicile Irlandais, également soumis à Solvabilité II. La domiciliation en Irlande, et son impôt de 12,5%, apporterait une réduction des coûts annuels de 3,5% de la prime annuelle globale, par rapport à une domiciliation en France sans PFS.

La différence avec le Luxembourg ne serait observable qu'à partir de la onzième année, pour le paiement des premiers impôts français différés sur la première année de provision constituée. Cependant, cette différence n'est pas aujourd'hui quantifiable, puisque nos hypothèses comprennent le même calcul de plafond de PFS entre la France et le Luxembourg. L'ajout d'une PFS à la française réduirait drastiquement le coût total du risque, et rendrait la domiciliation de captives en France intéressante et compétitive. La PFS en France permettrait sans nul doute le rapatriement d'une partie des captives de grandes entreprises et ferait ainsi de la France, une destination de choix pour les captives de réassurance.

Executive summary

Captives.

According to the ACPR, a captive is "an insurance or reinsurance company created by an industrial or commercial group whose purpose is to cover the group's risks exclusively. Establishing a captive enables the group to which it belongs, to pool insurance and reinsurance policies in order to obtain better cover, at more competitive prices, on the international insurance market." In other words, captives reduce the company's total cost of risks.

As rates kept increasing, a new hard-market era has emerged in 2019 in which captives have become an appealing strategic choice. Indeed, they allow self-insurance and benefit from better conditions for transferring risks to the market. Moreover, captives can insure emerging risks, such as malware and the IT system crashes they can cause, therefore coverages are more difficult for companies to find. Besides, this system enables the risks to be shared between the subsidiaries, by preventing the smallest ones from facing excessively high deductibles.

Their status as insurance companies obliges them to comply with the "Solvency II" prudential standard and other specific tax regimes depending on the country they are located in. Those tax regimes are different in terms of corporate tax rates, or more flexible regulations.

For instance, Ireland and Malta have a corporate tax rate of 12.5% and 35% respectively, but the island offers an exemption of up to 5% if the company pays dividends. Also, Luxembourg benefits from a reserve for claims fluctuation, which allows reinsurance companies to benefit from a tax exemption. These specific characteristics for each country, raise the issue of where to locate a captive. However, given the lack of a more flexible tax and regulatory regime for French reinsurance subsidiaries, a draft amendment has been proposed to the French Parliament in 2021 to allow French captives to benefit from a provision for claims fluctuation similar to the one in Luxembourg. This could stimulate the competitiveness of captive domiciliations in France, which are still far too rare and hard to establish in the country, as they do not benefit from an adapted fiscal system, compared to our European neighbour.

This thesis aims to measure the impact of a new provision for claims fluctuation in

France, focusing on an industrial group willing to create a captive reinsurance company. There are several different types of captives, each with its own financial features. In fact, captives can take a variety of forms and cover a great deal of risks, depending on the specific goals and needs of the parent company. In this study, we focused on "single parent" captives, created for a single industrial or financial group to cover their risks. The main single-parent captives are insurance and reinsurance captives. All of these differences are summarized in the chart below.

	<u>Insurance Captive</u>	<u>Reinsurance Captive</u>
Fronting	Fronting required for non-LPS areas	Required for every risks
Independence	More autonomy in terms of underwriting	Reduced by the use of a fronting solution
Regulations	More constraining	Possibility to cover every risks
Administrative management	A more intense and work needy management is required, for the billing and handling of claims, as well as policy emissions.	Easier management, everything is done by the fronting company.

FIGURE 10 – Chart of differences between captive insurance and reinsurance companies

As the provision for claims fluctuation only applies to reinsurance organizations, this work focused on this specific type of captive. The case study, the ABC Group, is looking for a reinsurance captive to insure itself for both Property Damages and Business Interruption as well as Professional Civil Liability. Both sectors have been facing a challenging renewal, involving an increase in premiums, insurers offered them similar insurance cover, but with a 20% increase in each of the premiums. We studied two different underwriting options :

Options PDBI	Option 1	Option 2
Each and Every Loss	2,5 M€	5 M€
Annual Aggregate Limit	4 M€	10 M€
In Excess Of	0,5 M€	0,5 M€

FIGURE 11 – Options recap for PDBI.

Options PCL	Option 1	Option 2
Each and Every Loss	10 M€	20 M€
Annual Aggregate Limit	20 M€	40 M€
In Excess Of	1 M€	1 M€

FIGURE 12 – Options recap for PCL.

Our data for the study is the claims historical record for 11 years, from 2010 to 2020 for PCL and PDBI, not including 2021 which is an immature year. We used these claims to define the loss experience and their underwriting date to establish their frequency.

To this end, we have relied on a multi-component pricing model, using extreme value theory.

Pricing model.

This pricing model is based on a frequency model to determine the expected number of annual claims. For this, we use two distributions, the Poisson distribution and the Negative Binomial distribution. The first one will be used in case of non-dispersion of the number of claims per year while the second will allow a better representation of the dispersion of annual claims.

In order to determine the dispersion in the numbers of claims, we use the ratio of the Variance / Mean of the claims distribution. If this ratio is strictly greater than 1, then we will choose the Negative Binomial distribution, otherwise we will choose a Poisson distribution instead. Here are the following results we obtained, for each of the insurance segments, in terms of annual loss frequency.

Distribution parameters	Chosen Distribution	1 st parameter	2 nd parameter
PCL	Negative Binomial distribution	$\lambda = 17$	$\alpha = 1, 44$
PDBI	Negative Binomial distribution	$\lambda = 9, 76$	$\alpha = 2, 21$

FIGURE 13 – Frequency Distribution parameters of claims depending options.

Finally, we defined a loss experience model to complement the frequency model. In terms of non-life reinsurance, and especially for companies, we must build an extreme loss model. Indeed, our databases contain extreme values, almost 10 times higher than the average. To this end, we used a two-distribution model : one for attritional claims below the threshold u , the other one for extreme claims, above the threshold u . We used the POT method to fit a Generalized Pareto distribution to our extreme values.

To determine which parameters should be considered, we used the maximum likelihood method. Then we validated our models using various tests, including the Kolmogorov Smirnov and Anderson Darling methods. This model gave us the distribution of claim values for each of our insurance segments we were targeting.

Distribution parameters	1 st parameter	2 nd parameter
Lognormal Distribution - PCL	$\mu = 10,64$	$sd = 4,62$
Generalized Pareto Distribution - PCL	$\sigma_{u=1100000} = 3689083$	$\xi = 0,182$
Lognormal Distribution - PDBI	$\mu = 10,02$	$sd = 2,62$

FIGURE 14 – Claims value Distribution parameters depending options.

Lastly, we applied an aggregated claims method. To do so, we relied on the Monte Carlo method and its large number characteristics. We ran a simulation for 20,000 years of claims for the ABC group. Thanks to the 20,000 simulations, we were able to obtain a confidence interval of 95%. The protocol used for the simulation is as follows : Drawing a frequency f_1 according to the distribution given for a line of business, then drafting f_1 claims using the loss experience model. Each of these values is independent. We then summed up claims so as to get the annual loss experience model. Thus, we deduced from this distribution unbiased estimators of the expectation and standard deviation of each insurance segment. Based on these, we generated the pricing, according to the desired insurance programme. After studying 2 options for each insurance segment, we get the following results for the further study :

Premiums	Option 1	Option 2
PCL Premium	14 755 483 €	19 200 557€
PDBI Premium	2 129 032€	3 191 849€

FIGURE 15 – Premium recap depending options.

Ultimately, our last step was to assess the combined loss experience of both segments of insurance. To do so, we added up the years of loss experience modelled for each of the segments. We then obtained an estimate of the captive's overall loss experience, using the three options, for all the segments combined.

SCR and Minimum Capital Calculation.

Although a reinsurance captive also complies with Solvency II, there are some specificities. While non-life reinsurance captive is required to possess 1,2 million euros of equity, traditional non-life reinsurance companies must have 2,5 million euros of equity

at their disposal. In France, the ACPR imposes a solvency ratio of equity/SCR = 120%. For a non-life reinsurance captive, this requires a minimum capital investment of 1,44 million euros.

Since a captive is not a profit-making insurance company, calculating the SCR using the standard formula is simpler. Firstly, the assets of a French captive are entirely at the disposal of the parent company, due to its status as a subsidiary. Hence, there is no investment in bonds or shares. The market risk is therefore reduced to interest rate risk. In fact, the same applies to the risk of default, which only takes the group's rating into account, and so only its risk of default. As a result, the most important risk is the non-life risk.

We then calculated the SCR and the equity for each of the options studied :

SCR	Option 1	Option 2
SCR	17 491 463 €	30 718 285€
Initial assets	32 000 000€	57 000 000€

FIGURE 16 – SCR and initial assets at the captive creation

Domiciliation study.

Finalemment, nous avons déterminé les ratios de solvabilité ainsi que les capitaux propres nécessaires à la création de la captive. Cependant, nous devons établir un *business plan* pour évaluer le domicile optimal des captives. Voici un tableau récapitulatif des différences entre les domiciles des captives.

After the calculation of the Solvency Requirements for the creation of the captive, we needed to establish several business plans to choose the optimal domiciliation of the captive. Here is a recapitulative table with every difference between domiciles.

	Ireland	Luxembourg	France - Actual	France – with RCF
Minimum capital requirement	1 000 000 euros	1 225 000 euros	1 200 000 euros	1 200 000 euros
Solvency Margin	European Directive Solvency II			
Reserves	Technical reserves	Technical reserves + Reserve for claims fluctuation	Technical reserves	Technical reserves + Reserve for claims fluctuation (RCF)
Corporate Tax Rate	12,5%	25%	25%	25%
Cash-Pool participation	Net Asset	100% of assets + 30% of the RCF	100% of assets	100% of assets + 30% of the RCF
Estimated management fees	120 000 euros	120 000 euros	100 000 euros	100 000 euros

FIGURE 17 – Captive domiciliations differences.

In this table, we added an option for France, by including a new Reserve for Claims Fluctuation (RCF). This allowed us to compare the assets of the captives depending on their location. Here is the asset curves depending of the domiciliation, with a projective view of 5 years.

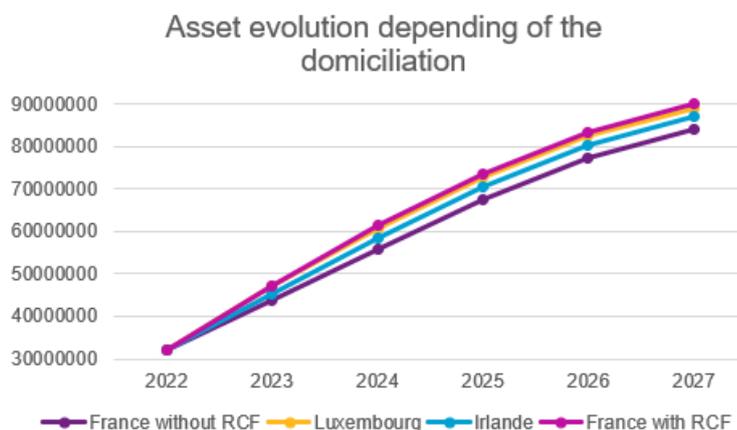


FIGURE 18 – Asset evolution depending of the domiciliation, for option 1.

We established that the most interesting domiciliation economically speaking for the captive ABC is France with a RCF, followed closely by Luxembourg. Based on our assumptions, we showed that a RCF would allow a saving on the total cost of risk compared to the current French regulation equivalent to 7% of the global annual captive premium. We were also able to compare the impact of a tax reduction compared to the implementation of a RCF, thanks to the Irish domicile, also subject to Solvency II. Domicile in Ireland, with its 12.5% tax, would bring a reduction in annual costs of 3.5% of the overall annual captive premium, compared to a domicile in France without RCF. The difference with Luxembourg would only be observable from the eleventh year onwards, for the payment of the first deferred French taxes on the first year of provisioning. However, this difference is not quantifiable today, since our assumptions include the same calculation of the RCF ceiling between France and Luxembourg. The addition of a French-style RCF would drastically reduce the total cost of risk and make the domiciliation of captives in France attractive and competitive. The RCF in France would undoubtedly allow the repatriation of a portion of the captives of large companies and would thus make France a destination of choice for reinsurance captives.

Remerciements

Ce mémoire est le fruit du travail d'une année, où j'ai eu la chance d'apprendre le métier d'actuaire aux côtés d'Aurélien Schwachtgen, directeur du département Alternative Risk Transfer de WTW Europe. J'aimerais particulièrement le remercier pour son accueil, sa confiance et sa bonne humeur au quotidien qui m'ont guidés tout au long de mon apprentissage aux côtés d'une équipe hors du commun.

Merci à Antoine Kahn et Thomas Bregeon, collègues et amis, pour leur soutien inconditionnel dans ce travail.

Merci à l'ensemble du corps enseignant et de l'équipe administrative de l'EURIA, pour leur disponibilité et la qualité des enseignements dispensés tout au long de ce cursus.

Je tenais à remercier plus particulièrement mon tuteur à deux casquettes, Brice Franke pour ses conseils, ses idées et sa bienveillance qui m'ont permis de faire aboutir ce mémoire.

Merci à mon père pour ses relectures approfondies et encouragements permanents au cours de la rédaction de ce mémoire, sans qui je n'aurais jamais aimé les mathématiques comme aujourd'hui.

Merci à ma mère pour sa présence permanente, dans les bons moments comme les périodes difficiles. Merci pour ton amour et ton support infini, sans lequel je n'en serais pas là aujourd'hui.

A Grand-Père, pour ces longues discussions autour des trous noirs et pour m'avoir fait découvrir la science fiction, Excel et tellement d'autres choses.

A Pépé et Mémée pour tous ces voyages, ces merveilleuses vacances à St Palais, et des recettes toujours meilleures.

A Grand-Mère, tu me manques.

Enfin, je souhaite remercier ma famille et mes amis, Rémi, Fantine, ODN, Koskas, JKI, Boudi, Layla, Bob, MNRC, Mimi, Riri, Fifi, Meurine et TL, pour leur soutien indéfectible, sans lequel je n'aurais sûrement jamais présenté ce mémoire, ni même étudié l'actuariat.

Table des matières

Résumé	i
Abstract	iii
Note de synthèse	v
Summary note	xii
Remerciements	xviii
Table des matières	xx
Introduction	1
1 Les captives	3
1.1 Contextualisation : les captives dans le marché de l'assurance	4
1.2 Les différents types de captive	9
1.3 La captive d'hier et d'aujourd'hui.	13
1.4 Fonctionnement d'une captive.	13
1.5 Particularités de Solvabilité II pour les captives.	14
1.5.1 Pilier 1 : Exigences Quantitatives.	15
1.5.2 Pilier 2 : Exigences de Gouvernances.	19
1.5.3 Pilier 3 : Information à destination du public et du superviseur . .	20
1.5.4 Conclusion	20
2 Modèle de tarification pour captives de réassurance.	21
2.1 Présentation du cas pratique.	22
2.1.1 L'assurance Dommages Directs et Pertes d'Exploitation	23
2.1.2 L'assurance responsabilité civile	23
2.1.3 Paramètres d'entrées nécessaires.	24
2.2 Description des données sinistres	30
2.2.1 Présentation de la méthode <i>As-If</i>	31
2.2.2 Analyse probabiliste.	38
2.2.3 Application des modèles pour le groupe ABC	47

3	Application de Solvabilité II et étude des différentes domiciliations européennes.	61
3.1	<i>Cash-pooling</i>	62
3.2	Calcul du SCR pour une captive de réassurance non-vie.	63
3.2.1	Évaluation des sous modules.	65
3.2.2	Capital minimal requis pour la captive ABC en France	69
3.3	Arbitrages des domiciles pour la captive ABC.	70
3.3.1	Présentation des domiciles Européens sous Solvabilité II.	70
3.3.2	Développement des <i>Business Plans</i>	73
4	Conclusion	81
4.1	Conclusion	81
A	Tableau de l'inflation	83
B	Business Plans	84
	Glossaire	92
	Bibliographie	98

Introduction

La France fait partie des pays européens les plus boisés avec plus de 17 millions hectares de forêts couvrant son territoire. Ces forêts abritent de nombreuses activités industrielles qui sont soumises, dans certaines régions, des très forts risques d'événements climatiques (tempête, sécheresse, incendie...) [10]. Cet été, une importante parcelle de la société de gestion forestière "Forêt des Landes" a été ravagée par un violent feu de forêt. Cette entreprise n'était pas assurée face à cet aléa naturel. En effet, du fait du fort niveau de risque d'incendie dans cette zone et de la répétition des sinistres cette région, peu d'assureurs acceptent de couvrir ce risque. Cependant, le dirigeant de "Forêt des Landes" remarque que son voisin qui gère une forêt (société « forêt d'Aquitaine ») sur le même territoire et qui a été lui aussi victime de cet incendie a, quant à lui, été dédommagé financièrement lui permettant d'assurer ses charges sociales et de mettre en place les fondements d'une reprise future de son activité. Un échange entre les deux entrepreneurs a permis d'expliquer au responsable de "Forêt des Landes" que la société mère de "Forêts d'Aquitaine" s'auto-assure face aux feux de forêts à travers une captive. Cette situation fictive illustre la question de non-assurabilité de certains risques, et le besoin, pour certaines entreprises de s'auto-assurer et met en exergue l'un des intérêts de la mise en place par une entreprise d'une captive

Les acteurs du conseil en gestion des risques accompagnent depuis longtemps les entreprises dans la mise en place de solutions alternatives d'assurances. Ainsi, depuis 2019, avec la nouvelle période de *Hard-Market*, les sociétés de (ré)assurances dites "captives" se révèlent être une solution de transfert des risques non-assurables essentielle. En outre, elles permettent l'auto-assurance et montrent au marché du risque la bonne volonté des entreprises vis à vis de la gestion des risques. Il en résulte souvent une baisse du coût total du risque. Du fait de leur statut, ces captives peuvent provisionner pour des sinistres non survenus, et mutualiser les risques des filiales d'un même groupe. Disposant d'un agrément d'assurance ou de réassurance délivré par l'état, elles sont soumises à la norme prudentielle européenne Solvabilité II et aux différents régimes particuliers en fonction des pays.

Nous avons étudié la faisabilité d'une captive pour un grand groupe industriel français, que nous nommerons groupe ABC pour des raisons de confidentialité. Ce groupe a vu ses primes d'assurance augmenter pour le renouvellement 2022 et, par conséquent, souhaite étudier la conservation du risque de deux segments d'assurance : L'assurance Dommages Directs et Pertes d'Exploitations (DDPE) et l'assurance Responsabilité Ci-

vile Professionnelle (RC). Nous avons proposé dans ce travail une méthode de tarification pour les captives, une étude de solvabilité pour la future captive du groupe ABC ainsi que l'étude des différentes possibilités de domiciliation de cette filiale.

L'objectif principal de ce travail est de répondre à la problématique suivante : Quel serait l'impact de la Provision pour Fluctuation de Sinistralité () pour l'établissement d'une nouvelle captive en France, par rapport à ses voisins européens ?

Après avoir étudié dans une première partie le concept de captives, leurs spécificités et le macro-environnement dans lequel elles évoluent, nous aborderons dans un deuxième temps un modèle de tarification propre aux captives. Pour cela, nous utiliserons deux modèles de sinistralité et de fréquence que nous agrégerons pour estimer la sinistralité annuelle future du groupe ABC en s'appuyant notamment sur la méthode de Monte-Carlo.

Puis, dans une seconde partie, nous présenterons les aspects réglementaires liés au dispositif Solvabilité II appliqué aux captives. En effet, les captives de (ré)assurances disposent de conditions particulières pour Solvabilité II, d'une part pour les ratios minimum de solvabilité, et d'autre part sur leurs risques.

Enfin, nous projeterons notre modèle de tarification pour captive à travers le prisme de plusieurs scénarios et exploiterons leurs résultats sous Solvabilité II. Nous exposerons également les arbitrages et décisions qu'un actuaire pourrait prendre dans un contexte de création de captive. Ces différentes étapes nous conduiront naturellement à établir une étude comparative du coût total du risque pour le groupe ABC, selon sa rétention et le domicile de sa filiale, prenant en compte deux hypothèses réglementaires (avec ou sans la future réglementation sur la "à la française". Nous pourrions ainsi déterminer l'impact de cette provision en France, et l'atout ou non qu'elle apporterait aux captives.

Chapitre 1

Les captives

Une captive est, selon l’Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution (ACPR), une “entreprise d’assurance ou de réassurance fondée par un groupe industriel ou commercial dont l’objet est d’en couvrir exclusivement les risques. La création d’une captive permet au groupe auquel elle appartient de mutualiser les programmes d’assurance et de réassurance en vue d’obtenir de meilleures garanties, à des prix plus compétitifs auprès du marché international de l’assurance”. Sur le plan juridique, les captives sont définies à l’article L.350-2 du code des assurances. Une captive est donc une filiale à part entière d’un groupe industriel ou commercial, qui détient un agrément d’assurance ou de réassurance, couvrant exclusivement les risques de ce même groupe. C’est donc un outil stratégique à disposition des entreprises qui contribue à des méthodes de gestion alternative du risque.

Nous avons tout d’abord étudié le contexte dans lequel évoluent les captives, avant d’aborder leurs différentes formes. Pour cela, nous avons procédé à une analyse du macro-environnement type PESTEL qui nous a permis de mieux comprendre le positionnement des captives sur le marché assurantiel ainsi que leurs avantages et inconvénients.

1.1 Contextualisation : les captives dans le marché de l’assurance

L’analyse PESTEL nous permet de comprendre et d’évaluer les forces et les faiblesses de l’environnement du secteur du risque management d’entreprise et ainsi de mettre en exergue plusieurs affirmations :

- La gestion des risques en entreprise occupe une place stratégique dans l’organisation interne d’une entreprise notamment pour sa rentabilité financière. C’est un vecteur d’économies majeur ;
- La gestion des risques en entreprises occupe une place stratégique dans le marché assurantiel ;
- La gestion des risques via une captive participe au développement économique du pays d’accueil ;
- Les captives, en France, offrent une alternative pour supporter les risques auxquels sont soumises les entreprises, en changeant les normes du marché assurantiel traditionnel, mais ne semblent pas encore optimales par rapport à leurs voisines européennes.

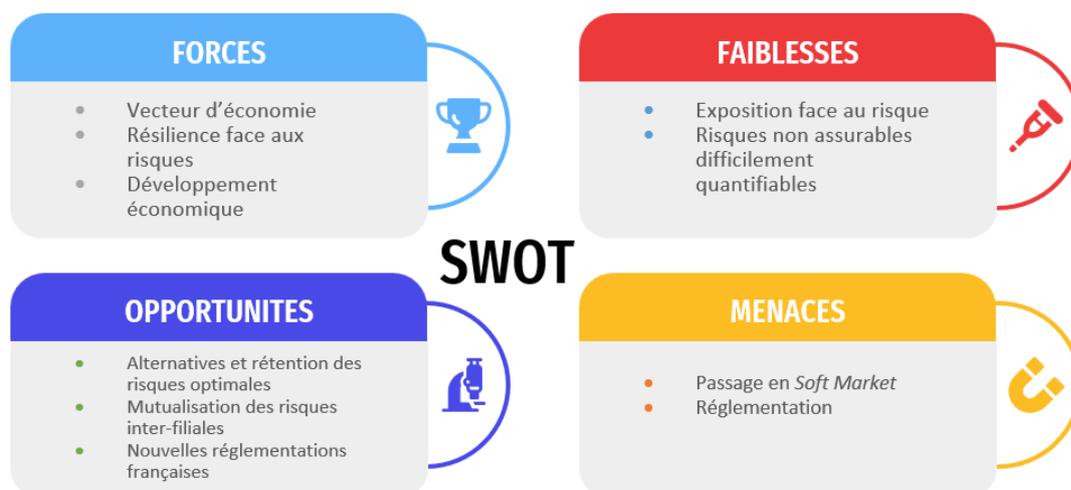


FIGURE 1.1 – Analyse SWOT

L'analyse de l'environnement Politique.

L'analyse de l'environnement politique En effet, cet environnement politique est en évolution permanente marqué par un fort niveau d'incertitude en lien avec des bouleversements géopolitiques, socio-démographiques mais également d'ordre climatique. : cyberattaques, terrorisme, crises ou encore catastrophes naturelles en lien avec le changement climatique. Aussi, tous ces incidents ont un impact sur le paysage politique de nombreux pays et donc des conséquences sur leurs stratégies mises en place pour faire face à ces aléas.

Face à ces enjeux d'intérêts communs, ce sont aux nations de développer des procédures pour pallier les risques qui peuvent mettre en péril les entreprises présentes sur leur territoire. Après les attentats survenus aux États-Unis le 11 septembre 2001, la France décide de la création d'une garantie terrorisme, créée en janvier 2002, nommée Gestion de l'Assurance et de la Réassurance des risques Attentats Et Actes de Terrorisme (GAREAT)[23], afin de couvrir les risques de dommages aux biens liés au terrorisme. Parallèlement, la réforme du régime des catastrophes naturelles dite CAT NAT[8] a offert plus de transparence dans la procédure de reconnaissance d'un évènement relevant du dispositif de catastrophe naturelle. Grâce à la révision de ce texte de loi, l'État français facilite la reconnaissance ainsi que l'indemnisation des dégâts liés à ces phénomènes. Ces différentes mesures permettent aux acteurs économiques soumis à ces risques de profiter d'un système de protection plus large, plus transparent et accessible afin de concentrer leur gestion des risques sur des risques qui sortent du spectre de l'intérêt public.

Nous constatons donc une volonté forte de la part de la France et de ses organes législatifs de créer et consolider de puissants moyens pour garantir la stabilité financière des acteurs économiques face à certains risques. Ces risques sont une affaire d'intérêt

commun, car ils perturbent bien souvent l'exercice des activités quotidiennes à travers tout le pays. Ce sont pour ces raisons que les garanties et CAT NAT fonctionnent sous la forme d'un pool de réassurance. Les assureurs et réassureurs se regroupent afin d'augmenter leur capacité d'indemnisation. Ainsi l'ensemble des assurés français, lors du paiement de sa prime dommage, ajoutera 12 % du montant pour sa participation au fonds commun CAT NAT. La taxe pour le fonds pour les grands risques varie selon les montants assurés. Elle s'applique uniquement sur les polices de réassurance dommage, entre 6 % pour des risques compris entre 6 et 20 M€ jusqu'à 18 % pour les risques dommages supérieur à 50 M€ . La surprime est fixe pour toute activité nucléaire, à 24 %.

Une captive peut décider de conserver ces deux risques. Pour , la filiale de réassurance peut capter la surprime liée au risque dommage aux biens qu'elle réassure. Si la rétention est totale et sans limite, alors le taux de surprime tombe à 0 %. Si elle est limitée, alors le taux de surprime monte à 6 %. De manière équivalente, pour le fond CAT NAT, les 12 % de surprime positionnés sur la prime dommage aux biens, peuvent être conservés par la captive.

Depuis le premier trimestre 2019, les prix des couvertures assurantielles ont considérablement augmenté. Nous avons constaté une hausse des primes [24] de 11 % en 2019, puis de 22 % sur l'ensemble des polices en 2020, pour enfin redescendre à 13 % à la fin de l'année 2021. Cependant, les entreprises n'ont pour autant pas stoppé leur croissance, et ont toujours besoin de plus de capacité assurantielle, mais à des prix attractifs.

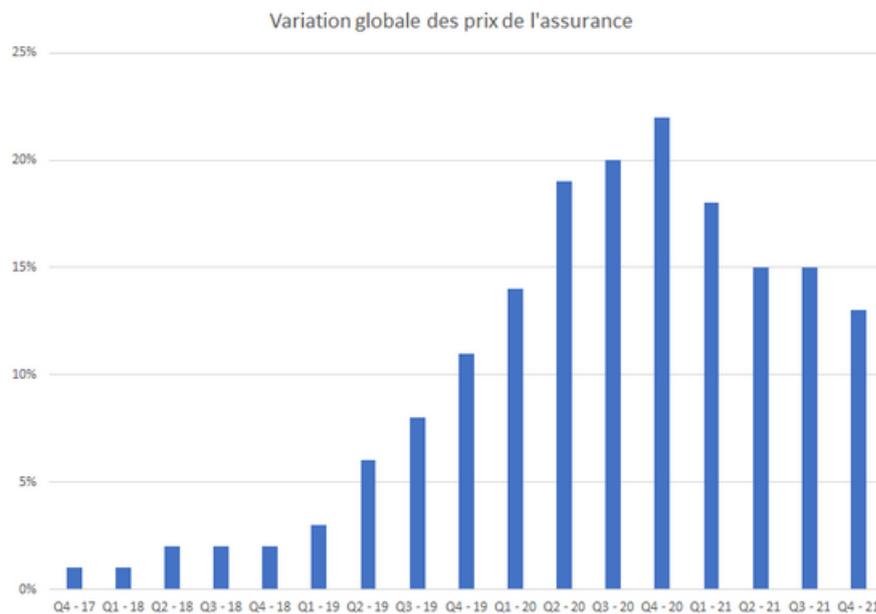


FIGURE 1.2 – Évolution des primes d'assurances.

L'investissement sur les préventions ou les systèmes de sécurité s'avère être les meilleures clés pour pallier cette augmentation. Une autre solution serait l'auto-assurance et la rétention de certains programmes assurantiels, au sein d'une filiale assurantielle du groupe, autrement dit, la mise en place d'une captive.

L'analyse de l'environnement Économique

Le secteur de l'assurance est étroitement lié à la conjoncture économique du pays, mais également en lien avec l'économie internationale. Dans le contexte actuel de hausse générale des prix, avec des taux d'inflation à un an en 2022 évalués à 6,5 % en France, et 8,7 % aux États-Unis, les charges sinistres ont augmenté pour les assureurs, notamment en raison d'une hausse des coûts d'expertise, de reconstruction ou de remise en état des véhicules. Les primes d'assurances augmentent automatiquement pour supporter cette charge inflatée.

La France est un pays attractif aux yeux des investisseurs mondiaux, selon le baromètre EY de l'attractivité de la France en 2022 [18]. La nouvelle baisse de l'impôt sur les sociétés décidée en janvier 2022 par le gouvernement français, faisant passer le taux d'imposition de 28,5 % à 25 % contribue largement à cette attractivité. Cependant, les visions politiques divergent et chaque nouvelle élection peut menacer cette stabilité économique.

Certains pays comme le Grand-Duché du Luxembourg s'appuient sur une plus grande stabilité politique garantissant des règles économiques et financières plus constantes conduisant les institutions financières à élire leur domicile dans ces pays.

Les captives n'échappent pas à cette économie très stable, et en profite pour s'installer notamment en terres luxembourgeoises. De plus, ces captives contribuent largement à l'économie de leur pays d'installation. Les conseils et comités de la captive doivent se tenir dans le pays d'accueil ainsi que la gestion comptable et une partie des fonds de la captive sont investis en obligations luxembourgeoises.

Avec plus de 350 captives installées au Luxembourg, ces dernières génèrent et alimentent l'économie locale du pays.

L'analyse de l'environnement Social.

Comme évoqué dans l'analyse de l'environnement économique, plusieurs entreprises françaises, dont certaines partiellement contrôlée par l'état français disposent de captives à l'étranger afin de profiter d'un régime fiscal plus favorable. Cependant, plusieurs entreprises françaises désirant créer une captive exigent que cette dernière soit établie en France. Une création de filiale à l'étranger, peut conduire à une atteinte à l'image de l'entreprise. Parmi les récentes créations de captives françaises, les entreprises ont appuyé ces argumentaires nationaux, arguant également du besoin de s'établir à proximité de leur siège social. La gestion des risques par une captive en France donne une meilleure visibilité à l'entreprise et lui permet d'éviter une perte de crédibilité et d'image de marque.

L'analyse de l'environnement Technologique.

La gestion des risques est également directement corrélée avec les avancées et évolutions technologiques. Ainsi, par exemple, dans 53% des cas[13], le risque de cyber-intrusion exploite des failles liées à des mises à jour du système d'exploitation non réalisées. La mise en place de nouveaux protocoles associée à l'exploitation de nouveaux logiciels de sécurité informatique permettent de faire diminuer sensiblement ce risque. Selon Allianz® Global Corporate Solution[6], les incidents cyber sont désormais les risques les plus importants pour une entreprise. Leur sévérité peut conduire des entreprises jusqu'au redressement judiciaire, comme l'industriel Clestra®, qui a subi un sinistre cyber dont le préjudice s'élève à 3 M€ . Cependant, de nombreuses assurances ne proposent pas assez de capacité d'assurance pour couvrir ce risque, car elles se considèrent trop exposées à ce dernier. Les assurés se voient donc contraints à le retenir.

La captive, ici encore, peut servir d'outil de conservation du risque. En effet, la société mère dirige complètement la politique de souscription de sa filiale. Elle a le pouvoir de conserver une partie du risque. Cette conservation permet de montrer au marché de l'assurance que le risque est "bon". En effet, la rétention par une entreprise montre une forte confiance en sa sécurité informatique ainsi que sa volonté de s'améliorer dans ce domaine. Ainsi, les primes proposées sont modulées à la baisse, et les conditions intrinsèques du contrat plus avantageuses pour l'assuré.

L'analyse de l'environnement Écologique.

L'Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution (ACPR) prévoit une multiplication des montants des sinistres catastrophes naturelles par 5 [1] à cause du dérèglement climatique. Les groupes industriels et financiers sont soumis aux risques écologiques, et doivent correctement anticiper les risques liés à leurs activités. Les entreprises doivent donc approfondir dès aujourd'hui leurs actions en faveur de la lutte contre le changement climatique. L'ACPR a également soulevé le risque d'assurabilité de la sécheresse et de l'inondation. Ces risques, si non couverts, peuvent provoquer des pertes très importantes pour les industries françaises. Il est donc indispensable de réfléchir à des alternatives pour se protéger.

L'analyse de l'environnement Légal.

Nous avons vu que les gestionnaires de risques profitaient de la politique économique stable du Luxembourg [15] pour y installer leurs captives, cependant ce pays dispose d'un autre atout : Les entreprises de réassurance peuvent profiter d'un dispositif dénommé Provision pour Fluctuation de la Sinistralité (PFS). Cette PFS est une disposition également présente en France mais contrainte par un périmètre beaucoup plus restreint, la provision pour égalisation. La PFS est l'atout majeur de l'établissement des sociétés de réassurances au Luxembourg. En effet, elle permet aux réassureurs de dégager leurs profits dans cette provision, en bénéficiant d'une imposition différées sur ces profits. Ainsi,

ils peuvent stocker jusqu'à 17,5 fois la moyenne des primes des 5 dernières années, utiliser cette provision en cas de grand sinistre et ne payer d'impôts exclusivement sur les résultats en excès de la provision.

En France, dans le projet de loi finance avorté de 2021, un amendement avait été proposé pour l'ajout d'une PFS "à la française", qui prévoyait un délai de 10 ans pour l'impôt différé sur les sociétés. Cette loi aurait grandement favorisé l'avènement de nouvelles captives françaises et aurait probablement convaincu de nombreuses entreprises françaises de rapatrier leurs captives sur le territoire national.

Conclusion de l'analyse du macro-environnement

Cette étude nous a permis de faire un état des lieux du management du risque en entreprise, et plus particulièrement des captives en France. Les captives sont un outil de transfert de risque permettant de se protéger face aux risques liés aux technologies (cyber-intrusion) et de se prémunir face aux risques non assurables (ou de plus en plus difficilement assurables) du futur (sécheresse et inondation). Les captives sont une méthode permettant de s'auto-assurer et de capter une partie de la prime de risque pour son entreprise. C'est donc également un outil de protection face à l'augmentation des primes. Elles autorisent aussi une négociation plus importante avec le marché. Cependant, les différents domiciles des captives ont une influence majeure sur le coût total du risque.

1.2 Les différents types de captive

Les captives sont des outils de transfert de risques. Cependant, il existe différentes formes de captives. Nous nous sommes appuyés sur le compte rendu réalisé par le groupe de travail de l'Institut des Actuariers [11] avec pour thème les captives pour construire cette première partie.

Nous distinguerons deux catégories de captives : Les captives "pures" et les captives "sponsorisées". Les captives pures sont des captives assurant uniquement les risques de leur(s) maison(s) mère(s). Elles sont soit monoparentales, donc ne possédant qu'un unique propriétaire ou maison mère, soit pluri-parentales, appartenant alors à plusieurs propriétaires avec des risques équivalents ou de différents secteurs, pour former par exemple un pool de réassurance et couvrir ainsi des risques exceptionnels (nucléaires, marées noires...). En Europe, la majorité des captives sont monoparentales. *A contrario*, les captives "sponsorisées" sont des captives non détenues intégralement par leurs assurés. Elles sont réservées aux groupes de taille trop limitée pour posséder une captive en propre et mobiliser le capital associé. Deux cas se distinguent pour cette catégorie.

- Les captives dites de "location", qui mettent en relation de petits groupes industriels du même secteur souhaitant bénéficier des avantages des captives. Elles ne paient pas de frais de gestion ni de mise en place de la captive, cependant les groupes doivent payer des "frais de location" en supplément de leurs primes.

- Les captives dites “cellules”, qui s’inscrivent dans une captive préexistante. Ces “cellules” sont toutes séparées et n’ont rien en commun sauf l’agrément de la cellule mère, dite “cellule core”. Chaque groupe industriel ou commercial loue une cellule, et doit couvrir le Solvency Capital Requirement (SCR) de ses engagements en plus de sa prime annuelle.

Nous allons par la suite centrer notre propos sur les captives monoparentales, sujet de ce mémoire.

Une captive d’assurance est une société filiale dédiée à l’assurance d’une entreprise [22]. Elle a les mêmes obligations qu’une compagnie d’assurance traditionnelle : Comptabilité assurantielle, normes prudentielles... Ces obligations peuvent être transférées à un tiers (collecte des primes, émission des polices et gestion des sinistres) ou être prises en charge par la coassurance. Elle intervient en direct avec ses assurés, de la récolte des primes à la gestion des sinistres. En tant que compagnie d’assurance à part entière, la captive a accès au marché de la réassurance. Elle peut donc décider de céder des parts à ce dernier, mais elle restera gestionnaire des sinistres et des primes. Elle est également habilitée à émettre des polices d’assurance, dans les pays qui l’accordent. Les avantages d’une captive d’assurance résident dans la flexibilité et l’autonomie de la souscription, la possibilité d’émettre des polices d’assurance en direct, sans passer par de fronteur, et la possibilité d’exercer en tant qu’assureur et réassureur dans certains domiciles, à condition que la réassurance soit minoritaire. Cependant, elles nécessitent une gestion administrative plus complexe et une impossibilité de souscrire simultanément des risques en vie et en non-vie.

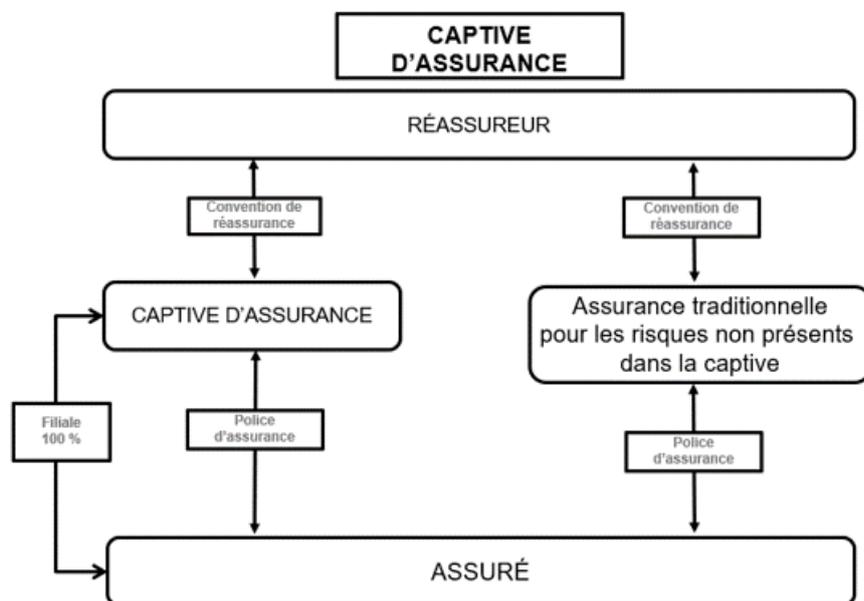


FIGURE 1.3 – Montage d’une captive d’assurance

Une captive de réassurance est une filiale de réassurance d'un groupe industriel ou commercial. Cependant, elle ne peut pas interagir directement avec ses assurés (filiales du groupe par exemple). En effet, elle devra passer par un intermédiaire, également détenteur d'un agrément d'assurance, dit "fronteur" qui gère la réception des primes et l'émission des polices. Ce fronteur reçoit les primes et réassure les risques à la captive de réassurance. Il sera responsable de la gestion et du règlement des sinistres à l'assuré. En contrepartie le « fronteur » bénéficie d'une taxe dite de "fronting", entre 5 et 10 % de la prime, ainsi que de garanties financières de différents niveaux :

- Certains fronteurs demandent le nantissement d'une partie des engagements pris par la captive. Il s'agit du niveau de garantie le plus élevé que demande les fronteurs.
- Les sûretés bancaires : C'est le mécanisme le plus utilisé dans le cadre du fronting. Il s'agit souvent de garanties émises par la banque, qui se porte caution pour la captive. Ces sûretés génèrent un coût, mais souvent inférieur au nantissement du capital.
- Les sûretés personnelles : D'autres méthodes de cautionnement telles la lettre de confort de la société mère ou le cautionnement personnel peuvent également être mises en œuvre.

Les avantages des captives de réassurance sont :

- La gestion administrative légère ;
- L'absence de personnel propre au fonctionnement de la captive ;
- Des fonds minimum requis moins importants pour une captive de réassurance non-vie.

Par ailleurs, une captive de réassurance peut souscrire simultanément des risques en vie et en non-vie sous certaines conditions. Cependant, une captive de réassurance nécessite un fronteur pour émettre ses polices. Cela requiert de nombreux frais, dont les sûretés, ainsi qu'une autonomie plus modérée du fait de l'intervention du fronteur.

La figure 1.4 résume le montage d'une captive de réassurance en mettant en exergue les différents acteurs.

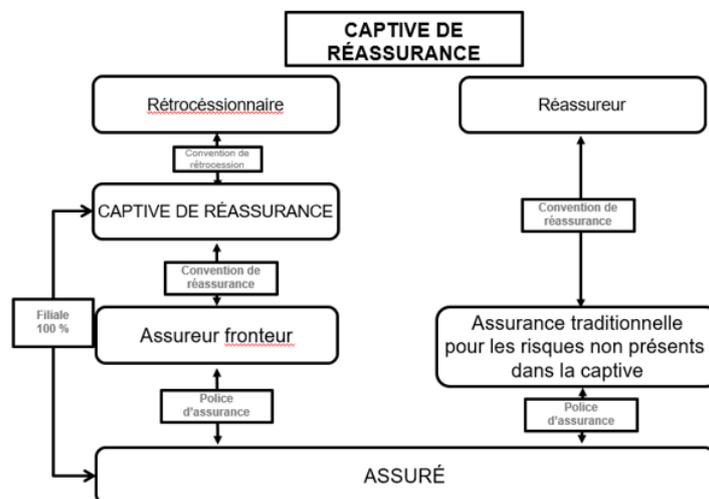


FIGURE 1.4 – Montage d'une captive de réassurance

La figure 1.5 permet de mettre en avant les principales différences entre les captives d'assurance et de réassurance.

	Captive d'assurance	Captive de réassurance
Fronting	Fronting pour les zones sans possibilité d'assurance directe	Requis pour l'ensemble des risques souscrits
Autonomie	Plus de liberté pour les souscriptions	Réduite par l'intervention du fronteur
Réglementation	Plus contraignante	Possibilité de souscrire tout type de risques
Gestion administrative	Une gestion plus lourde est présente, avec la gestion de l'émission des polices, la facturation et la gestion des sinistres	Gestion plus simple, peu de personnel requis

FIGURE 1.5 – Tableau des différences entre les captives d'assurances et de réassurances

1.3 La captive d'hier et d'aujourd'hui.

L'idée de former une société pour assurer les risques de ses propriétaires remonte à la création de l'assurance. Dès 1782, il existait des « compagnies d'assurance mutuelles » constituées par les membres d'un domaine d'activité spécifique pour fournir des assurances. En 1860, en réponse à l'augmentation spectaculaire des taux d'assurance, un groupe de marchands londoniens a formé sa propre société appelée la *Commercial Union*.

Les premières traces de captives remontent à la fin du 18e siècle ; elles sont mises en place par les transporteurs maritimes. Les différents expéditeurs s'assuraient entre eux avec différents propriétaires de navires et sur différentes routes.

Par la suite, les captives ont été utilisées comme outil d'assurance pour remplacer les assureurs commerciaux ayant peu d'attrait face aux grands risques. Les captives d'entreprises comme Petroleum® ont été établies pour assurer le transport de leurs marchandises.

Ce n'est que par la suite, en 1953, que Frederic M. Reiss crée la première compagnie d'assurance affiliée à une entreprise sous le nom de captive[19]. Ce nom fut emprunté à des mines dites "captives" en Ohio, qui envoyaient des minerais aux fours des entreprises. Ainsi, la mine serait la captive de réassurance, et son unique propriétaire et utilisateur est le four, représenté par le groupe industriel.

Par la suite, les captives se sont énormément développées. En 1980, elles étaient 1250, jusqu'à 9000 en 2020[20] , pour plus de \$100 Mds de primes payées annuellement .

1.4 Fonctionnement d'une captive.

Ce montage de transfert de risques ne permet que peu de diversification des risques. Ainsi, sa gestion opérationnelle et administrative diffère des entreprises d'un même secteur.

Gestion opérationnelle.

En amont de sa création, une captive doit sélectionner les risques qu'elle souhaite assurer. En effet, comme toute compagnie de (ré)assurance, elle doit se constituer des réserves. Créée pour se prémunir contre les grands risques, la captive connaît et maîtrise parfaitement les données des sinistres passés de la maison mère. Ainsi, si elle estime que sa prime d'assurance est trop importante par rapport au risque assuré, elle voudra prendre ce risque, et s'auto-assurer. Les risques de faible fréquence, mais d'intensité moyenne à forte, sont les parfaits candidats pour une étude de captive.

Gestion administrative

Une captive étant une compagnie classique de réassurance, il est nécessaire qu'elle implique les ressources compétentes pour la gérer [21]. Cependant, la plupart des tâches propres à ces entreprises sont externalisées à des gestionnaires. Ces derniers supervisent le spectre conséquent des missions d'une entreprise d'assurance, de l'enregistrement des sinistres, géré par le fronteur (pour une captive de réassurance) ou par la captive, jusqu'à la production des rapports techniques actuariels. Néanmoins, le personnel minimal d'une captive dépend de sa domiciliation. En France, il est nécessaire d'établir un conseil d'administration complet, avec un directeur général, un directeur général délégué, un directeur adjoint aux finances un directeur général juridique et secrétaire du conseil. En plus de ce conseil d'administration, la captive de réassurance doit avoir les fonctions clés selon Solvabilité II bien distribuées. La figure 1.6 permet de visualiser chronologiquement de façon très globale les grandes étapes de mise en place d'une captive.

Calendrier de mise en place d'une captive

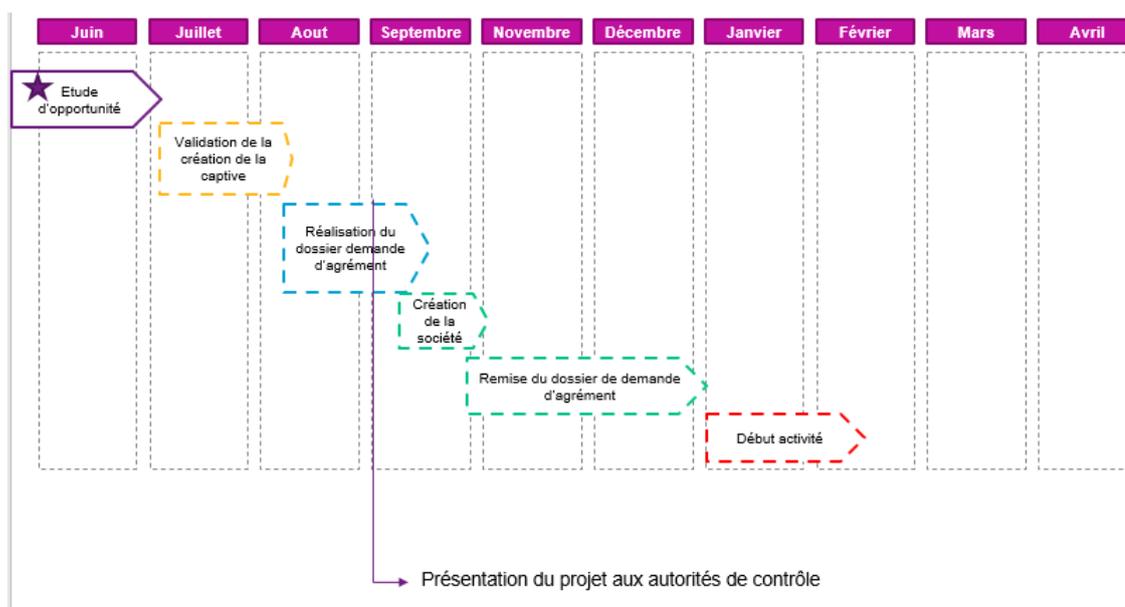


FIGURE 1.6 – Emploi du temps de mise en place d'une captive de réassurance.

1.5 Particularités de Solvabilité II pour les captives.

Dans la forme juridique, une captive est une entreprise d'assurance ou de réassurance à part entière. Ainsi, elle est également soumise aux règles fixées par la directive Solvabilité II, avec certaines spécificités. Rappelons les trois piliers de cette réforme prudentielle :

1.5.1 Pilier 1 : Exigences Quantitatives.

Le bilan prudentiel sous Solvabilité II.

Le bilan Solvabilité II est représenté de manière synthétique en figure 1.7 ci-dessous [5].

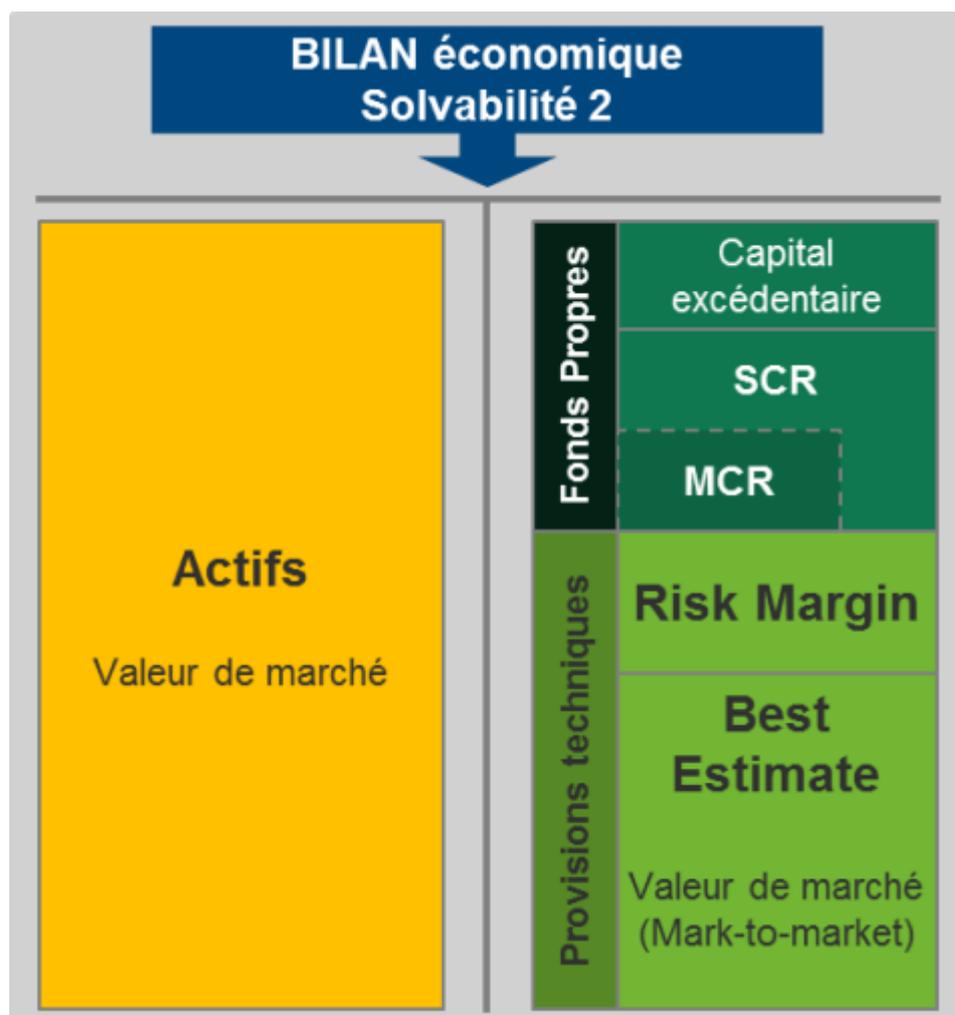


FIGURE 1.7 – Bilan prudentiel.

Sous Solvabilité II, les actifs sont comptabilisés en valeur marché. Les captives n'ont en général pas d'actions, ni d'obligations, mais des prêts intragroupes ou des liquidités. Les provisions techniques sont la somme actualisée des estimations des engagements Best Estimate de la captive et la marge pour risque.

Les exigences de capital : SCR et MCR.

En tant que filiale de réassurance, la captive doit également respecter les exigences de capitaux imposées par la norme prudentielle. Cependant, les captives de réassurance sont soumises à certaines variations.

Le *Minimum Capital Requirement* (MCR), est le plancher minimum de fonds propres qu'une compagnie d'assurance doit détenir pour conserver son droit d'exercer. Le MCR est calculé à partir de formules distinguant les activités vie et non-vie. Il doit être compris entre 25 % et 45 % du SCR et à un montant plancher minimum.

Lors de la création de la société de réassurance, la société juridique doit pouvoir justifier d'un capital social minimum de 800 000 €, et de 1 200 000 € de capital minimum requis (article R. 322-10, Article R352-29 du code des assurances). A contrario, pour une captive d'assurance, le capital minimum requis est de 2 500 000 € .

Le SCR, correspond à la *Value at Risk* à horizon un an des fonds propres de l'entreprise avec un niveau de confiance de 99,5 %. Il s'agit du montant de capital minimum dont l'assureur doit disposer pour que sa probabilité de ruine en projection à 1 an soit inférieure ou égale à 0,5 %.

Le ratio de solvabilité pour une captive.

Le ratio de solvabilité est un indicateur essentiel de la santé et de la solvabilité d'une compagnie d'assurance. Il s'exprime en pourcentage par rapport au SCR. Ce dernier est le fruit du rapport des Fonds Propres de l'entreprise sur son SCR.

$$\text{Ratio de solvabilite} = \frac{\text{Fonds Propres Eligibles}}{\text{SCR}}$$

Normalement, une compagnie d'assurance doit justifier d'un ratio de solvabilité supérieur à 100 % pour être déclarée solvable. Cependant, l'ACPR exige que les captives disposent d'un ratio de solvabilité supérieur à 120 % pour être solvable. En effet, leur petite taille et leur risque de concentration plus important nécessitent plus de précaution pour leur protection.

La Risk Margin.

La *Risk Margin* (ou marge pour risque) correspond à une des deux grandes parties des provisions techniques, avec le *Best Estimate*. Il s'agit du coût du capital que devrait posséder l'entreprise d'assurance en cas de cession du portefeuille pour couvrir son exigence de capital jusqu'à l'extinction des engagements [9].

La provision *Best Estimate*.

La provision *Best Estimate* (BE), correspond à «la moyenne pondérée par leur probabilité des flux de trésorerie futurs compte tenu de la valeur temporelle de l'argent estimée sur la base de la courbe des taux sans risque pertinente, soit la valeur actuelle attendue des flux de trésorerie futurs » [?].

Pour calculer cette provision, les entreprises doivent segmenter leurs engagements en groupes homogènes de risques, au minimum par segments d'assurance. Les flux du BE doivent tenir compte de l'ensemble des flux de trésorerie futurs des polices existantes :

- (-) les primes ;
- (+) les règlements de sinistres ;
- (+) les frais administratifs, de gestion et de fronting.

Calcul du capital économique d'une captive

Le paragraphe suivant reprend les procédés de calcul de SCR pour une captive. En effet, une captive étant une société d'assurance à petite échelle par rapport aux géants du marché, elles ne disposent pas de modèle interne.

Le capital économique requis de Solvabilité II, le SCR, correspond au montant de fonds propres que doit détenir une captive pour faire face à une ruine économique avec une probabilité à 99,5%, à horizon 1 an. La ruine économique survient lorsque la valeur marché des actifs est inférieure à la valeur des engagements BE du passif. Ce capital peut être modélisé mathématiquement par cette formule :

$$C = FP_{t=0} - q_{0,5\%}(D(1) \times FP_{t=1}) \quad (1.1)$$

- FP_0 les Fonds Propres économiques en $t = 0$,
- FP_1 les Fonds Propres économiques en $t = 1$,
- $D(1)$ le facteur d'actualisation de première période,
- $q_{1-99,5\%}$ le quantile au seuil 0.5%.

Comme nous l'avons énoncé auparavant, une captive ne possède pas de modèle interne propre, du fait de sa taille. Ainsi, nous nous centrerons notre présentation sur l'utilisation de la Formule Standard.

Formule Standard

La Formule Standard est la méthode de calcul établie par l'ACPR pour les calculs des fonds propres, commune à toutes les compagnies d'assurance sans modèle interne. Il s'agit d'une approche modulaire qui repose sur trois étapes fondamentales :

- **Première étape** : Calcul d'un capital économique pour chaque *risque élémentaire*. Ce sont les risques qui constituent les grands modules de la *pièuvre* de Solvabilité II (Marché, Santé, Défaut, Vie, Non-vie et Intangibles).
- **Deuxième étape** : Les différents capitaux économiques (SCR) établis lors de la première étape sont agrégés dans les grands modules (Marché, Santé, Défaut, Vie, Non-vie et Intangibles) et modulé grâce aux matrices de corrélations calibrées par l'EIOPA.
- **Troisième étape** : Après cette agrégation intra-modulaire, chacun des SCR sont agrégés entre eux, pour former le *Basic Solvency Capital Requirement* (BSCR). Ils sont également soumis à une matrice de corrélation spécifique.

Nous avons ainsi obtenu (le SCR global nécessaire à la captive :

$$SCR = BSCR + SCR_{op} - Adj$$

où SCR_{op} représente le besoin en capital pour couvrir le risque opérationnel, et Adj est l'ajustement en vue des pertes par impôts différés et par participation aux bénéfices.

Nous avons observé de nombreuses modifications au calcul du SCR et de l'estimation des fonds propres pour une captive. Nous pouvons déduire le schéma de l'agrégation des risques simplifié pour les captives de réassurance non-vie dans la figure 1.8.

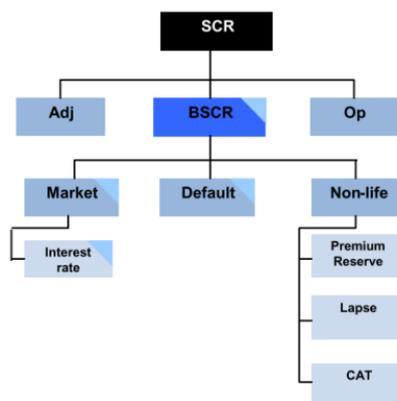


FIGURE 1.8 – Agrégation des risques en formule standard pour le groupe ABC

1.5.2 Pilier 2 : Exigences de Gouvernances.

Ce pilier de Solvabilité II impose aux compagnies d'assurance et de réassurance la mise en place d'un système de gouvernance. Son but : Garantir une gestion saine et prudente de l'activité d'assurance. Les points les plus importants de ce pilier sont :

- *A minima* deux dirigeants *fit proper* effectifs sont nécessaires à l'organisme pour respecter le principe des quatre yeux ;
- Les tâches les plus importantes pour une compagnie d'assurance ou de réassurance sont réparties en quatre fonctions clés :
 - La fonction “actuarielle”, qui coordonne les calculs actuariels des provisions techniques, soutient la fonction gestion des risques, et donne son avis sur la politique de souscription et de réassurance ;
 - La fonction “gestion des risques”, qui décèle, mesure, contrôle, gère et déclare en permanence les risques auxquels l'entité est exposée. Elle formalise également la politique de gestion des risques ;
 - La fonction “audit interne”, qui établit un plan d'audit interne et évalue l'efficacité des contrôles internes. Elle a le pouvoir d'alerter l'ACPR si besoin ;
 - La fonction “conformité”, qui établit un plan et une politique de conformité. Elle s'assure de la conformité avec la régulation des décisions prises par l'organisme.

En outre, le pilier II appelle à une évaluation interne des risques, l'*Own Risk Self Assessment* (ORSA). Elle possède trois composantes principales :

- L'évaluation du besoin global de solvabilité ;
- Le respect permanent des obligations réglementaires du SCR et du MCR ;
- L'évaluation de l'impact de la dégradation du profil de risque de l'organisme.

L'organisation des fonctions clefs impliquent quelques différences pour les captives. En effet, dans un but de conformité, les commissaires aux comptes de la captive ne peuvent être les auditeurs de la captive, et vice-versa... En France, toutes ces fonctions clés sont souvent externalisées aux courtiers placeurs de la captive, à des cabinets de conseils spécialisés ou encore à certains actuaires indépendants, certifiés par l'Institut des Actuaires. Le rapport ORSA reste le même en substance, et est également sous-traité par les mêmes acteurs.

1.5.3 Pilier 3 : Information à destination du public et du superviseur

L'organisme se doit d'effectuer régulièrement des rapports au superviseur ainsi qu'au public. Ils se composent d'états quantitatifs trimestriels et annuels (*quantitative reporting templates* (QRT)), accompagnés d'une méthodologie et d'un questionnaire qualitatif. Les rapports narratifs (SFCR et RSR) font également partie des rendus nécessaires au pilier 3. Il n'y a pas d'exception pour les captives. Ces rapports sont également rédigés par la fonction actuarielle externalisée, par un actuaire certifié.

1.5.4 Conclusion

Les captives sont un outil de transfert de risques transverses. Nous avons présenté dans ce chapitre les différences entre les captives d'assurance et de réassurance et ainsi établi un état des lieux de la captive en France. Véhicule d'assurance, il permet de trouver des solutions alternatives à l'assurance traditionnelles dont les conditions se durcissent années après années. Cependant, ces captives sont soumises à la même réglementation que les compagnies d'assurances françaises, et leur création nécessite des fonds et un savoir-faire important.

L'établissement d'une captive et les décisions sous-jacentes qu'elle engendre nécessitent de nombreux calculs actuariels et l'implication d'actuaire agréés en France. En effet, il s'agit de la création complète d'une compagnie de réassurance !

Le chapitre suivant vise à expliquer la méthode de tarification propre aux captives ainsi qu'à la présentation du cas pratique.

Chapitre 2

Modèle de tarification pour captives de réassurance.

Par son modèle de filiale d'une maison mère et sans objectif de bénéfices, le modèle de tarification des captives diffère des modèles classiques. Nous nous appuyons sur une situation pratique et authentique pour présenter ces différents modèles.

2.1 Présentation du cas pratique.

Pour appliquer et illustrer notre modèle, nous allons nous appuyer sur l'étude complète de la création d'une captive pour un groupe industriel, le groupe ABC. Il s'agit d'un grand groupe industriel français. Il possède plus de 200 sites répartis dans 50 pays. La figure 2.1 reprend la répartition mondiale de ses valeurs assurables :

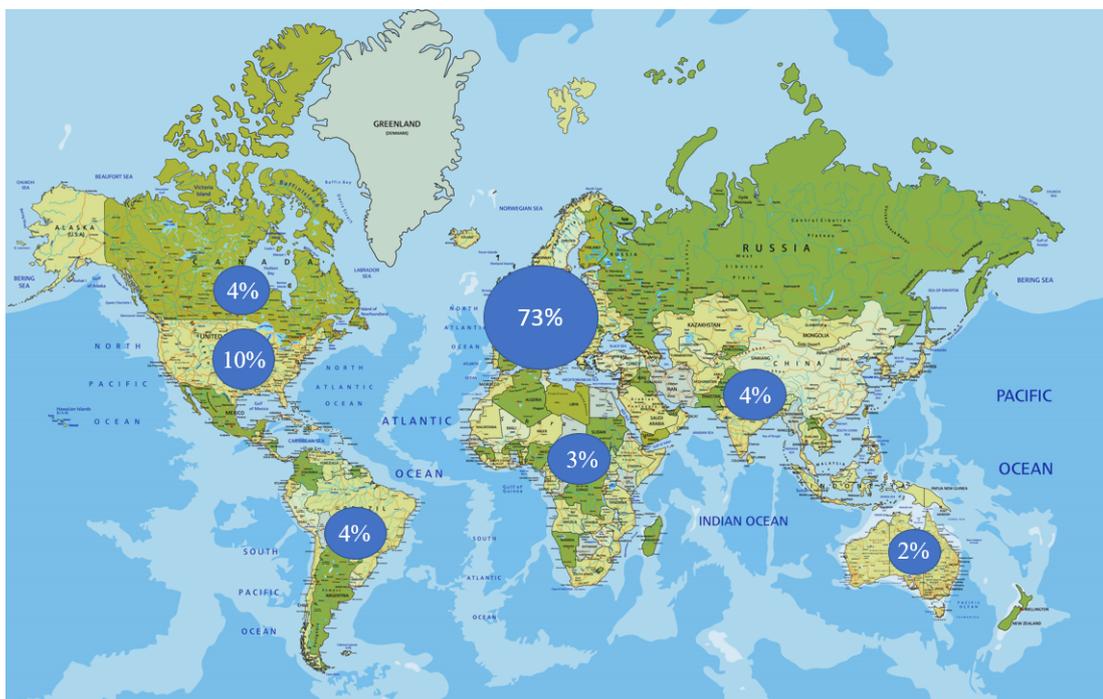


FIGURE 2.1 – Répartitions des valeurs assurables dans le monde du groupe ABC

Le groupe ABC a produit en 2021 un chiffre d'affaires de 10 milliards d'euros, pour un bénéfice net de 300 millions d'euros (M€). Sa prime d'assurance annuelle globale est de 60 M€. Le groupe estime que ses primes d'assurance sont trop lourdes au regard d'une sinistralité qu'il juge faible. Pendant leur dernier renouvellement, les conditions se sont durcies sur deux lignes assurantielles :

- L'assurance Dommages Directs et Pertes d'Exploitation (DDPE)
- L'assurance Responsabilité Civile (RC)

2.1.1 L'assurance Dommages Directs et Pertes d'Exploitation

Il s'agit d'une sous partie de l'assurance Incendie, Accidents et Risques Divers (IARD). Le groupe ABC est couvert face aux sinistres de la branche de l'article R321-1 du codes des assurances :

- La branche n°8 : Incendie et éléments naturels : Tout dommage subi par les biens (autres que les biens compris dans les branches 3,4,5,6 et 7) lorsqu'il est causé par :
 - Incendie ;
 - Explosion ;
 - Tempête ;
 - Éléments naturels autres que la tempête ;
 - Energie nucléaire ;
 - Affaissement de terrain

Cette police protège l'entreprise contre toutes les pertes directes liées à ces branches. Cependant, il reste la perte d'exploitation liée à ces branches. La couverture des pertes d'exploitation offre une solution d'assurance pour les pertes financières, à la suite d'un dommage matériel couvert, qui auront un impact sur les bénéfices du groupe.

Cette perte d'exploitation est quantifiée chaque année par le réseau mondial de sites de l'entreprise. Une répartition du chiffre d'affaires par site est effectuée puis répartie par année. Elle est ensuite lissée par jour d'arrêt. La police d'assurance du groupe possède cette clause. Elle est souvent appliquée pour les sinistres de grande ampleur, comme les incendies, rendant les sites industriels impraticables.

2.1.2 L'assurance responsabilité civile

L'assurance responsabilité civile protège une entreprise contre les réclamations pour les dommages corporels et matériels subis par un tiers. Il existe deux catégories d'assurance responsabilité civile : La responsabilité civile personnelle et la responsabilité civile professionnelle. Dans le cadre de notre travail, nous nous intéresserons exclusivement à la responsabilité civile professionnelle. Dans le cadre de son activité, une entreprise ou son personnel peut causer des dommages, ou des préjudices à un tiers. La responsabilité civile professionnelle intervient à cette occasion. Les principales garanties des contrats responsabilité civile sont les suivantes :

- La garantie responsabilité civile liée à l'exploitation qui garantit les dommages lors de l'exercice d'une prestation. Il peut s'agir de :
 - Dommages corporels causés par une entreprise. Si un client se rend sur un site de travail et se blesse, une police d'assurance responsabilité civile générale couvrira ses frais médicaux ; Les dommages matériels : L'entreprise peut être légalement responsable si les biens d'une personne sont endommagés alors

qu'elle se trouve au sein du groupe, ou qu'ils sont endommagés par un des produits du groupe ;

- Les dommages immatériels : Pertes de données informatiques par exemple.
- La garantie responsabilité civile professionnelle : Elle couvre les dommages causés par l'entreprise. Par exemple, le mauvais conseil d'un actuaire peut causer une perte financière lors d'un calcul de SCR à un organisme assurantiel ;
- La garantie responsabilité civile des dirigeants : En cas de faute grave d'un dirigeant d'une entreprise, la responsabilité civile de ce dernier peut être engagée.

L'entreprise ABC est couverte en responsabilité civile face aux sinistres de la branche de l'article R321-1 du code des assurances :

La branche n°13 : Responsabilité civile générale : Toute responsabilité autre que celles mentionnées sous les numéros 10,11 et 12.

La police d'assurance actuelle couvre cette branche, selon les spécificités du pays, prises en compte par le fronteur, et les polices locales. Après avoir analysé les particularités de ces programmes d'assurance, nous allons appréhender les données fournies.

2.1.3 Paramètres d'entrées nécessaires.

Présentation du jeu de données.

Pour mener à bien notre étude, nous avons recueilli différentes données qui nous en, entre autres, permis de définir un périmètre d'étude. Pour l'étude du programme Dommages Directs et Pertes d'Exploitations (DDPE) :

- Les valeurs assurables des sites de l'entreprise afin d'évaluer le profil de sinistralité du groupe ABC ;
- L'historique des sinistres dommages directs et pertes d'exploitation, pour calibrer nos modèles de sinistralité et de fréquence.

Pour l'étude du programme Responsabilité Civile (RC) :

- Le chiffre d'affaires de l'entreprise ABC ;
- L'historique des sinistres responsabilité civile afin de calibrer nos modèles de sinistralité et de fréquence.

Par ailleurs, tout au long de ce travail d'étude, nous nous appuyerons sur les données suivantes communes aux deux segments d'assurance :

- Les taux d'inflation historiques par pays ;
- Les variations des polices et des garanties d'assurance.

Les valeurs assurables des sites de l'entreprise .

Nous devons définir le périmètre assurable du groupe ABC. Ce dernier possède 200 sites répartis dans 50 pays différents. Cette base de données compte 10 colonnes différentes. Des ingénieurs prévention se sont rendus sur les différents sites et ont estimé les valeurs de chaque site. Toutes ces valeurs ont ensuite été converties en euros. Quatre caractéristiques se distinguent en plus des colonnes informations (qualitatives non utilisables) sur chacun des sites :

- La caractéristique "Stock" estime la valeur globale des réserves dans chacun des sites ;
- La caractéristique "Building" évalue la valeur du bâtiment sur le site ;
- La caractéristique "Business Interruption" évalue la perte d'exploitation potentielle en cas de sinistres importants ;
- La caractéristique "Total Insured Value", qui additionne les trois colonnes précédentes, et qui calcule la valeur assurable totale de chaque site.

Ainsi, nous disposons de la répartition géographique des sites de l'entreprise ABC et de la ventilation de ses valeurs totales assurées. Issues de ses données, nous avons pu déduire les éléments suivants :

- Le groupe ABC possède 18,9 milliards d'euros de valeurs assurables ;
 - Uniquement en "*Stock et Building*", (dommage sans pertes d'exploitation), il compte 14,7 milliards d'euros en valeurs assurables. En effet, il possède des machines- outils propres à son secteur et créés exclusivement pour cette industrie ;
 - Le reste des valeurs assurables constitue les pertes d'exploitations. Elles sont estimées à 4,2 milliards d'euros par les ingénieurs missionnés à cet effet.
-

Au niveau de la répartition géographique, nous relevons une très forte présence en Europe (près de 75 % des sites sont situés en Europe) et le reste des valeurs assurées sont réparties entre les Amériques (15 %) et le reste du monde. Ces données sont schématisées dans la figure 2.2.

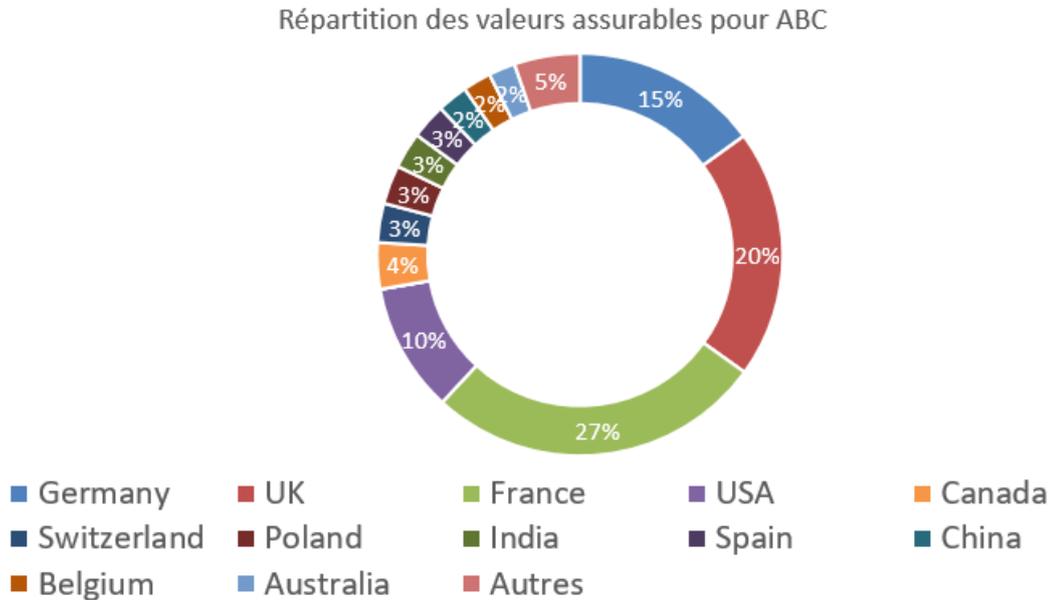


FIGURE 2.2 – Répartitions des valeurs assurables dans le monde du groupe ABC

L’historique des sinistres DDPE.

Pour réaliser cette étude, nous nous sommes basés sur 11 années d’historique sinistre du groupe ABC, de 2010 à 2020. En effet, les données antérieures à 2010 ne sont pas disponibles et l’année 2021 n’est pas encore assez mature pour pouvoir être intégrée dans nos modèles. Cette base de données est riche de nombreuses informations non quantitatives ainsi qu’une description très précise du règlement des sinistres. Il s’agit directement de la statistique sinistre assureur. Le renouvellement des polices s’effectue le 1er janvier annuellement. Cette base de données sera notre point d’attache pour les modélisations du risque DDPE.

Les caractéristiques que nous prendront en compte sont les suivantes :

- L'année de souscription de la police ;
- La date du sinistre ;
- Le type du sinistre ;
- La franchise du sinistre ;
- Les coûts réglés par l'assureur ;
- Le coût total du sinistre (Franchise + coût réglé par l'assureur).

Fort de ces éléments, nous avons établi une description statistique de la sinistralité et obtenu le bilan suivant :

- 138 sinistres rapportés en DDPE sur la période étudiée, dont 34 nuls ;
- Charge moyenne annuelle de 10,683 M€ avec un nombre moyen de sinistres annuels évalué à 12,5 par an, dont 3 sont nuls ;
- Perte la plus importante survenue en 2011, avec un sinistre réglé et clos à 132 M€ . Ce sinistre est particulièrement important, il a été considéré comme sinistre ayant une période de retour centennale du fait de sa sinistralité extrême.

Les deux graphiques figurant en 2.3 et 2.4 représentent la sinistralité du segment DDPE pour le groupe ABC. Le graphique 2.3 exclut le sinistre extrême de 2011, mais également les sinistres nuls tandis que le graphique 2.4 prend en compte l'ensemble des sinistres sans distinction. Nous observons aisément l'importance du sinistre de 2011 dominant très largement les autres sinistres. Dans une moindre mesure, le sinistre de 2013 a eu un impact financier important. Les sinistres nuls ont un impact important sur la fréquence des sinistres. Dans le cadre de ce travail, nous avons choisi de ne pas prendre en compte le sinistre de 2011 du fait de son caractère tout à fait exceptionnel eu égard aux autres sinistres.

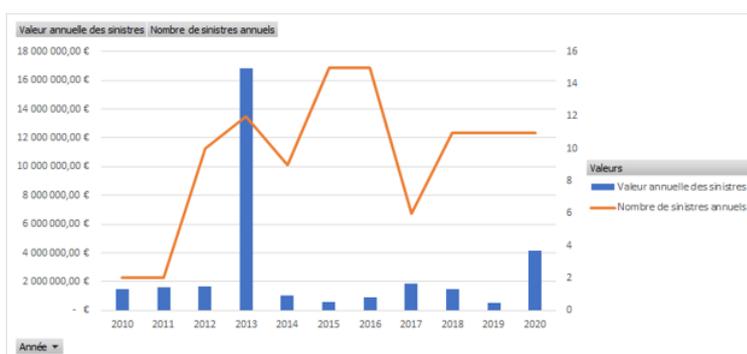


FIGURE 2.3 – Répartition de la charge de sinistralité pour le groupe ABC, en excluant le sinistre de 2011 et les sinistres nuls.

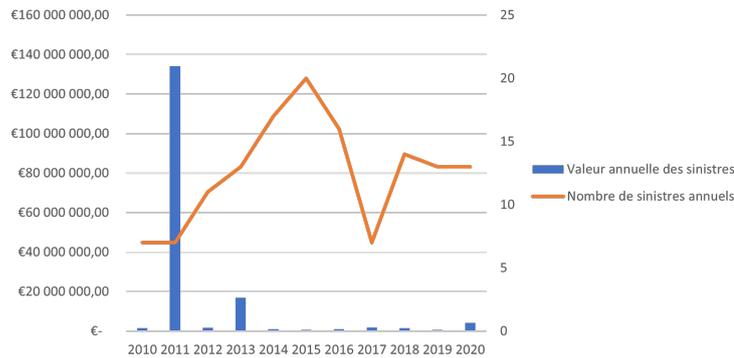


FIGURE 2.4 – Répartition de la charge de sinistralité pour le groupe ABC, prenant en compte l’ensemble de la sinistralité.

Le chiffre d’affaires de l’entreprise et sa répartition.

Le diagramme 2.5 représente la répartition du chiffre d’affaires de l’entreprise ABC. Cette donnée nous a permis de calculer le sinistre maximal en responsabilité civile. Cette donnée nous est indispensable pour évaluer le sinistre maximal possible. Il est d’usage en RC de considérer le chiffre d’affaires comme sinistre maximal. En effet, la société ne peut être engagée au-dessus de son propre chiffre d’affaires, puisqu’il s’agit de la responsabilité de l’entreprise, à travers ses produits.

Contribution au chiffre d’affaire par région du monde

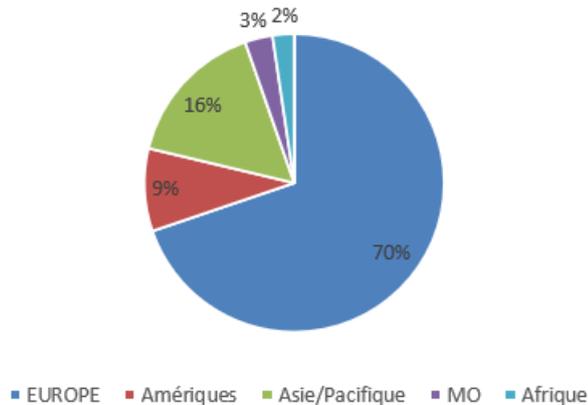


FIGURE 2.5 – Répartition du chiffre d’affaires du groupe ABC par région du monde.

Si la majorité du chiffre d’affaires du groupe provient de l’Europe, la region Asie-Pacifique représente 16% du CA et reste un axe important de développement pour le groupe.

L'historique des sinistres responsabilité civile.

Comme en DDPE, nous nous sommes basés sur un périmètre précis pour étudier la police de responsabilité civile générale du groupe ABC. Pour cela, nous avons pris comme période d'études de données la même période que celle utilisée pour la branche dommage. Les données recueillies sont donc issues des 11 années - 2010 à 2020 - et sont réparties comme la statistique assureur dommage. Les principaux enseignements extraits de cette analyse sont les suivants :

- 207 sinistres dans notre base de données, en moyenne 18,8 par an, dont 4,6 nuls ;
- Charge moyenne annuelle des sinistres : 16,932 M€ ;
- Sinistre maximal réglé et clos : 17,708 M€ , survenu en 2010.

Les deux figures 2.6 et 2.7 représentent graphiquement la sinistralité du segment RC au sein du groupe ABC sur la période 2010-2020.

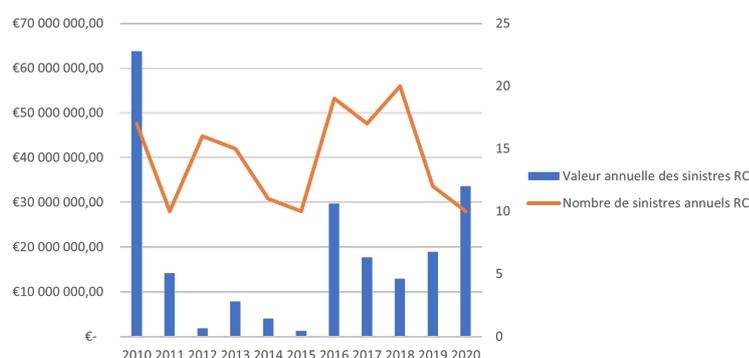


FIGURE 2.6 – Répartition de la charge de sinistralité RC pour le groupe ABC après exclusion des sinistres nuls.

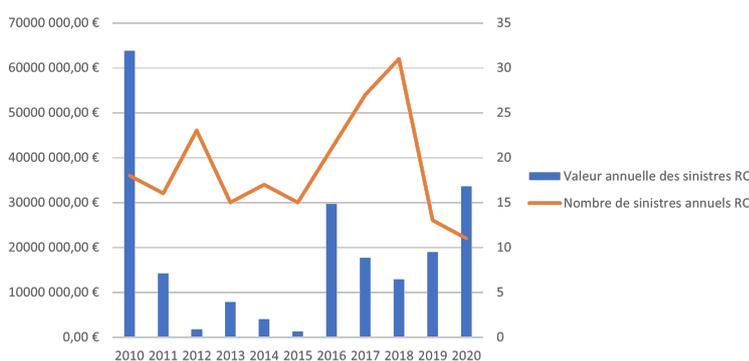


FIGURE 2.7 – Répartition de la charge de sinistralité RC pour le groupe ABC prenant en compte l'ensemble des données.

Ces données sont essentielles à notre travail puisqu'elles nous ont permis de calibrer notre modèle.

Les taux d'inflations historique par pays

Afin d'actualiser les coûts des sinistres du groupe ABC et les mettre en lien avec le niveau de l'inflation, nous nous sommes basés sur des tables d'inflation dont un extrait est disponible en Annexe A.1.

Nous discuterons de l'utilisation de ce tableau dans la description du modèle de tarification.

L'historique des variations des couvertures

Les polices et leurs garanties ont été modifiées au cours des onze dernières années pour le groupe ABC. Nous nous sommes particulièrement intéressés aux variations des franchises et des engagements minimaux. Le segment DDPE a connu une variation de franchise après le sinistre catastrophe de 2011 en passant de 200k€ à 500k€ . Nous avons donc retraité nos données pour prendre en compte ce changement de franchise. Cependant, cela nous fait apparaître une censure à gauche, puisque les sinistres inférieurs à 500k€ n'apparaissent plus sur les relevés de sinistralité.

Concernant la partie RC, qui possède une franchise de 1 M€ , aucune variation n'a été retrouvée, hormis une augmentation régulière de la prime jusqu'en 2021.

2.2 Description des données sinistres

Il est important de rappeler que dans le cadre de notre étude, nous avons travaillé en réassurance non-proportionnelle. La réassurance proportionnelle implique une proportionnalité entre d'un côté la prime et la somme assurée et de l'autre, le montant du sinistre pris en charge par le réassureur. *A contrario*, la réassurance non-proportionnelle indique un montant de sinistre prédéterminé pris en charge par le réassureur, avec un seuil d'intervention et une limite maximum, sans lien avec la prime originale et la somme assurée du risque.

Dans le cadre de notre captive de réassurance, nous nous sommes exclusivement basés sur de la réassurance non proportionnelle.

Nous avons mis en place une technique de tarification spécifique. Elle correspondait à l'évaluation faite par le réassureur de la sinistralité attendue, avec un chargement sur la volatilité.

Nous avons donc procédé à une première tarification sur la sinistralité historique en nous appuyant plus particulièrement sur la méthode "*As-If*", puis nous avons étudié plusieurs modèles probabilistes pour la modélisation de la sinistralité et de la fréquence des sinistres.

Deux options ont été étudiées pour cette captive :

- Option 1 : Option sur la première ligne d'assurance, de la franchise jusqu'à un point d'attachement bas. Les engagements pour cette option sont :
 - 2,5 M€ par sinistre et 4 M€ en excès de (XS) 0,5 M€ pour la branche DDPE par an ;
 - – 5 M€ par sinistre et 10 M€ par an XS 1 M€ pour la branche RC.
- Option 2 : Couverture plus importante des risques DDPE et RC hors catastrophes.
 - 5 M€ par sinistre et 10 M€ XS 0,5 M€ pour la branche DDPE par an ;
 - – 10 M€ par sinistre et 20 M€ par an XS 1 M€ pour la branche RC.

2.2.1 Présentation de la méthode *As-If*

Le but de la méthode *As-If* est d'évaluer les charges des sinistres passés à aujourd'hui. La méthode fonctionne en estimant les pertes attendues d'une police sur la base des pertes moyennes des années précédentes, après avoir pris en compte l'inflation des sinistres, les changements d'expositions et toutes autres modifications nécessaires pour que les données des sinistres passés soient pertinentes pour la situation actuelle.

La méthode *As-If* est fondée sur une hypothèse fondamentale : La connaissance de la sinistralité passée d'un portefeuille stable et mature permettant de prévoir la sinistralité des années futures.

La méthode *As-If* admet donc que la sinistralité des années passées reflète la sinistralité des années présentes et futures.

Prise en compte de l'inflation.

L'inflation est l'un des modulateurs majeurs des charges des sinistres. Nous devons donc appliquer l'inflation à chacun de nos sinistres, selon son année et l'historique d'inflation, pour avoir une vision rétrospective.

Nous avons étudié les sinistres passés du groupe ABC pour évaluer ceux du futur, après prise en compte de l'inflation selon la méthode suivante.

Etape 1 : Définition du tableau d'inflation.

Nous disposons de l'information sur les pays dans lesquels les sinistres se sont déroulés, et leur date de survenance. Nous avons donc récupéré les taux d'inflation historiques, en utilisant le *Consumer Price Index*. Il représente la variation annuelle des prix d'un ensemble de biens et de services pour un pays donné. Les sinistres sont distribués dans 23 pays, le tableau d'inflation en accord se trouve en Annexe A.1.

Nous avons désormais pris en compte $taux_{pays,i}$ le taux d'inflation lié à l'année i pour le pays choisi.

Etape 2 : Inflation des sinistres

Soit i l'indice des années de sinistres, de 1 à 11 ;

Soit $S_{i,pays}^j$ la valeur du j -ème sinistre de l'année i du pays ;

Soit $S'_{i,pays}^j$ la valeur actualisée du j -ème sinistre de l'année i du pays ;

Alors :

$$S'_{i,pays}^j = S_{i,pays}^j * \prod_{k=1}^i (1 + \text{taux}_{\text{pays},i})$$

Ainsi, sur les 23 pays et 11 années de sinistralité, nous obtenons nos sinistres inflatés, en moyenne de :

- Une augmentation de 27% pour les sinistres DDPE ;
- Une augmentation de 10,5% pour les sinistres RC.

La différence s'explique par une concentration de sinistres RC au Canada et aux USA , et une plus grande dispersion pour les sinistres DDPE, avec plusieurs sinistres en Argentine pays qui a connu un très fort taux d'inflation au cours de cette décennie

Afin d'améliorer la justesse de la prise en compte de l'inflation, nous aurions pu rajouter une demi année d'inflation à nos sinistres, pour mieux considérer les sinistres survenant à la mi-année.

Prise en compte de l'exposition.

Nous avons déjà modulé les sinistres en fonction de l'inflation. Cependant, l'inflation ne permet pas de prendre en compte la pondération de la fréquence des sinistres. En effet, une entreprise en développement comme le groupe ABC va acquérir ou céder des filiales. Ainsi, son périmètre assurable est amené à varier chaque année.

Nous avons émis l'hypothèse que le nombre de sinistres annuels est corrélé à l'évolution de ce périmètre. Ainsi, nous avons pris le parti d'inflater le nombre des sinistres, en fonction du périmètre actuel.

Pour calculer la pondération des sinistres, nous avons utilisé l'historique des valeurs totales assurées.

Soit TIV_i la valeur totale assurée (Total Insured Value)¹ pour l'année i ;

Soit θ_i le coefficient de pondération de fréquence des sinistres, alors :

$$\theta_i = TIV_{11}/TIV_i$$

Ensuite, nous avons appliqué θ_i à la fréquence annuelle des sinistres de notre *As-If*.

1. TIV_{11} la TIV de l'année 2020

Les résultats obtenus sur la base de données DDPE sont repris dans le tableau 2.8 :

Année	Exposition	Pertes actuelles	Sinistralité inflatée et modulée en fonction de l'exposition
		Nombre de sinistres non nuls	Nombre de sinistres non nuls
2010	130%	2	3
2011	116%	2	2
2012	114%	10	11
2013	108%	12	13
2014	105%	9	9
2015	104%	15	16
2016	100%	15	15
2017	94%	6	6
2018	107%	11	12
2019	100%	11	11
2020	100%	11	11
Moyenne ('10-'20)		9	10

FIGURE 2.8 – Modulation des sinistres DDPE

Nous avons ainsi obtenu, sur la distribution globale, une augmentation de 9 à 10 sinistres non nuls moyens annuels.

Prise en compte des *Incurring But Not Reported* (IBNR)

Nous n'avons pas pu obtenir pour ce travail les statuts des sinistres. Nous n'avons donc pas pu réaliser d'étude des IBNR.

Nous disposons de deux branches d'assurances distinctes, avec des durées différentes. La branche DDPE est une branche courte, donc l'impact des IBNR y est modéré, tandis que la branche RC est une branche longue. Ainsi, l'impact des développement des sinistres est plus important. Nous nous sommes donc retrouvés face à un biais sur cette partie.

Le tableau 2.9 résume l'analyse obtenue à travers le modèle As-If :

Sinistralité inflatée et modulée en fonction de l'exposition

Année	Nombre de sinistres non nuls	Perte totale	Sinistre maximum
2010	3	1 516 377	1 349 768
2011	2	1 838 724	1 638 684
2012	11	1 939 529	949 036
2013	13	20 245 048	14 419 225
2014	9	1 253 025	618 682
2015	16	740 251	182 465
2016	15	1 196 888	289 845
2017	6	2 554 202	804 570
2018	12	1 824 319	647 377
2019	11	711 443	328 965
2020	11	5 389 700	2 630 787
Moyenne ('10-'20)	10	3 564 501	2 169 037

FIGURE 2.9 – Résultat du modèle *As-If* sur le programme DDPE, sinistre majeur de 2011 exclu.

Analyse des résultats pour la branche DDPE.

Cette analyse pour le risque DDPE nous apporte plusieurs informations essentielles :

- La moyenne annuelle des sinistres pour le groupe ABC est évaluée à 17,05 M€ en prenant en compte toutes les données, et 3,564 M€ en ne prenant pas en compte le sinistre le plus important. Annuellement, nous estimons que le groupe ABC sera sujet à une charge 3,564 M€ de sinistralité, puisque le sinistre centenaire a un impact trop important sur la moyenne.
- En moyenne, en prenant en compte la modulation des sinistres, le groupe ABC subit 12 sinistres par an ;
- La variance d'une année à une autre en termes de sinistralité est de 20,61, et l'écart type est de 4,54 ;
- L'impact de l'inflation et de la modulation des sinistres selon l'exposition représente une augmentation de 31,6%.

Nous pouvons déduire de cette analyse le profil de risque de l'entreprise. Nous remarquons que la variance est élevée, avec en 2011 une perte totale estimée à 132 M€, tandis qu'en 2010 nous n'avons que très peu de sinistres, avec une charge sinistre estimée à 1,8 M€. Cependant, après discussion avec les experts sinistres qui ont géré cette situation, il s'agit d'un sinistre avec une période de retour centenaire. Nous n'avons donc pas pris en compte cette année pour estimer le profil de risque du groupe.

Ainsi, nous obtenons un profil de risque d'intensité modérée, avec des années de sinistralité entre 1 M€ et 20 M€. Nous avons également une fréquence modérée à faible.

Pour mémoire, Un profil de risque à faible intensité et à forte fréquence serait par exemple une entreprise de location de voitures. Un profil de sinistre d'intensité importante et de fréquence faible serait par exemple une centrale nucléaire.

Utilisation du modèle As-If pour la branche responsabilité civile

Nous avons utilisé la même méthode d'inflation pour les sinistres en Responsabilité Civile. Cependant, nous n'avons pas pu utiliser la valeur totale assurée pour moduler la fréquence de sinistralité. Ainsi, en Responsabilité Civile Professionnelle, il est d'usage d'utiliser l'évolution du chiffre d'affaires. Les évolutions du chiffre d'affaires du groupe ABC sont décrites dans le graphique 2.10.

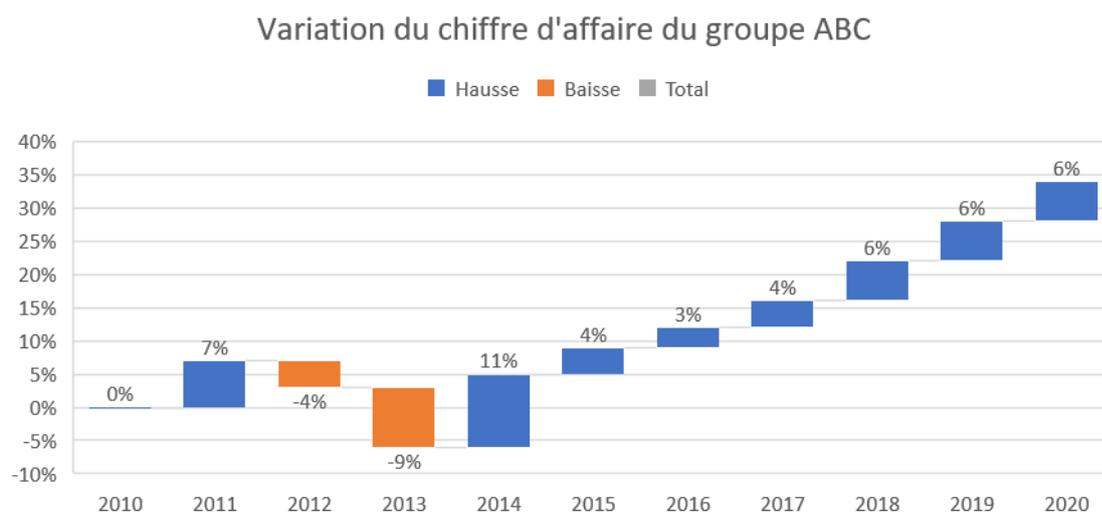


FIGURE 2.10 – Évolution du chiffre d'affaires du groupe ABC depuis 2011

Nous avons posé les hypothèses suivantes :

- *Hypothèse 1* : Le chiffre d'affaires et la fréquence des sinistres sont corrélés positivement.
- *Hypothèse 2* : La dernière année de sinistralité n'est pas représentative, puisqu'il existe des IBNR sur cette année de souscription.

En appliquant la même méthode que pour les sinistres DDPE, avec le nouvel indice de modulation de fréquence des sinistres, nous avons obtenu les données suivantes regroupées dans le tableau 2.11 pour le programme RC :

Année	Exposition	Pertes actuelles	
		Nombre de sinistres non nuls	Sinistralité inflatée et modulée en fonction de l'exposition Nombre de sinistres non nuls
2010	134%	17	23
2011	125%	10	13
2012	130%	16	21
2013	143%	15	21
2014	128%	11	14
2015	123%	10	12
2016	120%	19	23
2017	116%	17	20
2018	110%	20	22
2019	105%	12	13
2020	100%	10	10
Average ('10-'20)		14	17

FIGURE 2.11 – Résultat de la modulation du $As-If$ sur le programme RC

Analyse des résultats pour la branche RC.

Pour la branche RC, les résultats sont repris dans le tableau 2.12 :

Sinistralité inflatée et modulée en fonction de l'exposition

Année	Nombre de sinistres non nuls	Perte totale	Sinistre maximum
2010	23	63 780 327	17 708 032
2011	13	15 182 831	7 635 910
2012	21	1 850 428	1 281 453
2013	21	7 354 605	3 511 942
2014	14	4 224 795	3 082 995
2015	12	1 413 991	1 198 611
2016	23	33 268 355	17 049 676
2017	20	20 527 160	7 645 454
2018	22	15 765 632	3 797 420
2019	13	24 240 338	9 983 291
2020	10	45 016 866	11 381 329
Average ('10-'20)	17	21 147 757	7 661 465

FIGURE 2.12 – Résultat du modèle *As-If* sur le programme RC

Cette analyse pour le risque RC nous a apporté plusieurs informations essentielles :

- La moyenne annuelle des sinistres pour le groupe ABC est évaluée à 21,15 M€ . Annuellement, nous estimons que le groupe ABC sera sujet à une charge 21,15 M€ de sinistralité.
- En moyenne, en prenant en compte la modulation des sinistres, le groupe ABC subit 17 sinistres par an, soit une augmentation de 5 sinistres.
- La variance d'une année à une autre en termes de sinistralité est de 15,61, et son écart type est de 3,95.
- L'impact de l'inflation et de la modulation des sinistres selon l'exposition représente une augmentation de 24,8%.

Nous avons pu déduire de cette analyse le profil de risque de l'entreprise pour la branche RC. Nous avons remarqué que la variance est plus faible qu'en DDPE. En effet, le nombre de sinistres est plus stable en RC qu'en DDPE. Par ailleurs, le groupe ABC n'a pas eu à déplorer de sinistre de très forte intensité jusqu'à présent, avec un sinistre maximal estimé à 32 M€ à ce jour.

Ainsi, nous avons défini un profil de risque d'intensité modérée, avec des années de sinistralité entre 1,7 M€ et 61 M€ . Nous avons également une fréquence modérée, plus importante que pour la branche DDPE.

Ce modèle As-If nous a permis d'obtenir des résultats pertinents, cependant, l'utilisation de ce modèle comporte un certain nombre de limites.

Dans un premier lieu, en l'absence des IBNR, l'évaluation des sinistres manque de précision.

Par ailleurs nous nous sommes basés sur l'ensemble des données sinistres disponibles, soit 138 sinistres sur 11 années. Nous sommes loin des modèles de tarification aux millions de lignes et variables... Ainsi, nous devons prendre en compte de la variance dans notre tarification future.

Enfin, notre modèle d'inflation ne permet pas de prévoir le futur, nous nous basons uniquement sur le passé, et utilisons l'hypothèse forte que le passé représente le futur.

2.2.2 Analyse probabiliste.

Après avoir déterminé le profil de risque du groupe en utilisant des statistiques descriptives, nous avons utilisé des modèles probabilistes. Ces derniers nous ont permis d'estimer la charge de sinistralité des années futures. Nous avons étudié un modèle de sinistralité et un modèle de fréquence pour chacune des branches. Nous avons ensuite agrégé ces modèles pour modéliser 20000 années de sinistralité, en nous appuyant sur la méthode de Monte-Carlo.

Rappels des lois usuelles de sinistralité en réassurance.

Rappelons tout d'abord les lois usuelles de modélisation de la sinistralité en réassurance.

La loi lognormale

La loi lognormale est souvent utilisée pour modéliser les sinistres sous franchise et les sinistres attritionnels.

Soit X la variable de la charge des sinistres. Elle suit une loi lognormale de paramètres $\mu \in \mathbb{R}$ et $\sigma > 0$ si $\ln(X)$ suit une loi normale. Sa densité $f(x)$ pour $x > 0$ est donnée par l'expression :

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln(x) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

L'espérance et la variance de la loi lognormale sont donnés par :

$$E(X) = \exp(\mu + \sigma^2/2)$$

$$\text{Var}(X) = (e^{\sigma^2} - 1) e^{2\mu + \sigma^2}$$

La loi Gamma

La variable X suit une loi Gamma de paramètres $\alpha > 0$ et $\beta > 0$, si sa densité est de la forme :

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1} \exp(-x/\beta)}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} \mathbb{I}_{\mathbb{R}^+}(x)$$

où Γ est la fonction Gamma d'Euler.

L'espérance et la variance de la loi Gamma sont donnés par :

$$\begin{aligned} E(X) &= \alpha\beta \\ \text{Var}(X) &= \alpha\beta^2 \end{aligned}$$

La loi de Weibull

La variable X suit une loi de Weibull de paramètres $\alpha > 0$ et $\beta > 0$ si sa densité est de la forme :

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha} \mathbb{I}_{\mathbb{R}^+}(x)$$

et sa fonction de répartition :

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right]$$

L'espérance et la variance de la loi de Weibull sont donnés par :

$$\begin{aligned} E(X) &= \beta * \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \\ \text{Var}(X) &= \beta^2 * \Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - (\beta * \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right))^2 \end{aligned}$$

La loi de Pareto

La variable X suit une loi de Pareto de paramètres $\theta > 0$ et $a > 0$ si sa densité est de la forme :

$$f(x) = \frac{\theta a^\theta}{x^{\theta+1}} \mathbb{I}_{[a, +\infty[}(x)$$

et sa fonction de répartition :

$$\forall x > 0, F(x) = 1 - \left(\frac{a}{x}\right)^\theta$$

L'espérance et la variance de la loi de Pareto sont donnés par :

$$\begin{aligned} \forall \theta > 1, E(X) &= \frac{a\theta}{\theta - 1} \\ \forall \theta > 2, \text{Var}(X) &= \frac{\theta a^2}{(\theta - 2)(\theta - 1)^2} \end{aligned}$$

La loi de Pareto généralisée (ou GPD)

La variable X suit une loi de Pareto Généralisée de paramètres ξ et $\sigma > 0$ si sa fonction de répartition est de la forme :

$$\forall z \geq 0, G_{\xi, \sigma}(z) = \begin{cases} 1 - \left(1 + \frac{\xi z}{\sigma}\right)^{-1/\xi} & , \xi \neq 0, \text{ et } \left(1 + \frac{\xi z}{\sigma}\right) \geq 0 \\ 1 - \exp(-z/\sigma) & , \xi = 0 \end{cases}$$

L'espérance de la loi de Pareto généralisée est finie si et seulement si $\xi < 1$. On remarque que dans le cas $\xi = 0$, nous retrouvons une loi exponentielle. De plus, la loi GPD peut être généralisée à trois paramètres ξ, σ et μ , en remplaçant z par $(x - \mu)$.

Présentation du modèle de sinistralité utilisé.

Notre modèle de sinistralité se base sur un modèle à deux lois repris à partir des enseignements de M. Aillot sur la Théorie des valeurs extrêmes [3] et sur le mémoire d'Emilie Deprey et Alexandre Godzinski [14], sur la problématique du seuil dans la modélisation de la sinistralité en réassurance non-vie.

Nous séparons nos modèles de sinistralités en deux lois : Une loi pour les sinistres attritionnels, et une loi pour les sinistres catastrophes. Un des problèmes majeurs, auxquels ont répondu E. Deprey et A. Godzinski, est la détermination du seuil de séparation de ces deux lois.

Nous avons, pour mener à bien notre travail, utilisé la méthode de dépassement des seuils (en anglais *Peak Over Threshold* POT), puisque nous ne disposons pas d'un jeu de données suffisamment important pour réaliser une méthode des maximums par blocs, nécessitant au minimum trente années d'observations.

La loi de Pareto Généralisée, est la loi naturelle pour simuler les dépassements d'un seuil. Cette méthode se décompose en deux étapes :

- Etape 1 : Choix d'un seuil u suffisamment élevé pour que l'approximation suivante soit justifiée :

$$(X - u)|(X \geq 0) \sim \text{GPD}(\xi, \sigma)$$

- Etape 2 : Estimation des paramètres de la loi GPD

Etape 1 : Détermination du seuil u .

Nous devons déterminer le seuil u séparant les sinistres attritionnels des sinistres catastrophes. Pour cela, deux hypothèses sont à valider :

- u doit être assez grand pour avoir l'approximation suivante :

$$L((X - u)|(X \geq 0)) = \text{GPD}(\xi, \sigma)$$

- u doit être calibré pour garder au moins 20 valeurs à droite.

Nous ne disposons que des méthodes graphiques pour établir le seuil :

- L'utilisation de l'estimateur de Hill en fonction du seuil et du nombre d'excès sur les données simulées, par la fonction R "Hillplot".
- L'utilisation de la fonction *Mean Over Excess*. Le seuil u est choisi quand la courbe devient linéaire, par la fonction R "mplot"

Une fois ce seuil déterminé, nous avons dû ajuster notre loi, et tester nos résultats statistiquement.

Etape 2 : Estimation des paramètres de la loi GPD.

Pour cette estimation, nous utiliserons la méthode du maximum de vraisemblance. Soit x_1, \dots, x_n , $n \in \mathbb{N}$ notre échantillon de données.

Supposons que cet échantillon soit indépendant et identiquement distribué selon la fonction de densité f .

Alors, la vraisemblance de θ est :

$$L(x_1, \dots, x_n; \theta) = f(x_1; \theta) \times \dots \times f(x_n; \theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta)$$

Désormais, nous devons l'optimiser. Pour cela, nous passons par la dérivée de $L(x_1, \dots, x_n; \theta)$

Cependant, nous possédons une censure à gauche pour ce modèle, puisque nous ne connaissons pas les valeurs inférieures au seuil u . Ainsi, nous obtenons une vraisemblance "normalisée" par notre censure :

$$L(x_1, \dots, x_n; \theta) = \prod_{i=1}^n \frac{f(x_i; \theta)}{F(n) - F(u)}$$

Avec F la fonction de répartition de X .

Nous pouvons déduire que la log-vraisemblance s'écrit :

$$\ln L = \sum_{i=1}^n \ln [f(x_i; \theta)] - n \ln [F(n) - F(u)]$$

Une fois les estimations des paramètres calculés, nous appliquerons plusieurs tests statistiques pour évaluer leur bonne adéquation.

Tests statistiques

Pour ensuite valider les hypothèses, nous utiliserons deux tests statistiques, utilisés pour les lois continues :

- Le test de Kolmogorov-Smirnov
- Le test d'Anderson-Darling

Le test de Kolmogorov-Smirnov

En statistique, le test de Kolmogorov-Smirnov est un test non paramétrique d'égalité de distributions de probabilité continues qui est utilisé pour comparer un échantillon à une distribution de probabilité de référence dans notre cas. Le test répond à la question "Quelle est la probabilité que cet ensemble d'échantillons ait pu être tiré de cette distribution de probabilité?".

Les hypothèses du test sont les suivantes :

- H_0 : L'échantillon X_1, \dots, X_n suit la loi représentée par F_n
- H_1 : L'échantillon X_1, \dots, X_n ne suit pas la loi représentée par F_n

Mathématiquement, le test de Kolmogorov-Smirnov compare la fonction de répartition empirique de l'échantillon à une fonction de répartition connue. Pour cela, nous avons :

Soit X_1, \dots, X_n , n variables indépendantes et identiquement identifiées, définies sur un espace de probabilité $(\Omega, \mathbb{A}, \mathbb{P})$, à valeurs dans \mathbb{R} . La fonction de répartition empirique F_n de l'échantillon X_1, \dots, X_n est définie telle que :

$$\forall x \in \mathbb{R}, \forall \omega \in \Omega, F_n(x, \omega) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathbf{1}_{X_i(\omega) \leq x}$$

Ensuite, nous avons calculé la distance maximale entre la fonction de répartition empirique (F_n) et la fonction de répartition de référence (F_0) :

$$K_n = \sup_x |F_n(x) - F_0(x)|.$$

Puis, nous testons au seuil α associé à cette statistique, selon la table de Kolmogorov-Smirnov. Ainsi, nous avons obtenu :

Soit c_α , le quantile $(1 - \alpha)$ de cette table ;

Alors, la région de refus de ce test est :

$$\{D_n \geq c_\alpha\}$$

Le test d'Anderson Darling

Ce test est une modification du test de Kolmogorov-Smirnov, accordant plus d'importance à la queue de la distribution et aux valeurs extrêmes. Ce test est plus sensible à toute l'étendue des données que le premier test. Il calcule également la distance entre les valeurs d'un échantillon de valeurs et une fonction de distribution d'une loi prédéfinie.

Nous avons calculé la distance suivante :

$$A_n^2 = -n - \frac{2i-1}{n} \sum_{i=1}^n [\ln(F_0(X_i)) + \ln(1-F(X_i))].$$

Puis, nous avons testé au seuil α associé à cette statistique, selon la table d'Anderson-Darling. Ainsi, nous obtenons :

Soit c_α , le quantile $(1-\alpha)$ de cette table ; alors, la région de refus de ce test est :

$$\{A_n^2 \geq c_\alpha\}$$

Nous avons obtenu un modèle de sinistralité prenant en compte les sinistres attritionnels et catastrophes, pour chacune des lignes assurantielles. Désormais, nous devons présenter le modèle de fréquence que nous allons appliquer pour obtenir une modélisation globale.

Présentation du modèle de fréquence.

Cette partie présente les différents modèles de fréquence utilisés en réassurance pour évaluer le nombre de sinistres annuels.

Ces modèles, combinés aux modèles de sinistralité de chacune de nos lignes d'assurances, nous permettront de réaliser un modèle général qui décrira la sinistralité annuelle pour le groupe ABC.

Nous allons présenter les deux modèles les plus utilisés pour évaluer la fréquence des sinistres sont la loi de Poisson et la loi négative binomiale :

La loi de Poisson

Soit Y_{lob} une variable aléatoire, représentant le nombre de sinistres annuel pour le groupe ABC, selon sa ligne d'assurance (LoB) ;

Soit $k \in \mathbb{N}$ le nombre de sinistres ; Soit $\lambda \in \mathbb{R}_+^*$;

Alors, la probabilité pour que la variable aléatoire Y_{lob} prenne la valeur k est de :

$$P(Y = k) = \frac{e^{-\lambda}}{k!} \lambda^k$$

L'espérance et la variance d'une loi de Poisson sont égales :

$$E(Y) = \text{Var}(Y) = \lambda$$

Cependant, cette hypothèse d'équidispersion ne convient pas à tous les modèles. En effet, la présence d'année avec une sinistralité très faible et proche de 0 et d'année de sinistralité très fréquente, nous pouvons considérer que la variance est plus importante que la moyenne. Ainsi, le modèle de Poisson, dans un cas de variance plus importante que la moyenne, sous pondère la fréquence des sinistres. Les fluctuations seront moins importantes et moins représentatives de la réalité.

Nous pouvons utiliser un autre modèle, dans le cas où la dispersion des sinistres est importante : Le modèle négatif binomial.

La loi négative binomiale

Soit Y_{lob} une variable aléatoire, représentant le nombre de sinistres annuel pour le groupe ABC, selon sa ligne d'assurance ;

Soit $k \in \mathbb{N}$ le nombre de sinistres ;

Alors, la probabilité pour que la variable aléatoire Y_{lob} prenne la valeur k pour une loi binomiale négative est de :

$$P(Y = k) = \frac{\Gamma(k + v)}{\Gamma(k + 1) * \Gamma(v)} * \left(\frac{v}{v + \lambda}\right)^v \left(\frac{\lambda}{v + \lambda}\right)^k$$

Avec $\nu = 1/\alpha$, $\alpha \in \mathbb{R}^*$ En posant $v = 1/\alpha$, l'espérance et la variance s'expriment ainsi :

$$\begin{aligned} E(Y) &= \lambda \\ \text{Var}(Y) &= \lambda(1 + \alpha\lambda) \end{aligned}$$

Nous remarquons que l'espérance et la variance sont différentes. Plusieurs cas se distinguent :

- Le cas $\alpha = 0$ revient à un modèle de poisson classique, avec $E(Y) = \text{Var}(Y)$
- Le cas $\alpha > 0$, dans lequel nous avons $E(Y) < \text{Var}(Y)$, pondérera mieux la variance et l'impact de la variance de la fréquence des sinistres.
- Le cas $\alpha < 0$ auquel cas la variance joue un rôle moins important dans le modèle.

Ce modèle permet de prendre en compte la dispersion des fréquences, puisque la variance est différente de l'espérance ,d'un coefficient α . Pour étudier la valeur de α , et la dispersion des données, nous utilisons le ratio suivant :

Soit $V = \text{Var}(Y_0)$, la variance du nombre de sinistres historiques avec Y_0 la distribution historique des sinistres pour le groupe ABC ;

Soit $\bar{m} = E(Y_0)$ la moyenne annuelle des sinistres historiques ;

Alors :

$$\alpha = \frac{V}{\bar{m}}$$

Ensuite, nous avons comparé le coefficient par rapport à 1 et nous avons établi ces résultats :

- Si $\alpha > 1$, alors la variance est plus importante que la moyenne, et nous avons dû la surpondérer. Nous avons utilisé un modèle négatif binomial pour pallier ce phénomène ;
- Si $\alpha \leq 1$, alors la variance est moins importante que la moyenne, il y a moins de dispersion dans la fréquence des sinistres. Nous avons utilisé un modèle de Poisson pour déterminer la fréquence.

Puis, nous avons dû déterminer les paramètres des modèles de fréquences. Ne disposant pas de variables explicatives dans nos modèles, nous nous sommes basés sur la fréquence moyenne déterminée dans le *As-If* pour évaluer la moyenne des sinistres annuels.

Ainsi, nous avons déterminé les modèles de fréquences. Intéressons-nous désormais à l'agrégation des modèles en vue de la tarification.

Agrégation des modèles.

Nous avons dû agréger les modèles de sinistralité et de fréquence, pour simuler et étudier des années types de sinistralité. Pour cela, nous avons encore une fois procédé par étapes, pour simuler n années de sinistralité.

- Étape 1 : Tirage du nombre k_j de sinistres pour chacune des années j avec la loi de fréquence ;
- Étape 2 : Tirage du nombre de sinistres S_i pour chaque année j avec la loi de sinistralité ;
- Étape 3 : Somme de la sinistralité pour chaque année.

Ainsi, nous aurons n années de sinistralité A_j simulées, tel que :

$$A_j = \sum_{i=1}^{k_j} S_i$$

Nous avons réalisé ces étapes pour chacun des segments d'assurance RC et DDPE. Nous avons, dans un second temps, analysé les résultats de cette méthode de Monte Carlo

dérivée pour déterminer la prime de chacune des branches d'assurances. Pour cela, nous avons utilisé les formules suivantes :

Pour cela, nous utiliserons les formules suivantes :

Pour l'évaluation de l'espérance, nous avons utilisé cet estimateur \hat{A} :

$$\hat{A}(A_1, \dots, A_n) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n A_j$$

Cet estimateur est sans biais :

$$E(\hat{A}(A_1, \dots, A_n)) = E\left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n A_j\right)$$

$$E(\hat{A}(A_1, \dots, A_n)) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n E(A_j)$$

Les A_j sont indépendant et identiquement distribué (iid) donc :

$$E(\hat{A}(A_1, \dots, A_n)) = E(A)$$

Et notre estimateur d'espérance de Monte-Carlo est sans biais.

Pour l'évaluation de la variance, comme notre échantillon est iid, nous avons utilisé la variance empirique sans biais :

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (A_j - \hat{A})^2$$

À partir de ces estimations, nous avons calculé la prime pour chacun des segments d'assurances.

Calcul de la prime d'assurance

Nous avons utilisé les estimateurs de l'espérance et de l'écart-type pour calculer la prime d'assurance, ainsi qu'un coefficient γ pour moduler l'impact de l'écart-type sur la tarification. Ce coefficient, compris entre $[0,25;0,75]$, a été choisi selon le profil de risque du groupe et du segment d'assurance. Ainsi, notre prime d'assurance pure P est estimée à :

$$P = E(A_{lob}) + \gamma * s$$

Avec A_{lob} une variable aléatoire représentant la sinistralité annuelle pour un segment d'assurance, et s l'écart type de la distribution de sinistralité annuelle.

2.2.3 Application des modèles pour le groupe ABC

Après avoir présenté le modèle de tarification dans la partie précédente, nous présenterons son application au cas pratique du groupe ABC. Nous commencerons par les modèles liés à la branche DDPE, puis la branche RC avant de simuler n années communes des deux branches, afin d'obtenir une simulation complète des risques auxquels la captive s'expose.

Modèles pour la branche DDPE.

Le modèle de sinistralité.

Tests des lois classiques

Pour le programme DDPE, nous avons effectué les tests avec et sans prise en compte du sinistre extrême de 2011. Ainsi, nous avons pu évaluer si un modèle correspond aux deux bases de données. Nous appelons option A le jeu de données sans le sinistre majeur, et option B le jeu de données prenant en compte ce sinistre majeur.

Nous avons testé la modélisation à une loi, en utilisant les lois présentées précédemment dans la partie 2.2.1.

Nous avons calculé les paramètres de chacune des lois par la méthode du maximum de vraisemblance, et nous avons testé à l'aide du test de Kolmogorov-Smirnov et Anderson Darling.

Les résultats figurant dans les tableaux ci-dessous :

Tests d'adéquations Segment DDPE	Test de Kolmogorov-Smirnov Option A	Test d'Anderson-Darling Option A
Loi Lognormale	Acceptée	Acceptée
Loi Gamma	Refusée	Refusée
Loi de Weibull	Refusée	Acceptée
Loi de Pareto	Refusée	Refusée
Loi de Pareto Généralisée	Refusée	Refusée

Nous avons constaté, pour l'option A, que la loi lognormale, de paramètres (mean = 10,015 ; sd = 2,618) est acceptée pour la distribution. Nous avons étudié ensuite les graphes pour valider cette hypothèse, et différentes métriques. Les résultats pour l'option B, n'incluant pas le sinistre majeur ont été déterminés et sont regroupés dans le tableau ci-dessous

Tests d'adéquations Segment DDPE	Test de Kolmogorov-Smirnov Option B	Test d'Anderson-Darling Option B
Loi Lognormale	Acceptée	Acceptée
Loi Gamma	Refusée	Refusée
Loi de Weibull	Acceptée	Acceptée
Loi de Pareto	Refusée	Refusée
Loi de Pareto Généralisée	Refusée	Refusée

FIGURE 2.13 – Tableau des tests d'adéquations pour le segment DDPE.

Nous remarquons que l'impact sur les modélisations de ce sinistre est faible. Cependant, la loi de Weibull est ici acceptée également à 95%, et une p-valeur à 0,06. Les tests pour la loi Lognormale en rendait une à 0,2 pour le test de Kolmogorov-Smirnov, et 0,5817 pour le test d'Anderson Darling.

La figure 2.14 est une représentation graphique comparative permettant d'évaluer la distribution du risque DDPE et celle d'une loi lognormale de paramètres ($\mu = 10,015550$; $\sigma = 2,618306$).

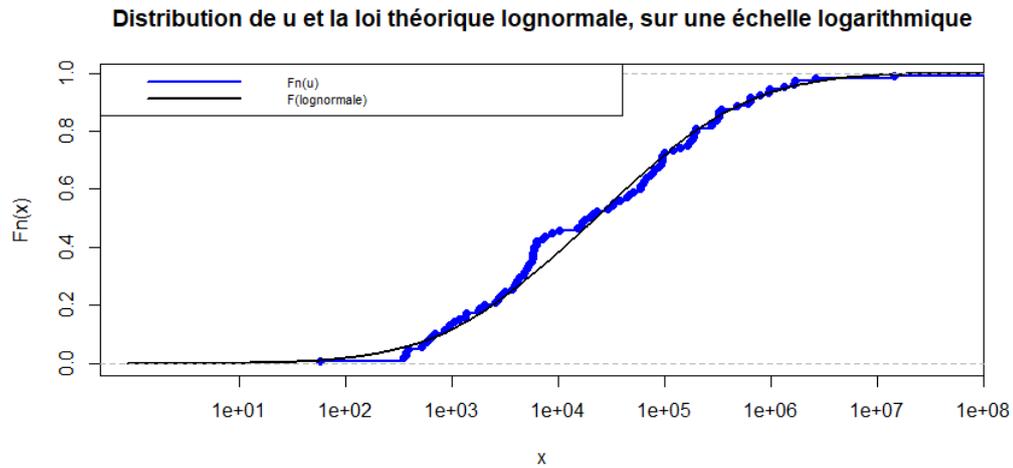


FIGURE 2.14 – Comparaison des distributions DDPE et lognormale

Nous avons constaté que la distribution lognormale correspond particulièrement bien à la sévérité des sinistres du segment DDPE.

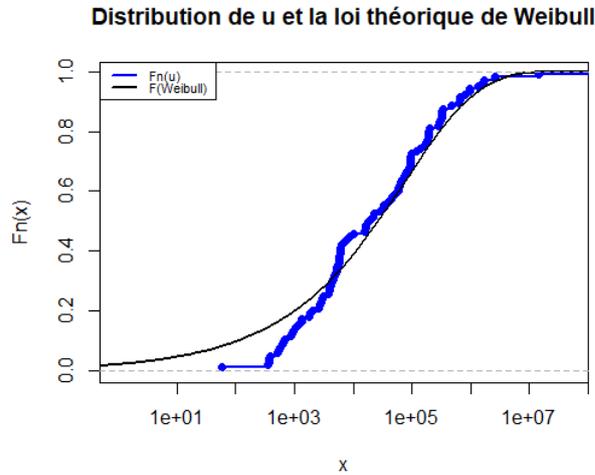


FIGURE 2.15 – Comparaison des distributions DDPE et de Weibull

Nous avons pu mettre en évidence sur le graphique 2.15 la non-adéquation entre les distributions de Weibull et de sinistralité.

Nous avons par ailleurs testé avec la théorie que nous avons exposée précédemment (théorie des valeurs extrêmes) et tenté d'adapter une loi pour les sinistres attritionnels et les sinistres catastrophes.

Détermination du seuil u

Nos deux hypothèses fondamentales qui ont été exposées dans le paragraphe précédent sont les suivantes :

- u doit être assez grand pour avoir l'approximation suivante :

$$L((X - u)|(X \geq 0)) = \text{GPD}(\xi, \sigma)$$

- u doit être calibré pour garder au moins 20 valeurs à droite.

Nous n'avons pas pu valider la seconde hypothèse. En effet, nous pouvons l'observer sur la figure 2.9, le groupe ABC a connu deux sinistres importants, l'un en 2011, et l'autre en 2013. Les autres sinistres sont largement inférieurs et se rapprochent de la moyenne en termes de sinistralité. Ainsi, avec uniquement deux sinistres au-dessus de la moyenne, nous n'avons pas pu utiliser la théorie des valeurs extrêmes pour le segment DDPE.

Ainsi, nous avons pu définir la loi de sinistralité pour la branche DDPE du groupe ABC. Il s'agit d'une loi Lognormale de paramètres ($\mu = 10,015550$; $\sigma = 2,618306$). Définissons désormais la loi de fréquence des sinistres.

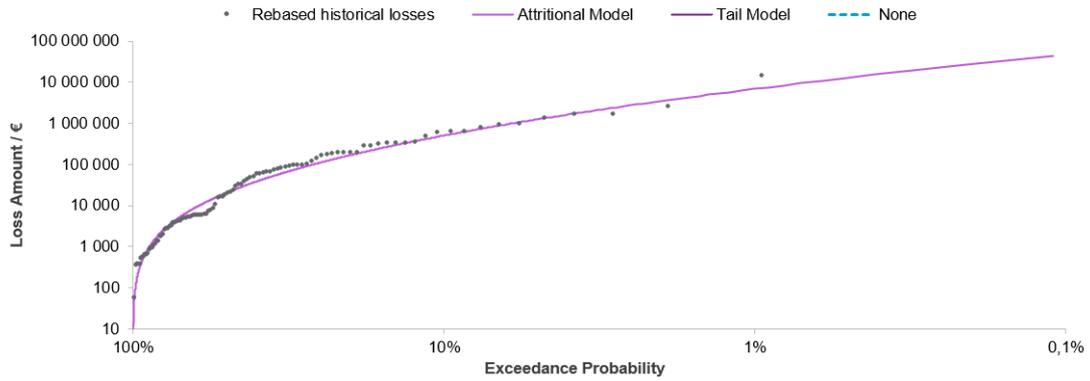


FIGURE 2.16 – Comparaison des coûts DDPE et de la loi choisie.

Modèle de fréquence

Pour cela, nous nous basons sur les résultats de fréquences du burning cost, présenté en 2.9, avec une moyenne de 9,76 sinistres annuels. La variance estimée par maximum de vraisemblance est de 21,57. Ainsi, nous obtenons :

$$\alpha_{DDPE} = V/\bar{m} = 2,21$$

Ainsi, comme $\alpha > 1$, nous avons choisi une loi négative binomiale pour évaluer la fréquence de sinistralité, avec pour paramètres $\lambda = 9,76$ et $\alpha = 2,21$.

Modélisations des scénarios pour la branche DDPE.

Après simulation et application de la méthode présentée en 2.2.4 - Agrégation des modèles, nous avons obtenu les résultats suivants pour 20000 années. Ce tableau représente l'intégralité des données, sans programme assurantiel.

Percentile	Perte Totale	Nombres de sinistres
25,0%	0,51	6,00
50,0%	1,39	9,00
75,0%	3,58	13,00
80,0%	4,51	13,00
90,0%	8,72	16,00
95,0%	15,83	18,00
98,0%	30,77	21,00
99,0%	48,16	23,00
99,5%	78,00	25,00
99,8%	209,83	27,00
99,9%	232,04	29,00
Moyenne	4,48	9,75
Ecart Type	15,33	4,64

FIGURE 2.17 – Quantiles, moyenne et écart type des simulations de la sinistralité liée à la branche DDPE

Percentile	Perte Totale	Nombres de sinistres
25,0%	1,22	8
50,0%	1,82	11
75,0%	2,25	12
80,0%	2,55	13
90,0%	5,39	15
95,0%	12,82	15
98,0%	17,27	15
99,0%	18,76	16
99,5%	19,50	16
99,8%	19,95	16
99,9%	20,10	16
Moyenne	3,56	10

FIGURE 2.18 – Quantiles et moyenne de la méthode *As-If* pour la branche DDPE

Nous avons obtenu qu'en moyenne, la sinistralité annuelle est de 4,48 M€ pour la branche DDPE. En moyenne, une fois tous les dix ans il existe une y a une sinistralité annuelle supérieure à 8,72 M€ . Les modélisations sont cohérentes avec des sinistres catastrophes de période de retour 50 ans à 200 ans, non représenté dans l'étude *As-If*. Évaluons désormais le prix de chacune des options. Rappelons les pour la branche DDPE :

Options de rétention Segment DDPE	Option 1	Option 2
Montant par sinistre	2,5 M€	5 M€
Montant de l' <i>aggregate</i>	4 M€	10 M€
En excès de	0,5 M€	0,5 M€

FIGURE 2.19 – Tableau récapitulatif des options pour le segment DDPE.

Nous avons considéré $\gamma = 0,75$ pour les deux options. En effet, nous avons constaté qu'il y a un risque de catastrophe important pour ce risque.

Après découpage des années de sinistralité modélisées, nous avons obtenu les résultats suivants rapportés dans les figures 2.20 et 2.21 :

Percentile	Part Captivée	Excès de la captive
25,0%	0,00	0,00
50,0%	0,30	0,00
75,0%	2,10	0,00
80,0%	2,50	0,03
90,0%	2,97	4,10
95,0%	4,00	10,92
98,0%	4,00	26,08
99,0%	4,00	41,94
99,5%	4,00	73,88
99,8%	4,00	203,54
99,9%	4,00	226,01
Moyenne	1,02	2,46
Ecart Type	1,29	14,70
Prime	1,98	

FIGURE 2.20 – Quantiles de rétention et prime pour l’option 1 - DDPE

Percentile	Part Captivée	Excès de la captive
25,0%	0,00	0,00
50,0%	0,30	0,00
75,0%	2,10	0,00
80,0%	2,94	0,00
90,0%	5,00	1,09
95,0%	6,01	7,49
98,0%	8,83	23,05
99,0%	10,00	39,44
99,5%	10,00	71,38
99,8%	10,00	197,54
99,9%	10,00	220,01
Moyenne	1,49	1,99
Ecart Type	2,27	14,23
Prime	3,19	

FIGURE 2.21 – Quantiles de rétention et prime pour l’option 2 - DDPE

Primes Segment DDPE	Option 1	Option 2
Prime Captive	1,98 M€	3,19 M€

FIGURE 2.22 – Tableau des primes captives selon les options.

Modèles pour la branche RC.**Le modèle de sinistralité****Tests des lois classiques.**

Nous avons étudié les lois classiques avant d'étudier la méthode à deux lois.

Nous avons calculé les paramètres de chacune de ces lois par la méthode du maximum de vraisemblance, et avons testé leurs adéquations statistiques avec les tests de Kolmogorov-Smirnov et d'Anderson-Darling.

Pour la RC, nous ne changeons pas les données de base.

Tests d'adéquations Segment RC	Test de Kolmogorov-Smirnov	Test d'Anderson-Darling
Loi Lognormale	Refusée	Refusée
Loi Gamma	Refusée	Refusée
Loi de Weibull	Refusée	Refusée
Loi de Pareto	Refusée	Refusée
Loi de Pareto Généralisée	Refusée	Refusée

FIGURE 2.23 – Tableau des tests d'adéquations à une loi pour le segment RC.

Aucune des hypothèses n'est acceptée, donc nous n'avons pas pu déduire une unique loi pour exprimer la sinistralité de la branche RC. Nous avons donc appliqué la méthode évoquée précédemment, de mélange des lois.

Tests des lois mixtes.**Détermination du seuil.**

Comme nous l'avons déjà énoncé, nous avons utilisé deux graphiques pour déterminer le seuil de séparation de la loi des sinistres attritionnels de celle des sinistres catastrophes.

La figure 2.25 reprend le graphe de *Mean Residual Life*. Nous l'avons vu précédemment, si la loi de Pareto est une loi appropriée pour les excès $X - u$ supérieur à u , alors la courbe devient linéaire.

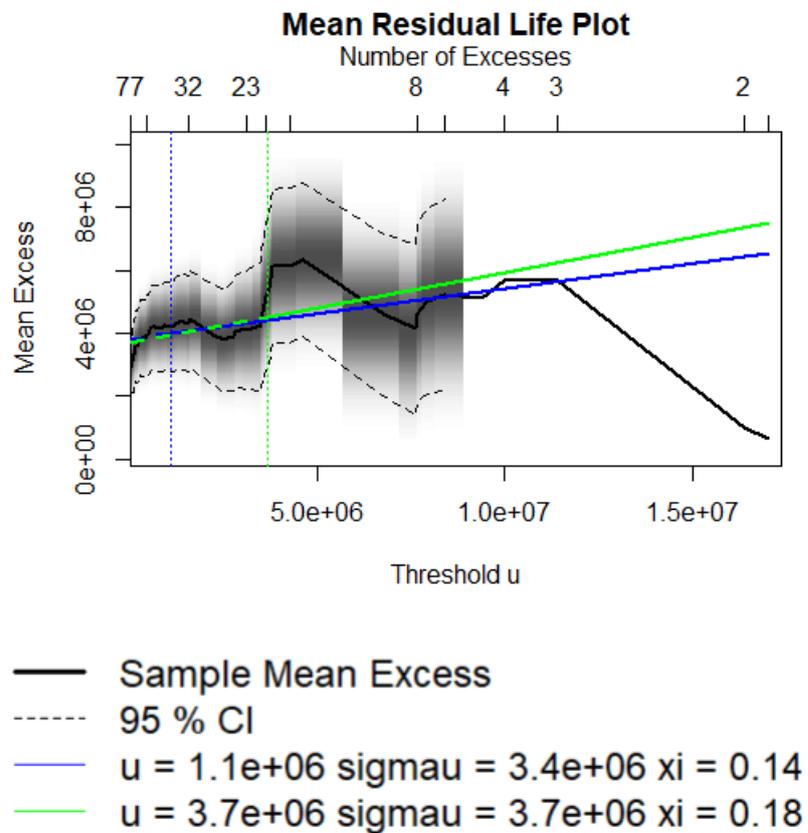


FIGURE 2.24 – *Mean Residual Life Plot* pour la sinistralité RC

Sur ce graphique, deux courbes, l'une est calibrée sur un seuil à 1,1 M€ et l'autre à 3,7 M€ . Nous n'avons pas pu justifier d'une linéarité parfaite puisqu'il n'y a pas de sinistres de sinistralité extrême comme sur la branche DDPE. Ainsi, à partir de 10 M€ , il n'y a plus de valeurs supérieures et donc plus de linéarité.

Cependant, le seuil $u = 1100000\text{€}$ nous est apparu plus pertinent, il contient en effet plus de données pour le modèle et visuellement se rapproche plus de la linéarité du graphe.

Afin de développer notre analyse, nous avons utilisé l'estimateur de Hill.

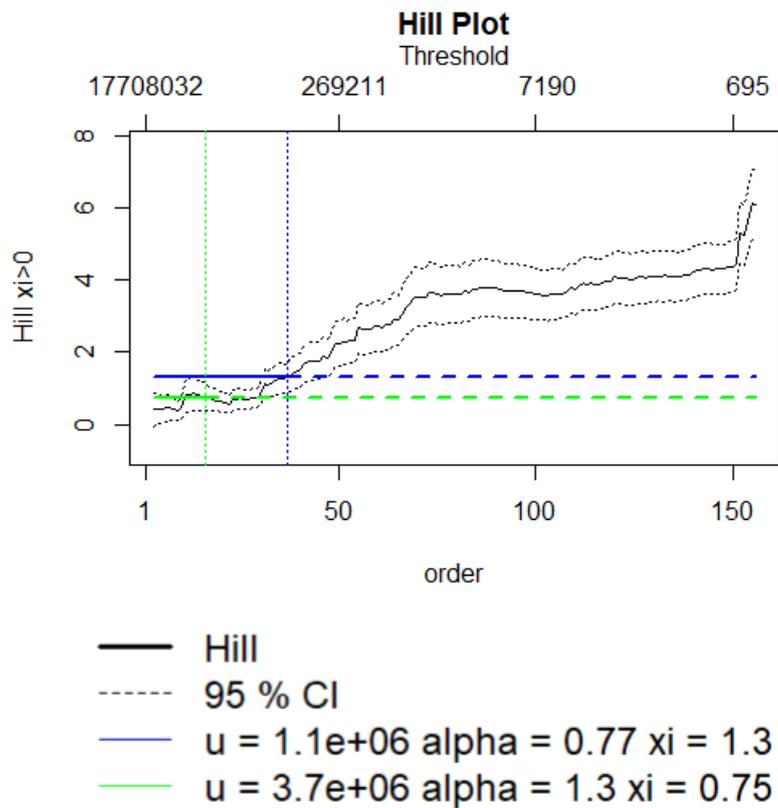


FIGURE 2.25 – Estimateur de Hill

Nous n'avons pas remarqué de stabilité à partir d'un seuil pertinent, il existe une augmentation linéaire après une courte période de stabilité pour le seuil u évalué à 1,1 M€. Le manque de données impacte profondément ce modèle. Néanmoins, nous avons appliqué la méthode de mélange des lois et effectué nos tests afin de compléter cette analyse.

Nous prendrons comme seuil $u = 1100000\text{€}$.

Détermination des paramètres des lois.

Nous avons testé trois lois différentes pour les sinistres attritionnels puis calibré la loi généralisée de Pareto pour les sinistres catastrophe.

Nous avons calibré les paramètres par la méthode du maximum de vraisemblance, avec un seuil u estimé à 1100000€ puis avons réalisé les tests de Kolmogorov-Smirnov et Anderson-Darling.

Paramètres des lois Segment RC	Paramètre estimé 1	Paramètre estimé 2
Loi Lognormale	$\mu = 10,638$	$sd = 4,620$
Loi Gamma	$shape = 0,209$	$scale = 6261236$
Loi de Weibull	$shape = 0,314$	$scale = 192692$
Loi de Pareto Généralisée	$\sigma_u = 3689083$	$\xi = 0,182$

FIGURE 2.26 – Tableau des paramètres estimés selon les différentes lois pour la branche RC.

Nous avons obtenu les courbes de distribution suivantes rappelées dans les figures 2.27 et 2.28 :

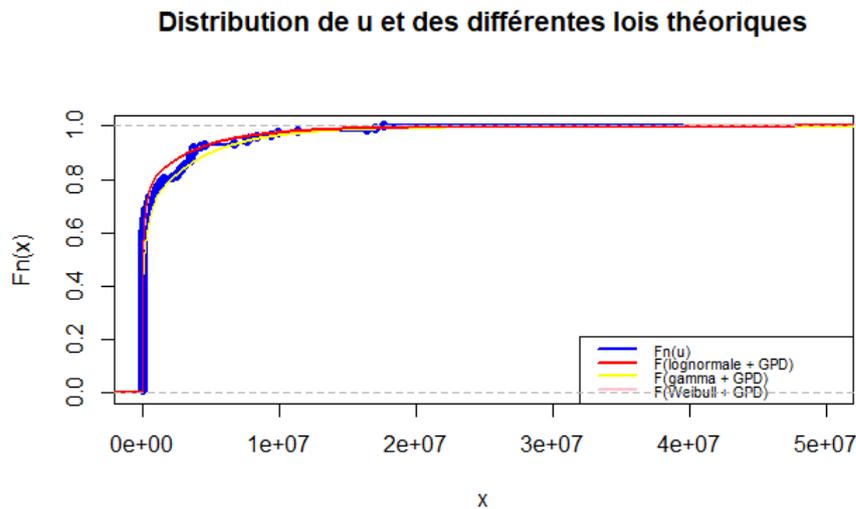


FIGURE 2.27 – Comparaison des distributions RC et les lois usuelles

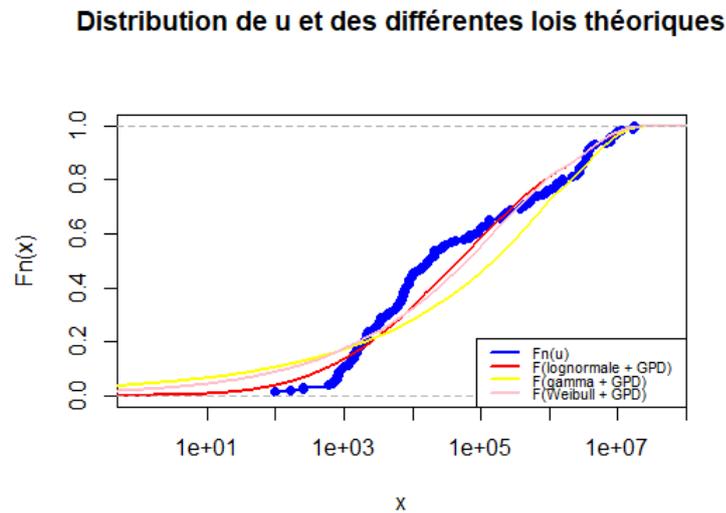


FIGURE 2.28 – Comparaison des distributions RC et les lois usuelles avec une échelle logarithmique.

La mise en application des tests de Kolmogorov-Smirnov et d'Anderson-Darling pour ces lois a permis de retrouver les résultats regroupés dans le tableau 2.29.

Tests d'adéquations Segment RC	Test de Kolmogorov-Smirnov	Test d'Anderson-Darling
Loi Lognormale - GPD	Refusée	Accepté ($An^2 = 2,9$)
Loi Gamma - GPD	Refusée	Refusée
Loi de Weibull - GPD	Refusée	Refusée

FIGURE 2.29 – Tableau des tests d'adéquations pour le segment RC.

Ainsi, le test d'Anderson-Darling, en s'appuyant sur les tables publiées par M. Idrees Ahmad [2], nous a permis de valider le test avec une p-value $p \in [0,025; 0,05]$, puisque nous n'avons que peu de données, les graphes nous autorisant une deuxième validation. Le tracé QQ-Plot est représenté en figure 2.30.

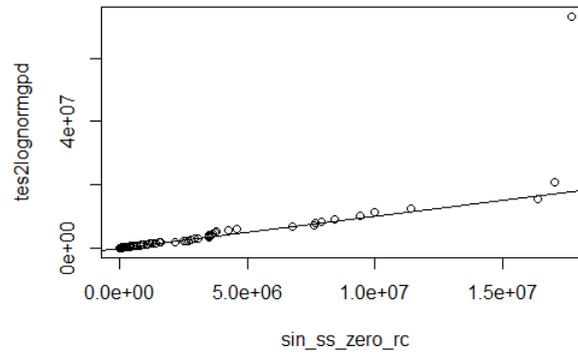


FIGURE 2.30 – *QQ-plot* entre la distribution des sinistres et la loi lognormale couplé à la loi GPD.

Nous n’avons pas observé une correspondance parfaite, il existe une déviance avec le dernier sinistre. Cependant, le reste de la loi correspond bien à la distribution des sinistres.

Finalement, nous avons pu observer la loi de sinistralité suivante, en fonction de la valeur des sinistres et des probabilités de dépassement :

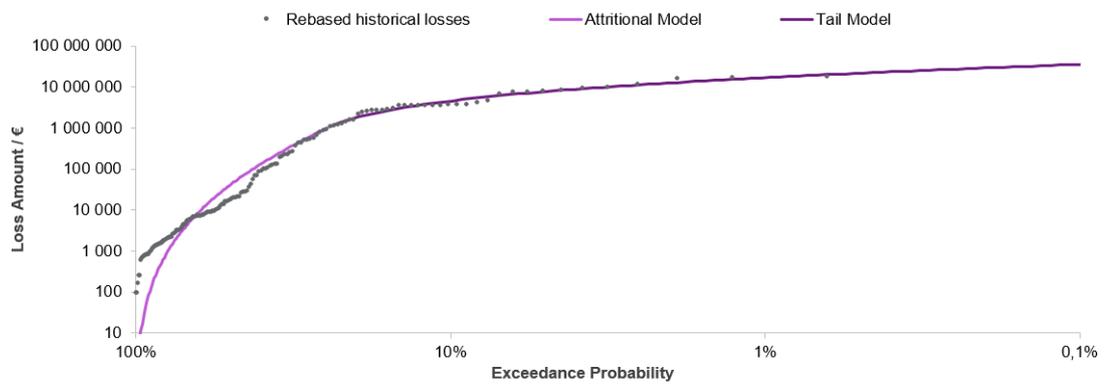


FIGURE 2.31 – Comparaison des coûts RC et de la loi choisie.

Modèle de fréquence pour la branche RC

Nous avons procédé au choix de la loi de fréquence. Nous nous sommes basés sur les résultats de l'étude As-If, pour établir le coefficient α . Nous avons obtenu une moyenne du nombre de sinistres annuels évaluée à 17 sinistres par an avec une variance estimée à 25.

Ainsi, nous avons obtenu :

$$\alpha_{RC} = V/\bar{m} = 1,47$$

Ainsi, nous avons choisi une loi binomiale négative, de paramètre $\lambda = 17$ et $\alpha = 1,47$

Les simulations des années de sinistralité pour la branche RC, ainsi que les résultats selon nos deux options ont fait l'objet d'une modélisation.

Modélisations des scénarios pour la branche RC.

Après simulation et application de la méthode présentée en 2.2.4 - Agrégation des modèles - nous avons obtenu les résultats suivants pour 20000 années. Ce tableau représente l'intégralité des données, sans programme assurantiel. Il s'agit du risque que l'entreprise retient si elle n'était pas assurée. Les principaux résultats sont regroupés dans les tableaux 2.32 et 2.36.

Pour une bonne interprétation de ces tableaux, il est important de lire les périodes de retour. Par exemple, la période de retour 10 ans (quantile à 90%) indique que chaque année, le groupe ABC a une probabilité de 10% de subir au moins 24 sinistres pour une perte totale d'au moins 35,65 M€ . Nous retrouvons des quantiles similaires, sauf pour les valeurs extrêmes.

Percentile	Perte Totale	Nombres de sinistres
25,0%	8,15	13,75
50,0%	15,04	17,00
75,0%	24,49	20,00
80,0%	27,21	21,00
90,0%	35,65	24,00
95,0%	43,39	26,00
99,0%	64,17	30,00
99,5%	72,32	31,00
99,9%	95,13	34,00
Moyenne	18,03	16,99
Ecart Type	13,60	4,94

FIGURE 2.32 – Quantiles, moyenne et écart type des simulations de la sinistralité liée à la branche RC

Percentile	Perte Totale	Nombres de sinistres
25,0%	5,79	13
50,0%	15,77	20
75,0%	28,75	22
80,0%	33,27	22
90,0%	45,02	23
95,0%	54,40	23
98,0%	60,03	23
99,0%	61,90	23
99,5%	62,84	23
99,8%	63,41	23
99,9%	63,59	23
Moyenne	21,15	17

FIGURE 2.33 – Quantiles et moyenne de la méthode *As-If* pour la branche RC

Le prix de chacune des options est précisé dans le tableau 2.34 pour la branche RC :

Options de rétention Segment RC	Option 1	Option 2
Montant par sinistre	10 M€	20 M€
Montant de l' <i>aggregate</i>	20 M€	40 M€
En excès de	1 Million d'euros	1 Million d'euros

FIGURE 2.34 – Tableau récapitulatif des options de rétention pour la RC.

Nous avons pris $\gamma = 0,5$ pour les deux options, puisque nous avons souhaité prendre en compte une partie de la variance.

Après découpage des années de sinistralités modélisées, nous avons obtenu les résultats rassemblés dans les tableaux 2.35 et 2.36 :

Percentile	Part Captivée	Excès de la captive
25,0%	4,43	0,00
50,0%	10,00	0,00
75,0%	16,05	1,92
80,0%	17,99	3,92
90,0%	20,00	10,86
95,0%	20,00	17,61
98,0%	20,00	28,82
99,0%	20,00	38,36
99,5%	20,00	47,12
99,8%	20,00	60,66
99,9%	20,00	67,31
Moyenne	10,30	3,09
Ecart Type	6,65	7,63
Prime	13,62	

FIGURE 2.35 – Quantiles de rétention et prime pour l'option 1 - RC

Percentile	Part Captivée	Excès de la captive
25,0%	4,43	0,00
50,0%	10,52	0,00
75,0%	18,67	0,00
80,0%	20,99	0,00
90,0%	27,52	0,00
95,0%	33,90	3,17
98,0%	40,00	12,58
99,0%	40,00	20,97
99,5%	40,00	29,18
99,8%	40,00	44,98
99,9%	40,00	49,09
Moyenne	12,65	0,74
Ecart Type	10,21	4,05
Prime	17,76	

FIGURE 2.36 – Quantiles de rétention et prime pour l'option 2 - RC

Primes Segment RC	Option 1	Option 2
Prime Captive	13,62 M€	17,76 M€

FIGURE 2.37 – Tableau des primes selon les options.

Nous avons pu noter que la capacité est utilisée intégralement tous les dix ans pour l'option 1 en RC, et tous les 50 ans en moyenne pour l'option 2.

Chapitre 3

Application de Solvabilité II et étude des différentes domiciliations européennes.

La captive du groupe ABC, de réassurance non-vie, est soumise aux directives Solvabilité II. Les calculs du SCR et des capitaux propres sont simplifiés par sa taille. En effet, moins de risques sont pris en compte.

En outre, les captives en France peuvent profiter d'un avantage important, qui influence le calcul du SCR : Le *cash-pooling*. Il s'agit d'une technique de gestion de trésorerie centralisée, souvent au travers d'une *holding*. Cela permet aux entreprises d'optimiser au mieux la trésorerie des filiales, en la regroupant en une seule, et en répartissant au mieux les fonds disponibles.

Dans cette partie, nous présenterons le principe du *cash-pooling*, ainsi que les différents modules de la formule standard qui s'appliquent aux captives de réassurance non-vie. Nous évaluerons également les risques pour le groupe ABC et sa captive, ainsi que les capitaux propres requis à sa formation.

3.1 *Cash-pooling*

Ce principe est très important pour les captives, puisqu'elles peuvent ainsi mobiliser autant de fonds propres que nécessaire, puis les réintroduire (en majeure partie) dans le capital du groupe à l'origine de sa création. Le graphique 3.1 permet de schématiser les grands principes du *cash-pooling* :

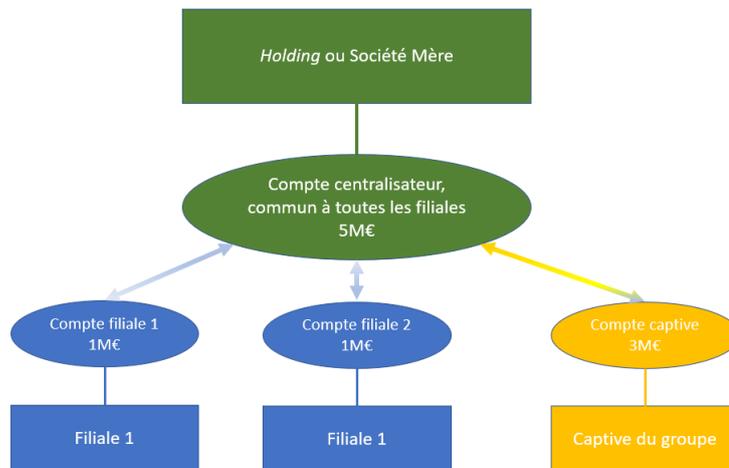


FIGURE 3.1 – Fonctionnement du *cash-pooling*

Ainsi, une captive participe au cash-pool de l'entreprise ce qui permet de ne bloquer que peu de fonds. En cas de sinistres, le compte centralisateur vient ajouter les capitaux nécessaires aux règlements dans les comptes de la captive, qui se chargera de les régler.

Dans l'exemple ci-dessus 3.1, la captive possède 3 M€ de fonds propres. Elle les

reverse sur le compte centralisateur, comme les filiales 1 et 2, puisqu'il s'agit de liquidités non-travaillantes. La holding peut alors décider de les investir dans n'importe laquelle de ses filiales avec qui elle possède un agrément de cash-pool. Si un sinistre pris en compte par la captive à hauteur de 2 M€ se produit, alors la holding injectera 2 M€ dans la captive sous 24 à 72 heures, pour assurer le règlement du sinistre.

Le *cash-pooling* est une des spécificités intéressantes des captives françaises. Elle impacte cependant de façon importante le calcul du risque de défaut. Il faut en effet se baser sur la notation de la compagnie mère pour évaluer son risque de contrepartie. Si la notation est mauvaise, c'est à dire inférieure à BB+, alors le risque de contrepartie peut être supérieur au risque non-vie, il faudra alors moduler l'utilisation du cash-pool par l'utilisation d'un compte en banque possédant une meilleure notation.

Après avoir étudié l'utilité du *cash-pooling* pour une captive, envisageons désormais les modules de risques nécessaires au calcul du SCR pour une captive de réassurance non-vie, et étudions les résultats pour la captive du groupe ABC.

3.2 Calcul du SCR pour une captive de réassurance non-vie.

La figure 3.2 rappelle dans ses grandes lignes la pieuvre du calcul du SCR pour une captive selon Solvabilité II :

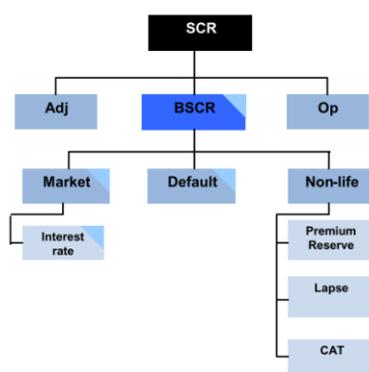


FIGURE 3.2 – Pieuvre du calcul du SCR pour une captive

Pour une captive de réassurance non-vie, et comportant uniquement des risques IARD, nous pouvons tout d'abord ôter la partie *Life* et la partie *Health*, puisque nous nous concentrons exclusivement sur les risques IARD des groupes industriels et financiers.

Par ailleurs, le risque des actifs incorporels (module risque intangible) prévoyant l'évaluation à la valeur marché des actifs incorporels et le risque de perte en valeur de ces derniers ne sont pas non plus pris en compte pour le calcul du SCR pour une captive

de réassurance non-vie. En effet, une captive ne possède pas de logiciels, ni de brevets ou marques.

Les risques *Health*, *Life* et *Intangible* sont donc nuls ce qui permet de simplifier sensiblement le calcul du SCR.

Le module *Non-Life* est le module le plus important pour le calcul du SCR d'une captive de réassurance non-vie. Parmi celui-ci, trois sous modules sont à prendre en compte :

- Le risque de souscription et de réserve (*Premium Reserve*)
- Le risque catastrophe *CAT*
- Le risque de rachat *Lapse*

Parmi ces trois risques, le risque de rachat ne s'applique pas aux captives de réassurance non-vie. En effet, il n'y a pas de rachat de polices, ni de taux de résiliation à prendre en compte dans ce cas de figure

Nous détaillerons dans la partie suivante le calcul des sous modules pour nos 3 options.

Après le module de risque non-vie, le module avec l'influence la plus importante sur le SCR est le module Défaut (Default). En effet, ce dernier dépend du risque de contrepartie des réassureurs, ou des prêts fait par l'organisme d'assurance. Il est très important pour les captives puisqu'en France elles peuvent participer jusqu'à 100%¹ dans le *cash-pooling* de la société mère. La captive est donc soumise au risque de contrepartie de la société mère.

Enfin, le dernier module ayant un impact sur l'évaluation des fonds propres est le module marché (*Market*). Celui-ci se divise en plusieurs parties :

- Taux d'intérêts
- Actions
- Immobilier
- *Spread*
- Change
- Concentration

Une captive, du fait de sa participation complète en France au *cash-pooling* et de son objectif de ne pas réaliser de bénéfices, ne possède pas d'actions, obligations ou d'actifs

1. En théorie, cependant une partie des fonds reste sur le compte de la captive pour régler les petits sinistres ou les frais de fonctionnement

immobiliers. Ainsi, elle n'est pas non plus soumise au risque de *spread* ni de change. Cependant, elle est dépendante du risque des taux d'intérêts.

Étudions désormais en détail chacun des sous-modules dans le cadre de la captive du groupe ABC et leur agrégation. Nous nous plaçons en fin de première année pour calculer ces capitaux propres *Business Plan* décrit dans la partie suivante.

3.2.1 Évaluation des sous modules.

Nous appliquons ici la formule standard. Les calculs effectués dans ce chapitre s'appuient sur les formules du cours de M. Juillard et du mémoire de A. Levy. Nous détaillons les estimations de paramètres nécessaires pour les calculs des modules.

Le module non-vie.

Le risque de prime et de réserve.

Pour calculer ce sous-module, et les différents *Best-Estimate*, nous avons utilisé une hypothèse de *Loss Ratio*. En effet, nous ne disposons pas de triangles de développement des sinistres pour l'instant. Pour établir l'hypothèse, nous avons analysé en vision rétrospective nos différentes options d'assurances. Pour cela, nous avons utilisé la tarification puis avons évalué la charge moyenne retenue par rapport à la prime établie. En réalisant une moyenne de ces ratios, nous avons obtenu le *Loss Ratio* prévisionnel pour chacune des options.

Pour rappel, les deux options sont :

Options de rétention Segment DDPE	Option 1	Option 2
Montant par sinistre	2,5 M€	5 M€
Montant de l' <i>aggregate</i>	4 M€	10 M€
En excès de	0,5 M€	0,5 M€

FIGURE 3.3 – Tableau récapitulatif des options pour le segment DDPE.

Options de rétention Segment RC	Option 1	Option 2
Montant par sinistre	10 M€	20 M€
Montant de l' <i>aggregate</i>	20 M€	40 M€
En excès de	1 M€	1 M€

FIGURE 3.4 – Tableau récapitulatif des options pour le segment RC

Le tableau 3.5 regroupe les résultats calculés pour les deux options proposées :

<i>Loss Ratio</i> rétrospectif	Option 1	Option 2
<i>Loss Ratio</i> DDPE	47,8%	43,4%
<i>Loss Ratio</i> RC	69,8%	65,9%

FIGURE 3.5 – Tableau des *Loss ratio* selon les lignes d'assurances.

Nous avons ainsi obtenu pour le sous module prime et réserve sinistre les résultats suivants selon les options (tableau 3.6) :

Risque de prime et de réserve rétrospectif	Option 1	Option 2
Captive ABC	5 059 297€	6 619 404€

FIGURE 3.6 – Tableau du risque de prime et de réserve selon les options.

Risque catastrophe CAT

Le risque catastrophe comprend plusieurs types de catastrophes :

- Le risque de catastrophe naturelle ;
- Le risque de catastrophe en réassurance non proportionnelle ;
- Le risque de catastrophe d'origine humaine.

Dans le cas de figure du groupe ABC, nous nous sommes centrés sur le risque de catastrophe en dommage d'origine naturelle et sur le risque de catastrophe d'origine humaine en responsabilité civile. Nous avons agrégées risques catastrophes de chacun des segments, et nous avons calculé les données rappelées dans le tableau 3.7.

Risque Catastrophe	Option 1	Option 2
SCR_{Cat}	13 151 132€	24 748 350€

FIGURE 3.7 – Tableau du risque catastrophe non-vie selon les options.

Agrégation des sous modules

Après agrégation, nous avons obtenu les résultats suivants pour le module de risques non-vie :

Module Non-vie	Option 1	Option 2
SCR_{NL}	15 225 521€	27 169 965€

FIGURE 3.8 – Tableau du risque non-vie selon les options.

Nous remarquons une augmentation de 78% entre l'option 1 et l'option 2 ce qui est parfaitement cohérent au vu de l'augmentation du module CAT et de Prime/Réserve.

Le module défaut

Le module défaut ne comporte qu'un unique volet. Il évalue le risque de posséder des créances non renouvelables pour une entreprise d'assurance. Pour une captive, avec le principe du *cash-pooling*, une seule créance est à prendre en compte, il s'agit de celle émise vers la société mère. La notation Fitch du groupe ABC est A.

Ainsi, nous avons obtenu pour le risque de défaut les résultats suivants rapportés dans le tableau 3.9 :

Module Défaut	Option 1	Option 2
SCR_{Def}	2 146 089€	3 822 720€

FIGURE 3.9 – Tableau du risque de défaut selon les options.

Le module marché

Ce module a une influence très faible sur le SCR d'une captive de réassurance en France. En effet, celle-ci utilise le principe du *cash-pooling* et ne possède pas d'actions ni obligations. Ainsi, comme nous l'avons énoncé plus tôt, cette exigence de capital pour couvrir le risque de marché est exclusivement portée par le sous module taux d'intérêts. Il est calculé avec un stress test sur la courbe des taux fournie par l'EIOPA. Nous nous sommes basés sur les courbes de l'EIOPA du 30 Juin 2022 pour établir nos calculs dont les résultats figurent dans le tableau 3.10.

Module Marché	Option 1	Option 2
SCR_{Market}	272 366	337 587

FIGURE 3.10 – Tableau du risque de marché selon les options.

Calcul des risques adjacents au BSCR pour une captive.

Une captive de réassurance non-vie est tout même soumise au risque opérationnel et bénéficie de l'ajustement pour les taxes différées.

Le risque opérationnel

Nous avons obtenu les résultats figurant dans le tableau 3.11 permettant d'évaluer le risque opérationnel de la captive de réassurance du groupe ABC :

Risque opérationnel	Option 1	Option 2
SCR_{op}	1 013 071€	1 357 959€

FIGURE 3.11 – Tableau du risque opérationnel selon les options.

Les ajustements pour provisions technique et les impôts différés

Nous n'avons pas d'ajustement pour impôt différé pour cette première année, puisque les provisions *Best Estimate* sont très supérieures aux provisions techniques sous comptabilité actuelle (Non Solvabilité II).

Agrégation et calcul du SCR

Après avoir agrégé les résultats, nous avons obtenu les valeurs des différents SCR en fonction des options regroupés dans le tableau 3.12.

Nous passons tout d'abord par le BSCR puis nous l'agrégeons avec le SCR_{Op} , et les ajustements, et nous avons :

BSCR & SCR	Option 1	Option 2
$BSCR$	16 478 392€	29 360 325€
SCR	17 491 463€	30 718 285€

FIGURE 3.12 – Tableau des BSCR et SCR à la création de la captive.

Selon les options, nous avons constaté une différence jusqu'à 75,6% du SCR. Celui-ci est principalement influencé par le risque non-vie et le risque de défaut.

3.2.2 Capital minimal requis pour la captive ABC en France

Comme nous l'avons abordé précédemment, une captive de réassurance est contrainte par Solvabilité II à mobiliser au moins 1,2 M€ pour ses fonds propres. Il s'agit du plancher inconditionnel du MCR. La captive doit posséder 120% du SCR en fonds propres, en accord avec le régulateur.

$$\text{Capitaux Propres minimaux} = 120\% * SCR$$

Cependant, ce ratio est mal adapté dans le cas d'une captive. En effet, si un sinistre d'intensité intervient la première année alors ce ratio deviendra bien inférieur à la limite plancher des capitaux propres. Le schéma 3.15 permet d'illustrer cette situation :

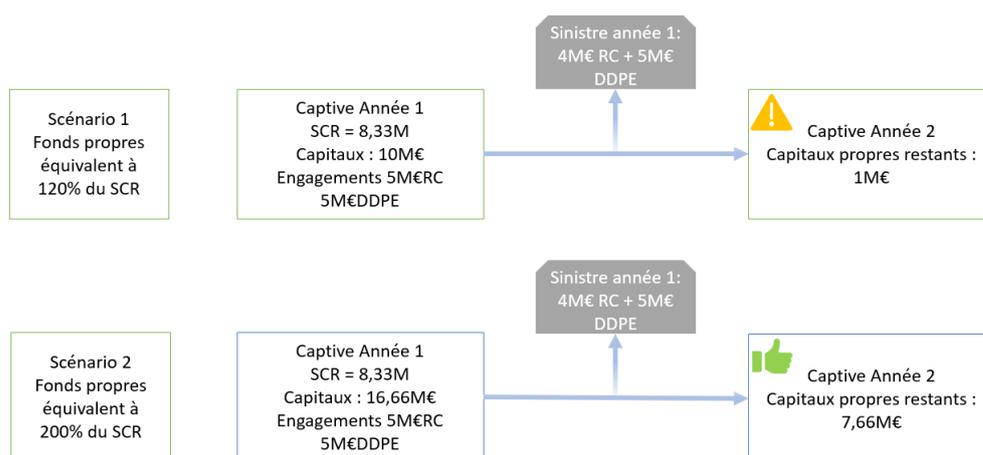


FIGURE 3.13 – Illustration du SCR pour une captive

Nous avons donc dû définir une surcharge par rapport au SCR afin de prendre en compte les premiers sinistres qui atteignent la captive. Ainsi, nous avons conseillé à la captive de prendre en charge 200% du SCR en tant que capitaux propres de départ.

Par conséquent, en utilisant une charge de 200% du SCR, nous avons défini le capital initial nécessaire à la création de la captive selon les 2 options :

Capital initial	Option 1	Option 2
Capital initial	32 000 000€	57 000 000€

FIGURE 3.14 – Tableau des capitaux initiaux nécessaires à la création de la captive.

Après avoir défini les ratios de solvabilité pour la captive ABC nous avons travaillé sur les différents *Business Plans* en prenant en compte les deux options définies mais également les différentes domiciliations possibles.

3.3 Arbitrages des domiciles pour la captive ABC.

3.3.1 Présentation des domiciles Européens sous Solvabilité II.

Les principaux domiciles européens classiques pour une captive, soumis à Solvabilité II sont les suivants :

- Le Grand-Duché du Luxembourg ;
- La République d'Irlande ;
- La France, selon la réglementation actuelle ;
- La France, avec une Provision pour Fluctuation de la Sinistralité ;



FIGURE 3.15 – Carte des principaux domiciles européens pour une captive.

Le Luxembourg, comme nous l'avons étudié dans la partie I possède une Provision pour Fluctuation de la Sinistralité et un taux d'imposition pour les sociétés à 24,9%.

Cette PFS permet d'égaliser les fluctuations de taux de sinistres pour le futur de la captive ou de couvrir les risques spéciaux, comme le risque nucléaire. Toute entreprise de réassurance domiciliée au Luxembourg doit en constituer une. Son montant théorique maximal total ne peut pas excéder 17,5 fois le total des moyennes des primes acquises par l'entreprise de réassurance au cours des 5 dernières années. Son plafond est calculé indépendamment pour chaque branche d'assurance. Son calcul s'effectue selon la formule suivante décrite par le régulateur Luxembourgeois [7] :

"Le multiple à appliquer à un risque ou à une catégorie de risques est égal au demi-entier supérieur au sextuple de l'écart-type du ratio charge sinistres à primes acquises."

Cependant, ce calcul est valide pour les entreprises de réassurances disposant d'un historique de sinistralité entre 10 et 30 années. Nous nous sommes donc appuyés sur nos scénarios historiques ainsi que sur le ratio Ecart-Type/Moyenne sinistralité pour les différentes options et branches pour estimer le coefficient plafond pour chacune des branches. Cette démarche nous a permis d'obtenir les résultats regroupés dans le tableau 3.16 :

Coefficient PFS	Option 1	Option 2
RC	3,87	4,84
DDPE	7,59	9,13

FIGURE 3.16 – Coefficient multiplicatif de la PFS pour chaque ligne d'assurance.

Le calcul sera reconduit une fois un historique de sinistralité conséquent disponible pour la captive. Nous avons ensuite multiplié le coefficient par les primes estimées, pour obtenir le plafond de la PFS rapporté dans le tableau 3.17.

Plafond de la PFS	Option 1	Option 2
RC	52 754 375€	85 961 121€
DDPE	15 062 593€	29 166 796€
Total	67 816 969€	115 127 918€

FIGURE 3.17 – Plafond pour la PFS.

La captive peut y incorporer son résultat, tant qu'il ne dépasse pas le total étudié. Ainsi, elle ne payerait d'impôt uniquement sur 0,5% de son capital de l'année N-1. Le

reste du résultat de la captive étant inclus dans la PFS. En cas de sinistralité supérieure à la prime, la captive dispose d'une provision qu'elle peut utiliser pour lisser son résultat. Si la PFS est remplie, alors la captive sera imposée sur son résultat.

Ainsi, la captive ABC profiterait au Luxembourg d'une imposition différée à hauteur de 67 M€ pour l'option 1 et 115 M€ pour l'option 2. Cependant, le Luxembourg ne permet pas une participation complète au *cash-pooling* de la captive et exige de la captive de conserver au moins 70% de la PFS dans ses fonds propres. Avec un taux de rendement de l'entreprise évalué à 5% pour le groupe ABC, il s'agit d'un manque à gagner important.

L'Irlande, quant à elle profite d'une imposition moindre avec un taux à 12,5%, mais pas de provision particulière. Ce pays jouit d'un taux d'imposition deux fois inférieur au taux d'impôt sur les sociétés français. De nombreuses captives d'assurances s'y implantent pour générer du bénéfice à moindre coût, puis se réassurer grâce à une captive de réassurance au Luxembourg, qui viendra lisser la sinistralité. Nous avons étudié la possibilité de ce domicile pour comparer l'impact d'une baisse du taux d'imposition pour les captives de réassurance par rapport à l'impact de l'ajout d'une PFS en France. Nous n'évoquerons pas Malte dans ce cas pratique, puisque sa réglementation pour les captives se rapproche de celle de l'Irlande, avec elle aussi une réduction du taux d'imposition.

En France, depuis janvier 2022, le taux d'imposition sur les sociétés est de 25%. Il n'existe pas encore de provision particulière. Cependant, en 2021, une proposition de loi a été soumise à l'Assemblée Nationale pour implémenter une nouvelle provision, spécialement adaptée pour les captives de réassurances. Nous allons donc proposer l'étude de l'implémentation de la PFS en France, en gardant les caractéristiques actuelles françaises. Ainsi, nous pourrions comparer ces domiciles selon les options, et observer l'impact d'une nouvelle réglementation en France pour les captives de réassurance. Pour la PFS française, nous avons conservé le calcul du coefficient et du plafond, non décrit dans l'article de loi. La PFS sera également commune à tous les risques. Cependant, il y a deux différences majeures. La première est l'ajout d'une période maximale de détention complète de la PFS, portée à 10 années. La onzième année nécessiterait le paiement d'impôt sur les fonds non utilisés. La seconde différence est l'imposition sur la richesse de l'année N-1. Cet impôt n'est pas présent en France, cette stratégie permet de réduire d'avantage les charges pour une captive.

Actuellement en France, l'intégralité de l'actif peut participer au Cash-Pool de l'entreprise. Cette provision viendrait en complément des fonds propres sous Solvabilité II. Nous n'avons pas d'information à ce sujet dans l'amendement, nous avons donc opté pour l'hypothèse forte que 30% de la PFS française pourrait être comptabilisée dans le Cash-Pool.

Le tableau récapitulatif 3.18 présente les différents domiciles et options étudiées :

	Irlande	Luxembourg	France - Actuel	France – Avec PFS
Capital minimum	1 000 000 euros	1 225 000 euros	1 200 000 euros	1 200 000 euros
Marge de solvabilité	Directive européenne Solvabilité II			
Provisions	Provisions techniques	Provisions techniques + Provision pour Fluctuation de la Sinistralité (PFS)	Provisions techniques	Provisions techniques + Provision pour Fluctuation de la Sinistralité (PFS)
IS (taux de droit commun)	12.5%	25%	25%	25%
Participation au Cash Pool	Actif Net	100% de l'actif + 30% de la PFS	100% de l'actif	100% de l'actif + 30% de la PFS
Frais de gestions estimés	120 000 euros	120 000 euros	100 000 euros	100 000 euros

FIGURE 3.18 – Différences entre les domiciles des captives

3.3.2 Développement des *Business Plans*

Pour comparer ces domiciles, nous avons établi des *Business Plans*, en nous basant sur un scénario à vision 5 ans. Nous avons déjà défini les primes, les options de rétentions, et le capital investi pour obtenir un ratio de SCR à l'ouverture de la souscription de la captive à 200% dont le tableau 3.19 récapitule les principales données.

Récapitulatif	Option 1	Option 2
Prime RC	14 755 483€	19 200 557€
Prime DDPE	2 129 032€	3 191 849€
Capital initial	32 500 000€	56 000 000€

FIGURE 3.19 – Tableau récapitulatif des primes et des fonds propres selon les options

Nous avons défini un scénario central, représentant la sinistralité pour chacune des branches. Nous l'avons ensuite appliqué à chacun des domiciles. Pour cela, nous avons pris des années de sinistralité pour chacune des branches, pour représenter tous les scénarios possibles : Une année avec une sinistralité très faible, trois années de sinistralité moyenne et une année de sinistralité importante.

Les différents scénarios sont repris dans les tableaux 3.20 et 3.21 :

Scénario RC	Option 1	Option 2
Année 1	198 6113€	198 611€
Année 2	8 175 270€	8 175 270€
Année 3	12 247 458€	12 247 458€
Année 4	20 000 000€	39 543 681€
Année 5	14 220 135€	14 220 135€

FIGURE 3.20 – Scénario du *business plan* pour la RC.

Scénario DDPE	Option 1	Option 2
Année 1	920 683€	920 683€
Année 2	452 307€	452 307€
Année 3	1 047 377€	1 047 377€
Année 4	494 005€	494 005€
Année 5	2 598 988€	2 598 988€

FIGURE 3.21 – Scénario du *business plan* pour le segment DDPE.

Nous avons ensuite appliqué les scénarios à chacun des domiciles afin d'évaluer leur impact. Nous avons appliqué un taux à 0% pour la participation au *cash-pooling* afin de simplifier la démarche. Les Business Plans complets sont également disponibles en Annexe B.

Les éléments clés de la projection du compte technique d'assurance non-vie, pour les différents domiciles pour l'option 1 sont repris dans les tableaux 3.26 à 3.29.

COMPTE DE RESULTAT					
	2023	2024	2025	2026	2027
I. Compte technique de l'assurance non vie					
1.Primes acquises, nettes de réassurance:	16 884 515	16 884 515	16 884 515	16 884 515	16 884 515
4.Charge des sinistres, nette de réassurance:	-1 119 294	-8 627 578	-13 294 835	-20 494 005	-16 819 123
7.Frais d'exploitation nets:	-1 301 916	-1 301 916	-1 301 916	-1 301 916	-1 301 916
8.Autres charges techniques, nettes de réassurance					
9.Variation de la provision pour égalisation					
10. Résultat du compte technique de l'assurance non vie	14 463 306	6 955 022	2 287 764	-4 911 406	-1 236 524
III. Compte non technique					
1.Résultat du compte technique de l'assurance non vie	14 463 306	6 955 022	2 287 764	-4 911 406	-1 236 524
9.Impôts sur les résultats provenant des activités ordinaires (25%)	-3 615 826	-1 738 755	-571 941	0	0
10. Résultat provenant des opérations ordinaires après impôts	10 847 479	5 216 266	1 715 823	-4 911 406	-1 236 524
17. Résultat de l'exercice	10 847 479	5 216 266	1 715 823	-4 911 406	-1 236 524

FIGURE 3.22 – Compte technique France sans PFS pour l'option 1

COMPTE DE RESULTAT					
I. Compte technique de l'assurance non vie	2023	2024	2025	2026	2027
1.Primes acquises, nettes de réassurance:	16 884 515	16 884 515	16 884 515	16 884 515	16 884 515
4.Charge des sinistres, nette de réassurance:	-1 119 294	-8 627 578	-13 294 835	-20 494 005	-16 819 123
5.Variation des autres provisions techniques, nette de réassurance					
6.Participations aux bénéfices et ristournes, nettes de réassurance					
7.Frais d'exploitation nets:	-1 298 916	-1 298 916	-1 298 916	-1 298 916	-1 298 916
9.Variation de la provision pour égalisation	-14 252 972	-6 744 688	-2 077 431	5 121 739	1 446 857
10. Résultat du compte technique de l'assurance non vie	213 333	213 333	213 333	213 333	213 333
III. Compte non technique	2023	2024	2025	2026	2027
1.Résultat du compte technique de l'assurance non vie	213 333	213 333	213 333	213 333	213 333
3.Produits des placements:	0	0	0	0	0
4.Produits des placements alloués transférés du compte technique de l'assurance-vie					
5.Charges des placements:	0	0	0	0	0
9.Impôts sur les résultats provenant des activités ordinaires	-213 333	-213 333	-213 333	-213 333	-213 333
17. Résultat de l'exercice	0	0	0	0	0

FIGURE 3.23 – Compte technique Luxembourg pour l'option 1

COMPTE DE RESULTAT					
I. Compte technique de l'assurance non vie	2023	2024	2025	2026	2027
1.Primes acquises, nettes de réassurance:	16 884 515	16 884 515	16 884 515	16 884 515	16 884 515
4.Charge des sinistres, nette de réassurance:	-1 119 294	-8 627 578	-13 294 835	-20 494 005	-16 819 123
7.Frais d'exploitation nets:	-1 301 916	-1 301 916	-1 301 916	-1 301 916	-1 301 916
10. Résultat du compte technique de l'assurance non vie	14 463 306	6 955 022	2 287 764	-4 911 406	-1 236 524
III. Compte non technique	2023	2024	2025	2026	2027
1.Résultat du compte technique de l'assurance non vie	14 463 306	6 955 022	2 287 764	-4 911 406	-1 236 524
9.Impôts sur les résultats provenant des activités ordinaires	-1 807 913	-869 378	-285 971	0	0
10. Résultat provenant des opérations ordinaires après impôt	12 655 393	6 085 644	2 001 794	-4 911 406	-1 236 524
17. Résultat de l'exercice	12 655 393	6 085 644	2 001 794	-4 911 406	-1 236 524

FIGURE 3.24 – Compte technique Irlande pour l'option 1

COMPTE DE RESULTAT					
I. Compte technique de l'assurance non vie	2023	2024	2025	2026	2027
1.Primes acquises, nettes de réassurance:	16 884 515	16 884 515	16 884 515	16 884 515	16 884 515
4.Charge des sinistres, nette de réassurance:	-1 119 294	-8 627 578	-13 294 835	-20 494 005	-16 819 123
5.Variation des autres provisions techniques, nette de réassurance					
6.Participations aux bénéfices et ristournes, nettes de réassurance					
7.Frais d'exploitation nets:	-1 298 916	-1 298 916	-1 298 916	-1 298 916	-1 298 916
9.Variation de la provision pour égalisation	-14 466 306	-6 958 022	-2 290 764	4 908 406	1 233 524
10. Résultat du compte technique de l'assurance non vie	0	0	0	0	0
III. Compte non technique	2023	2024	2025	2026	2027
1.Résultat du compte technique de l'assurance non vie	0	0	0	0	0
3.Produits des placements:	0	0	0	0	0
4.Produits des placements alloués transférés du compte technique de l'assurance-vie					
5.Charges des placements:	0	0	0	0	0
9.Impôts sur les résultats provenant des activités ordinaires	0	0	0	0	0
17. Résultat de l'exercice	0	0	0	0	0

FIGURE 3.25 – Compte technique France avec PFS pour l'option 1

Nous avons pu observer l'impact direct de la PFS dans les comptes de résultats. Par exemple, pour l'année 2026, nous aurions en France (sans PFS) et en Irlande, un résultat négatif. En revanche, au Luxembourg et en France (avec PFS), le résultat serait nul. La PFS constituée les années précédentes est intervenue lissant ainsi le résultat est lissé sur toutes les années.

Nous avons pu également mettre en évidence l'incidence des impôts selon les différents domiciles. En France et en Irlande, nous avons noté une division par deux de l'impôt sur les résultats provenant des activités ordinaires. Cela impacte la santé de la captive puisqu'elle possédera moins de résultat reporté l'année suivante. Ainsi, son ratio de solvabilité sera moins important par rapport aux autres domiciles. Les bilans peuvent également être comparés selon la domiciliation de la captive, c'est l'objet des tableaux 3.26 à 3.29 :

BILAN					
Actif	2023	2024	2025	2026	2027
C. Placements	43 573 064	55 929 465	67 581 760	77 245 711	84 017 083
TOTAL DE L'ACTIF	43 573 064	55 929 465	67 581 760	77 245 711	84 017 083
Passif	2023	2024	2025	2026	2027
A. Capitaux propres	42 847 479	48 063 746	49 779 569	44 868 163	43 631 639
I. Capital souscrit ou fonds équivalent	32 000 000	32 000 000	32 000 000	32 000 000	32 000 000
V. Résultats reportés	0	10 847 479	16 063 746	17 779 569	12 868 163
VI. Résultat de l'exercice	10 847 479	5 216 266	1 715 823	-4 911 406	-1 236 524
B. Passifs subordonnés					
C. Provisions techniques	725 585	7 865 720	17 802 191	32 377 548	40 385 444
D. Provisions techniques relatives à l'assurance-vie lorsque le risque de placement est supporté par le preneur d'assurance					
TOTAL DU PASSIF	43 573 064	55 929 465	67 581 760	77 245 711	84 017 083

FIGURE 3.26 – Bilan de la captive en France sans PFS pour l'option 1

BILAN					
Actif	2023	2024	2025	2026	2027
C. Placements	46 978 558	60 863 380	72 877 283	82 330 901	88 891 939
TOTAL DE L'ACTIF	46 978 558	60 863 380	72 877 283	82 330 901	88 891 939
Passif	2023	2024	2025	2026	2027
A. Capitaux propres	32 000 000				
I. Capital souscrit ou fonds équivalent	32 000 000	32 000 000	32 000 000	32 000 000	32 000 000
V. Résultats reportés	0	0	0	0	0
VI. Résultat de l'exercice	0	0	0	0	0
B. Passifs subordonnés					
C. Provisions techniques	14 978 558	28 863 380	40 877 283	50 330 901	56 891 939
III. Provision pour sinistres	725 585	7 865 720	17 802 191	32 377 548	40 385 444
V. Provision pour égalisation	14 252 972	20 997 661	23 075 092	17 953 353	16 506 496
TOTAL DU PASSIF	46 978 558	60 863 380	72 877 283	82 330 901	88 891 939

FIGURE 3.27 – Bilan de la captive au Luxembourg pour l'option 1

BILAN					
Actif	2023	2024	2025	2026	2027
C. Placements	45 380 978	58 606 756	70 545 022	80 208 972	86 980 345
TOTAL DE L'ACTIF	45 380 978	58 606 756	70 545 022	80 208 972	86 980 345
Passif	2023	2024	2025	2026	2027
A. Capitaux propres	44 655 393	50 741 037	52 742 830	47 831 425	46 594 901
V. Résultats reportés	0	12 655 393	18 741 037	20 742 830	15 831 425
VI. Résultat de l'exercice	12 655 393	6 085 644	2 001 794	-4 911 406	-1 236 524
C. Provisions techniques	725 585	7 865 720	17 802 191	32 377 548	40 385 444
TOTAL DU PASSIF	45 380 978	58 606 756	70 545 022	80 208 972	86 980 345

FIGURE 3.28 – Bilan de la captive en Irlande pour l'option 1

BILAN					
Actif	2023	2024	2025	2026	2027
C. Placements	47 191 891	61 290 047	73 517 283	83 184 234	89 958 606
TOTAL DE L'ACTIF	47 191 891	61 290 047	73 517 283	83 184 234	89 958 606
Passif	2023	2024	2025	2026	2027
A. Capitaux propres	32 000 000				
I. Capital souscrit ou fonds équivalent	32 000 000	32 000 000	32 000 000	32 000 000	32 000 000
V. Résultats reportés	0	0	0	0	0
VI. Résultat de l'exercice	0	0	0	0	0
B. Passifs subordonnés					
C. Provisions techniques	15 191 891	29 290 047	41 517 283	51 184 234	57 958 606
III. Provision pour sinistres	725 585	7 865 720	17 802 191	32 377 548	40 385 444
V. Provision pour égalisation	14 466 306	21 424 328	23 715 092	18 806 686	17 573 162
TOTAL DU PASSIF	47 191 891	61 290 047	73 517 283	83 184 234	89 958 606

FIGURE 3.29 – Bilan pour la captive en France, avec PFS, pour l'option 1

Nous avons observé sur ces bilans une différence sur la valeur de l'actif. Nous avons constaté que la France avec une PFS obtient à la fin de la période étudiée l'actif le plus important parmi les différents domiciles étudiés, suivie par le Luxembourg. La PFS a donc un impact important sur le bilan. Ainsi pour la France, nous avons retrouvé une différence de près de 6 M€ à la fin de la période, selon la mise en place ou non d'une PFS. En 2026, avec la sinistralité maximale en RC, nous avons pu également observer une différence notable sur entre les actifs des captives en fonction des différents domiciles. Ces évolutions sont reprises à travers les graphiques 3.30 et 3.31.

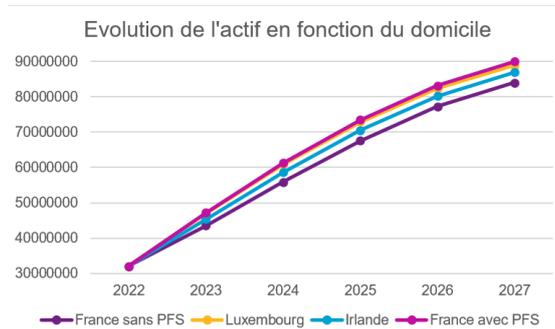


FIGURE 3.30 – Évolution des actifs en fonction des domiciles, Option 1.

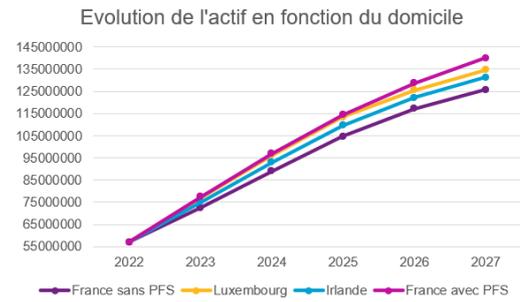


FIGURE 3.31 – Évolution des actifs en fonction des domiciles, Option 2.

Cette étude a permis dans un premier temps de déterminer l’option choisie selon le niveau de risque que souhaite engager le groupe ABC. Dans le cas présent, nous avons conseillé au groupe ABC l’option 1. En effet, le groupe ABC, en choisissant l’option 1 à la création de la captive, prend moins de risques les premières années. Ainsi, si la captive obtient de bons résultats, elle pourra augmenter sa souscription dans le futur. Il s’agit de l’approche la plus pérenne permettant de limiter l’exposition à la création. Par ailleurs, si la captive est créée au Luxembourg ou dans un futur proche en France avec l’hypothèse PFS, celle-ci pourrait faire fructifier sa PFS et ainsi se couvrir contre les risques extrêmes.

La différence entre la France avec PFS et le Luxembourg réside dans l’impôt sur les capitaux auquel sont soumises les captives Luxembourgeoises. Grâce à la PFS en France, l’entreprise réaliserait en moyenne 5,9 M€ de réserve sur 5 années par rapport à la France sans PFS. Cela représente une économie sur le coût total du risque de 1,18 M€ annuellement, soit 7% de réduction de prime annuelle.

Cependant, après 10 années depuis la création de la captive, elle devrait payer des impôts sur la part des provisions annuelles constituées en 2023 non utilisées. Si la PFS reste à 17,6 M€ , avec une sinistralité égale à la prime pendant 5 années supplémentaires, alors la captive réglerait l’impôt sur la PFS non utilisée de 2023, à hauteur de 2,08 M€ . Sans PFS, la captive aurait dû régler 5,9 M€ d’impôts. Cet exemple nous permet d’observer l’économie d’impôt importante réalisable grâce à la PFS. Le diagramme 3.32 permet de visualiser graphiquement l’évolution du paiement de l’impôt dans un contexte de PFS.

Ainsi, nous avons la formule suivante pour l'impôt sur la PFS française en année n :
 Soit $VPFS_n$ la variation de la PFS pour l'année n ; Soit $RPFS_n$ le reste de la PFS pour l'année n ;

Alors :

$$RPFS_n = VPFS_n - \sum_{k=1}^{10} VPFS_{n+k} \mathbb{I}_{VPFS_{n+k} < 0}$$

L'impôt à régler en année $n+10$ I_n sera alors :

$$I_n = 0,25 * RPFS_n$$

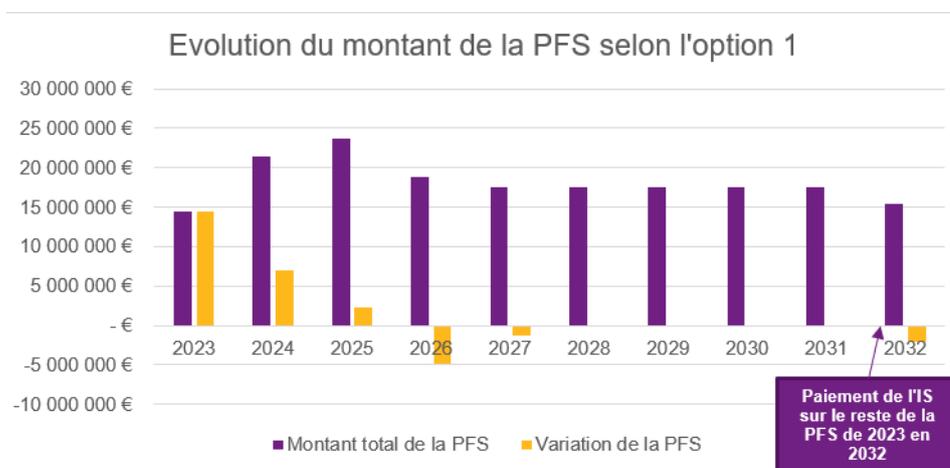


FIGURE 3.32 – Paiement de l'impôt sur la PFS après 10 années de souscription de la captive.

Ainsi, nous avons conseillé au groupe ABC de créer sa captive au Luxembourg en ne prenant en compte que des indicateurs purement fiscaux. La France aurait été le pays privilégié avec une PFS, avec l'option 1, selon le scénario que nous avons défini. Nous avons également établi qu'une baisse de l'impôt n'est pas aussi bénéfique aux captives, puisqu'elles ne forment pas de provision en cas de sinistres important. Ainsi, l'ajout d'une PFS en France est une solution pérenne pour l'avenir des captives et le rapatriement des captives d'entreprises françaises actuellement domiciliées à l'étranger.

Chapitre 4

Conclusion

4.1 Conclusion

Dans le cadre de ce travail, nous avons mis en avant l'intérêt des captives qui sont de véritables outils de transferts de risques transverses. Elles permettent de trouver des solutions alternatives à l'assurance traditionnelle dont les conditions se durcissent depuis 2019. Elles assurent également une protection face à des risques non assurables. Elles sont néanmoins soumises à la réglementation de tout organisme assurantiel et les arbitrages nécessaires à leur bonne mise en œuvre nécessitent un travail actuariel méticuleux et rigoureux.

La mise en place d'un modèle de sinistralité et de fréquence est requis pour évaluer la tarification des risques. Cela nécessite l'utilisation de la théorie des valeurs extrêmes mais aussi les outils de simulation de Monte-Carlo permettant d'estimer le risque retenu par la captive dans le futur. L'étude de différentes options permet de proposer des solutions de rétention des risques sur-mesure et ainsi un contrôle plus approfondi sur leurs sinistres.

Le choix de l'option dépend fortement des fonds propres requis par la norme prudentielle Solvabilité II. Selon la rétention choisie par la captive, les montants de capitaux propres requis définis par la formule standard limitent l'appétit au risque des groupes souhaitant se doter d'une captive. En outre, le *cash-pooling*, technique de gestion de la trésorerie centralisée, permet de réduire l'impact du blocage des fonds pour une entreprise. En effet, en France, les captives peuvent participer à hauteur de leurs actifs dans le *cash-pooling* de leur groupe et ainsi débloquer une partie du capital de la captive au profit d'autres filiales. Cela reste actuellement l'un des avantages majeurs de la création de captives en France.

Cependant, il existe différentes possibilités de domicilier sa captive au sein des pays de l'Union Européenne. La législation du Luxembourg, du fait de la présence de la provision pour fluctuation de la sinistralité en fait un pays particulièrement attractif pour héberger ce type d'activité. Nous avons étudié l'hypothèse de l'ajout d'une PFS en France et son impact sur le projet du groupe industriel que nous avons appuyé. Ainsi, nous avons pu conseiller au groupe ABC, sur un aspect exclusivement financier, la création de sa captive

au Luxembourg. Cependant, si la France disposait d'une PFS le choix local aurait été à privilégier.

Cependant, plusieurs entreprises françaises souhaitent installer leurs captives à proximité de leur siège social souvent dans un but d'image, privilégiant l'éthique financière sur les aspects exclusivement quantitatifs de cette étude. En outre, de nombreuses modifications réglementaires peuvent survenir prochainement et modifier cette donne comme la PFS française, le calcul du seuil maximal de PFS ou la participation possible de la PFS dans le *cash-pooling*.

Nous avons pu démontrer l'utilité qu'aurait la mise en place d'une PFS en France pour les captives et quantifier son impact sur les actifs d'une captive.

Ce travail pourrait être poursuivi en étudiant plus spécifiquement, dans une hypothèse de la mise en place d'une PFS en France, le coût de transfert ainsi que les méthodes de transfert envisageables pour les captives européennes. Le retour possible du Soft Market assurantiel est également à prendre en compte dans un contexte d'inflation marquée et d'augmentations des taux d'intérêt, les risques pris par les assureurs pourraient être plus importants dans le futur et seront probablement compensés par leurs obligations.

Annexe A

Tableau de l'inflation

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
SOUTH AFRICA	170,47%	170,73%	164,03%	156,21%	147,74%	139,67%	131,59%	125,91%	118,13%	112,30%	107,46%
ALGERIE	163,11%	169,85%	163,46%	156,39%	143,62%	139,10%	135,15%	128,99%	121,23%	114,81%	110,11%
ALLEMAGNE	112,83%	114,67%	113,42%	111,12%	108,93%	107,31%	106,34%	105,80%	105,29%	103,72%	101,96%
ARGENTINE	1162,41%	2209,45%	1827,28%	1477,15%	1207,66%	974,32%	694,54%	548,70%	388,82%	308,57%	219,30%
BELGIQUE	117,92%	120,55%	117,97%	113,95%	110,80%	109,58%	109,21%	108,61%	106,51%	104,29%	102,19%
CANADA	116,58%	119,70%	117,61%	114,28%	112,57%	111,52%	109,43%	108,21%	106,68%	105,00%	102,67%
CHINE	127,36%	134,22%	127,16%	120,48%	117,40%	114,40%	112,25%	110,66%	108,49%	106,79%	104,62%
ESPAGNE	111,87%	112,61%	110,62%	107,19%	104,64%	103,17%	103,33%	103,85%	104,05%	102,05%	100,38%
FRANCE	110,61%	112,26%	110,57%	108,28%	106,20%	105,29%	104,76%	104,72%	104,53%	103,46%	101,59%
HONG KONG	134,65%	138,11%	134,99%	128,22%	123,22%	118,12%	113,10%	109,80%	107,22%	105,65%	103,17%
INDE	208,35%	213,64%	190,56%	175,04%	160,14%	144,38%	135,73%	128,19%	122,12%	119,16%	113,65%
IRLANDE	99,98%	105,29%	106,24%	103,59%	101,86%	101,34%	101,16%	101,45%	101,44%	101,10%	100,61%
ITALIE	112,50%	112,17%	110,49%	107,50%	104,33%	103,07%	102,82%	102,78%	102,87%	101,62%	100,48%
KAZAKHSTAN	177,33%	185,56%	185,56%	185,56%	176,55%	166,79%	156,31%	146,53%	127,92%	119,06%	112,30%
MAROC	113,04%	114,89%	113,76%	112,73%	111,30%	109,25%	108,77%	107,10%	105,37%	104,58%	102,62%
MEXIQUE	149,80%	152,44%	146,35%	141,52%	135,94%	130,95%	125,89%	122,55%	119,19%	112,40%	107,15%
PAYS-BAS	115,75%	118,89%	117,39%	114,70%	111,95%	109,21%	108,15%	107,50%	107,16%	105,70%	103,93%
REPUBLIQUE TCHEQUE	116,09%	121,92%	120,16%	117,89%	114,14%	112,52%	112,14%	111,79%	111,04%	108,38%	106,10%
SINGAPOUR	114,63%	116,65%	113,45%	110,66%	105,82%	103,38%	102,33%	102,87%	103,42%	102,82%	102,37%
SUEDE	109,29%	112,34%	111,05%	107,86%	106,91%	106,95%	107,14%	107,20%	106,16%	104,29%	102,30%
SUISSE	99,40%	99,52%	98,84%	98,61%	99,30%	99,51%	99,52%	100,67%	101,11%	100,57%	99,64%
UK	122,88%	123,83%	120,82%	116,34%	113,42%	110,88%	109,29%	108,89%	107,80%	105,11%	102,76%
USA	116,65%	120,63%	118,69%	115,05%	112,72%	111,09%	109,32%	109,18%	107,83%	105,58%	103,06%

FIGURE A.1 – Historique de l'inflation selon les pays sinistrés du groupe ABC

Annexe B

Business Plans

COMPTE DE RESULTAT					
I. Compte technique de l'assurance non vie	2023	2024	2025	2026	2027
1.Primes acquises, nettes de réassurance:	16 884 515	16 884 515	16 884 515	16 884 515	16 884 515
4.Charge des sinistres, nette de réassurance:	-1 119 294	-8 627 578	-13 294 835	-20 494 005	-16 819 123
7.Frais d'exploitation nets:	-1 301 916	-1 301 916	-1 301 916	-1 301 916	-1 301 916
8.Autres charges techniques, nettes de réassurance					
9.Variation de la provision pour égalisation					
10. Résultat du compte technique de l'assurance non vie	14 463 306	6 955 022	2 287 764	-4 911 406	-1 236 524
III. Compte non technique	2023	2024	2025	2026	2027
1.Résultat du compte technique de l'assurance non vie	14 463 306	6 955 022	2 287 764	-4 911 406	-1 236 524
9.Impôts sur les résultats provenant des activités ordinaires (25%)	-3 615 826	-1 738 755	-571 941	0	0
10. Résultat provenant des opérations ordinaires après impôts	10 847 479	5 216 266	1 715 823	-4 911 406	-1 236 524
17. Résultat de l'exercice	10 847 479	5 216 266	1 715 823	-4 911 406	-1 236 524

FIGURE B.1 – Compte technique France sans PFS pour l'option 1

COMPTE DE RESULTAT					
I. Compte technique de l'assurance non vie	2023	2024	2025	2026	2027
1.Primes acquises, nettes de réassurance:	16 884 515	16 884 515	16 884 515	16 884 515	16 884 515
4.Charge des sinistres, nette de réassurance:	-1 119 294	-8 627 578	-13 294 835	-20 494 005	-16 819 123
5.Variation des autres provisions techniques, nette de réassurance					
6.Participations aux bénéfices et ristournes, nettes de réassurance					
7.Frais d'exploitation nets:	-1 298 916	-1 298 916	-1 298 916	-1 298 916	-1 298 916
9.Variation de la provision pour égalisation	-14 252 972	-6 744 688	-2 077 431	5 121 739	1 446 857
10. Résultat du compte technique de l'assurance non vie	213 333	213 333	213 333	213 333	213 333
III. Compte non technique	2023	2024	2025	2026	2027
1.Résultat du compte technique de l'assurance non vie	213 333	213 333	213 333	213 333	213 333
3.Produits des placements:	0	0	0	0	0
4.Produits des placements alloués transférés du compte technique de l'assurance-vie					
5.Charges des placements:	0	0	0	0	0
9.Impôts sur les résultats provenant des activités ordinaires	-213 333	-213 333	-213 333	-213 333	-213 333
17. Résultat de l'exercice	0	0	0	0	0

FIGURE B.2 – Compte technique Luxembourg pour l'option 1

COMPTE DE RESULTAT					
I. Compte technique de l'assurance non vie	2023	2024	2025	2026	2027
1.Primes acquises, nettes de réassurance:	16 884 515	16 884 515	16 884 515	16 884 515	16 884 515
4.Charge des sinistres, nette de réassurance:	-1 119 294	-8 627 578	-13 294 835	-20 494 005	-16 819 123
7.Frais d'exploitation nets:	-1 301 916	-1 301 916	-1 301 916	-1 301 916	-1 301 916
10. Résultat du compte technique de l'assurance non vie	14 463 306	6 955 022	2 287 764	-4 911 406	-1 236 524
III. Compte non technique	2023	2024	2025	2026	2027
1.Résultat du compte technique de l'assurance non vie	14 463 306	6 955 022	2 287 764	-4 911 406	-1 236 524
9.Impôts sur les résultats provenant des activités ordinaires	-1 807 913	-869 378	-285 971	0	0
10. Résultat provenant des opérations ordinaires après impôt	12 655 393	6 085 644	2 001 794	-4 911 406	-1 236 524
17. Résultat de l'exercice	12 655 393	6 085 644	2 001 794	-4 911 406	-1 236 524

FIGURE B.3 – Compte technique Irlande pour l'option 1

COMPTE DE RESULTAT					
I. Compte technique de l'assurance non vie	2023	2024	2025	2026	2027
1.Primes acquises, nettes de réassurance:	16 884 515	16 884 515	16 884 515	16 884 515	16 884 515
4.Charge des sinistres, nette de réassurance:	-1 119 294	-8 627 578	-13 294 835	-20 494 005	-16 819 123
5.Variation des autres provisions techniques, nette de réassurance					
6.Participations aux bénéfices et ristournes, nettes de réassurance					
7.Frais d'exploitation nets:	-1 298 916	-1 298 916	-1 298 916	-1 298 916	-1 298 916
9.Variation de la provision pour égalisation	-14 466 306	-6 958 022	-2 290 764	4 908 406	1 233 524
10. Résultat du compte technique de l'assurance non vie	0	0	0	0	0
III. Compte non technique	2023	2024	2025	2026	2027
1.Résultat du compte technique de l'assurance non vie	0	0	0	0	0
3.Produits des placements:	0	0	0	0	0
4.Produits des placements alloués transférés du compte technique de l'assurance-vie					
5.Charges des placements:	0	0	0	0	0
9.Impôts sur les résultats provenant des activités ordinaires	0	0	0	0	0
17. Résultat de l'exercice	0	0	0	0	0

FIGURE B.4 – Compte technique France avec PFS pour l'option 1

BILAN					
Actif	2023	2024	2025	2026	2027
C. Placements	43 573 064	55 929 465	67 581 760	77 245 711	84 017 083
TOTAL DE L'ACTIF	43 573 064	55 929 465	67 581 760	77 245 711	84 017 083
Passif	2023	2024	2025	2026	2027
A. Capitaux propres	42 847 479	48 063 746	49 779 569	44 868 163	43 631 639
I. Capital souscrit ou fonds équivalent	32 000 000	32 000 000	32 000 000	32 000 000	32 000 000
V. Résultats reportés	0	10 847 479	16 063 746	17 779 569	12 968 163
VI. Résultat de l'exercice	10 847 479	5 216 266	1 715 823	-4 911 406	-1 236 524
B. Passifs subordonnés					
C. Provisions techniques	725 585	7 865 720	17 802 191	32 377 548	40 385 444
D. Provisions techniques relatives à l'assurance-vie lorsque le risque de placement est supporté par le preneur d'assurance					
TOTAL DU PASSIF	43 573 064	55 929 465	67 581 760	77 245 711	84 017 083

FIGURE B.5 – Bilan de la captive en France sans PFS pour l'option 1

BILAN					
Actif	2023	2024	2025	2026	2027
C. Placements	46 978 558	60 863 380	72 877 283	82 330 901	88 891 939
TOTAL DE L'ACTIF	46 978 558	60 863 380	72 877 283	82 330 901	88 891 939
Passif	2023	2024	2025	2026	2027
A. Capitaux propres	32 000 000				
I. Capital souscrit ou fonds équivalent	32 000 000	32 000 000	32 000 000	32 000 000	32 000 000
V. Résultats reportés	0	0	0	0	0
VI. Résultat de l'exercice	0	0	0	0	0
B. Passifs subordonnés					
C. Provisions techniques	14 978 558	28 863 380	40 877 283	50 330 901	56 891 939
III. Provision pour sinistres	725 585	7 865 720	17 802 191	32 377 548	40 385 444
V. Provision pour égalisation	14 252 972	20 997 661	23 075 092	17 953 353	16 506 496
TOTAL DU PASSIF	46 978 558	60 863 380	72 877 283	82 330 901	88 891 939

FIGURE B.6 – Bilan de la captive au Luxembourg pour l'option 1

BILAN					
Actif	2023	2024	2025	2026	2027
C. Placements	45 380 978	58 606 756	70 545 022	80 208 972	86 980 345
TOTAL DE L'ACTIF	45 380 978	58 606 756	70 545 022	80 208 972	86 980 345
Passif	2023	2024	2025	2026	2027
A. Capitaux propres	44 655 393	50 741 037	52 742 830	47 831 425	46 594 901
V. Résultats reportés	0	12 655 393	18 741 037	20 742 830	15 831 425
VI. Résultat de l'exercice	12 655 393	6 085 644	2 001 794	-4 911 406	-1 236 524
C. Provisions techniques	725 585	7 865 720	17 802 191	32 377 548	40 385 444
TOTAL DU PASSIF	45 380 978	58 606 756	70 545 022	80 208 972	86 980 345

FIGURE B.7 – Bilan de la captive en Irlande pour l'option 1

BILAN					
Actif	2023	2024	2025	2026	2027
C. Placements	47 191 891	61 290 047	73 517 283	83 184 234	89 958 606
TOTAL DE L'ACTIF	47 191 891	61 290 047	73 517 283	83 184 234	89 958 606
Passif	2023	2024	2025	2026	2027
A. Capitaux propres	32 000 000				
I. Capital souscrit ou fonds équivalent	32 000 000	32 000 000	32 000 000	32 000 000	32 000 000
V. Résultats reportés	0	0	0	0	0
VI. Résultat de l'exercice	0	0	0	0	0
B. Passifs subordonnés					
C. Provisions techniques	15 191 891	29 290 047	41 517 283	51 184 234	57 958 606
III. Provision pour sinistres	725 585	7 865 720	17 802 191	32 377 548	40 385 444
V. Provision pour égalisation	14 466 306	21 424 328	23 715 092	18 806 686	17 573 162
TOTAL DU PASSIF	47 191 891	61 290 047	73 517 283	83 184 234	89 958 606

FIGURE B.8 – Bilan pour la captive en France, avec PFS, pour l'option 1

Pour l'option 2, nous avons les tableaux de B.13 à B.16.

COMPTE DE RESULTAT					
I. Compte technique de l'assurance non vie	2023	2024	2025	2026	2027
1.Primes acquises, nettes de réassurance:	22 632 653	22 632 653	22 632 653	22 632 653	22 632 653
4.Charge des sinistres, nette de réassurance:	-1 119 294	-8 627 578	-13 294 835	-26 543 681	-16 819 123
7.Frais d'exploitation nets:	-1 704 286	-1 704 286	-1 704 286	-1 704 286	-1 704 286
10. Résultat du compte technique de l'assurance non vie	19 809 073	12 300 789	7 633 532	-5 615 314	4 109 244
III. Compte non technique	2023	2024	2025	2026	2027
1.Résultat du compte technique de l'assurance non vie	19 809 073	12 300 789	7 633 532	-5 615 314	4 109 244
9.Impôts sur les résultats provenant des activités ordinaires (25%)	-4 952 268	-3 075 197	-1 908 383	0	-1 027 311
10. Résultat provenant des opérations ordinaires après impôts	14 856 805	9 225 592	5 725 149	-5 615 314	3 081 933
17. Résultat de l'exercice	14 856 805	9 225 592	5 725 149	-5 615 314	3 081 933

FIGURE B.9 – Compte technique France sans PFS pour l'option 2

COMPTE DE RESULTAT					
I. Compte technique de l'assurance non vie	2023	2024	2025	2026	2027
1.Primes acquises, nettes de réassurance:	22 632 653	22 632 653	22 632 653	22 632 653	22 632 653
4.Charge des sinistres, nette de réassurance:	-1 119 294	-8 627 578	-13 294 835	-26 543 681	-16 819 123
7.Frais d'exploitation nets:	-1 724 686	-1 724 686	-1 724 686	-1 724 686	-1 724 686
9.Variation de la provision pour égalisation	-19 403 538	-11 895 254	-7 227 997	6 020 849	-3 703 709
10. Résultat du compte technique de l'assurance non vie	385 135	385 135	385 135	385 135	385 135
III. Compte non technique	2023	2024	2025	2026	2027
1.Résultat du compte technique de l'assurance non vie	385 135	385 135	385 135	385 135	385 135
4.Produits des placements alloués transférés du compte technique de l'assurance-vie					
9.Impôts sur les résultats provenant des activités ordinaires	-385 135	-385 135	-385 135	-385 135	-385 135
17. Résultat de l'exercice	0	0	0	0	0

FIGURE B.10 – Compte technique Luxembourg pour l'option 2

COMPTE DE RESULTAT					
I. Compte technique de l'assurance non vie	2023	2024	2025	2026	2027
1.Primes acquises, nettes de réassurance:	22 632 653	22 632 653	22 632 653	22 632 653	22 632 653
4.Charge des sinistres, nette de réassurance:	-1 119 294	-8 627 578	-13 294 835	-26 543 681	-16 819 123
7.Frais d'exploitation nets:	-1 704 286	-1 704 286	-1 704 286	-1 704 286	-1 704 286
10. Résultat du compte technique de l'assurance non vie	19 809 073	12 300 789	7 633 532	-5 615 314	4 109 244
III. Compte non technique	2023	2024	2025	2026	2027
1.Résultat du compte technique de l'assurance non vie	19 809 073	12 300 789	7 633 532	-5 615 314	4 109 244
9.Impôts sur les résultats provenant des activités ordinaires	-2 476 134	-1 537 599	-954 192	0	-513 655
10. Résultat provenant des opérations ordinaires après impôt	17 332 939	10 763 191	6 679 341	-5 615 314	3 595 588
17. Résultat de l'exercice	17 332 939	10 763 191	6 679 341	-5 615 314	3 595 588

FIGURE B.11 – Compte technique Irlande pour l'option 2

COMPTE DE RESULTAT					
I. Compte technique de l'assurance non vie	2023	2024	2025	2026	2027
1.Primes acquises, nettes de réassurance:	22 632 653	22 632 653	22 632 653	22 632 653	22 632 653
4.Charge des sinistres, nette de réassurance:	-1 119 294	-8 627 578	-13 294 835	-26 543 681	-16 819 123
7.Frais d'exploitation nets:	-1 724 686	-1 724 686	-1 724 686	-1 724 686	-1 724 686
9.Variation de la provision pour égalisation	-19 788 673	-12 280 389	-7 613 132	5 635 714	-4 088 844
10. Résultat du compte technique de l'assurance non vie	0	0	0	0	0
III. Compte non technique	2023	2024	2025	2026	2027
1.Résultat du compte technique de l'assurance non vie	0	0	0	0	0
4.Produits des placements alloués transférés du compte technique de l'assurance-vie					
9.Impôts sur les résultats provenant des activités ordinaires	0	0	0	0	0
17. Résultat de l'exercice	0	0	0	0	0

FIGURE B.12 – Compte technique France avec PFS pour l'option 2

BILAN					
Actif	2023	2024	2025	2026	2027
C. Placements	72 582 390	88 948 117	104 609 738	118 834 948	129 140 268
I. Terrains et constructions					
II. Placements dans des entreprises liées et participations	72 582 390	88 948 117	104 609 738	118 834 948	129 140 268
TOTAL DE L'ACTIF	72 582 390	88 948 117	104 609 738	118 834 948	129 140 268
Passif	2023	2024	2025	2026	2027
A. Capitaux propres	71 856 805	81 082 397	86 807 546	81 192 232	84 274 165
I. Capital souscrit ou fonds équivalent	57 000 000	57 000 000	57 000 000	57 000 000	57 000 000
VI Résultat de l'exercice	14 856 805	9 225 592	5 725 149	-5 615 314	3 081 933
C. Provisions techniques	725 585	7 865 720	17 802 191	37 642 716	44 866 104
TOTAL DU PASSIF	72 582 390	88 948 117	104 609 738	118 834 948	129 140 268

FIGURE B.13 – Bilan de la captive en France sans PFS pour l'option 2

BILAN					
Actif	2023	2024	2025	2026	2027
C. Placements	77 129 123	96 164 512	113 328 981	127 148 656	138 075 752
TOTAL DE L'ACTIF	77 129 123	96 164 512	113 328 981	127 148 656	138 075 752
Passif	2023	2024	2025	2026	2027
A. Capitaux propres	57 000 000	57 000 000	57 000 000	57 000 000	57 000 000
C. Provisions techniques	20 129 123	39 164 512	56 328 981	70 148 656	81 075 752
III. Provision pour sinistres	725 585	7 865 720	17 802 191	37 642 716	44 866 104
V. Provision pour égalisation	19 403 538	31 298 792	38 526 789	32 505 940	36 209 649
TOTAL DU PASSIF	77 129 123	96 164 512	113 328 981	127 148 656	138 075 752

FIGURE B.14 – Bilan de la captive au Luxembourg pour l'option 2

BILAN					
Actif	2023	2024	2025	2026	2027
C. Placements	75 058 524	92 961 849	109 577 662	123 802 872	134 621 848
TOTAL DE L'ACTIF	75 058 524	92 961 849	109 577 662	123 802 872	134 621 848
Passif	2023	2024	2025	2026	2027
A. Capitaux propres	74 332 939	85 096 130	91 775 470	86 160 156	89 755 744
V. Résultats reportés	0	17 332 939	28 096 130	34 775 470	29 160 156
VI. Résultat de l'exercice	17 332 939	10 763 191	6 679 341	-5 615 314	3 595 588
C. Provisions techniques	725 585	7 865 720	17 802 191	37 642 716	44 866 104
TOTAL DU PASSIF	75 058 524	92 961 849	109 577 662	123 802 872	134 621 848

FIGURE B.15 – Bilan de la captive en Irlande pour l'option 2

BILAN					
Actif	2023	2024	2025	2026	2027
C. Placements	77 514 258	96 934 782	114 484 386	128 689 196	140 001 428
TOTAL DE L'ACTIF	77 514 258	96 934 782	114 484 386	128 689 196	140 001 428
Passif	2023	2024	2025	2026	2027
A. Capitaux propres	57 000 000	57 000 000	57 000 000	57 000 000	57 000 000
C. Provisions techniques	20 514 258	39 934 782	57 484 386	71 689 196	83 001 428
III. Provision pour sinistres	725 585	7 865 720	17 802 191	37 642 716	44 866 104
V. Provision pour égalisation	19 788 673	32 069 063	39 682 195	34 046 480	38 135 324
TOTAL DU PASSIF	77 514 258	96 934 782	114 484 386	128 689 196	140 001 428

FIGURE B.16 – Bilan pour la captive en France, avec PFS, pour l'option 2

Glossaire

ACPR Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution.

BE Provisions Best Estimate.

BSCR Capital requis de base de solvabilité (sans les ajustements et le risque opérationnel) selon Solvabilité II.

CAT NAT Catastrophes Naturelles.

DDPE Dommages Directs et Pertes d'Exploitations.

GAREAT Gestion de l'Assurance et de la Réassurance des risques Attentats Et Actes de Terrorisme.

IARD Incendie, Accidents et Risques Divers.

IBNR *Incured But Not Reported.*

iid Indépendantes et Indentiquement distribuées.

LoB Line of Business, Ligne d'activité.

MCR Capital minimal requis selon Solvabilité II.

ORSA *Own Risk and Solvency Assessment.*

PESTEL Analyse Politique, économique, sociale, technologique, écologique et légale.

PFS Provision pour Fluctuation de la Sinistralité.

POT *Plot Over Threshold.*

QRT *Quantitative Reporting Templates.*

RC Responsabilité Civile.

RCF *Reserve for claims fluctuation.*

SCR Capital requis de solvabilité selon Solvabilité II.

Table des figures

1	Tableau des différences entre les captives d'assurances et de réassurances . . .	vi
2	Tableau récapitulatif des options pour le segment DDPE.	vii
3	Tableau récapitulatif des options pour le segment RC	vii
4	Tableau des paramètres des lois pour les branches RC et DDPE.	viii
5	Tableau des paramètres des lois pour la branche RC.	viii
6	Tableau récapitulatif des primes et des fonds propres selon les options . . .	ix
7	Tableau des SCR et des capitaux initiaux à la création de la captive. . . .	ix
8	Différences entre les domiciles des captives	x
9	Évolution de l'actif de la captive pour l'option 1 selon un scénario prédéfini. .	x
10	Chart of differences between captive insurance and reinsurance companies	xiii
11	Options recap for PDBI.	xiii
12	Options recap for PCL.	xiv
13	Frequency Distribution parameters of claims depending options.	xiv
14	Claims value Distribution parameters depending options.	xv
15	Premium recap depending options.	xv
16	SCR and initial assets at the captive creation	xvi
17	Captive domiciliations differences.	xvi
18	Asset evolution depending of the domiciliation, for option 1.	xvii
1.1	Analyse SWOT	5
1.2	Évolution des primes d'assurances.	6
1.3	Montage d'une captive d'assurance	10
1.4	Montage d'une captive de réassurance	12
1.5	Tableau des différences entre les captives d'assurances et de réassurances . .	12
1.6	Emploi du temps de mise en place d'une captive de réassurance.	14
1.7	Bilan prudentiel.	15
1.8	Agrégation des risques en formule standard pour le groupe ABC	18
2.1	Répartitions des valeurs assurables dans le monde du groupe ABC	22
2.2	Répartitions des valeurs assurables dans le monde du groupe ABC	26
2.3	Répartition de la charge de sinistralité pour le groupe ABC, en excluant le sinistre de 2011 et les sinistres nuls.	27
2.4	Répartition de la charge de sinistralité pour le groupe ABC, prenant en compte l'ensemble de la sinistralité.	28

2.5	Répartition du chiffre d'affaires du groupe ABC par région du monde. . .	28
2.6	Répartition de la charge de sinistralité RC pour le groupe ABC après exclusion des sinistres nuls.	29
2.7	Répartition de la charge de sinistralité RC pour le groupe ABC prenant en compte l'ensemble des données.	29
2.8	Modulation des sinistres DDPE	33
2.9	Résultat du modèle <i>As-If</i> sur le programme DDPE, sinistre majeur de 2011 exclu.	34
2.10	Évolution du chiffre d'affaires du groupe ABC depuis 2011	35
2.11	Résultat de la modulation du <i>As-If</i> sur le programme RC	36
2.12	Résultat du modèle <i>As-If</i> sur le programme RC	37
2.13	Tableau des tests d'adéquations pour le segment DDPE.	48
2.14	Comparaison des distributions DDPE et lognormale	48
2.15	Comparaison des distributions DDPE et de Weibull	49
2.16	Comparaison des coûts DDPE et de la loi choisie.	50
2.17	Quantiles, moyenne et écart type des simulations de la sinistralité liée à la branche DDPE	51
2.18	Quantiles et moyenne de la méthode <i>As-If</i> pour la branche DDPE	51
2.19	Tableau récapitulatif des options pour le segment DDPE.	51
2.20	Quantiles de rétention et prime pour l'option 1 - DDPE	52
2.21	Quantiles de rétention et prime pour l'option 2 - DDPE	52
2.22	Tableau des primes captives selon les options.	52
2.23	Tableau des tests d'adéquations à une loi pour le segment RC.	53
2.24	<i>Mean Residual Life Plot</i> pour la sinistralité RC	54
2.25	Estimateur de Hill	55
2.26	Tableau des paramètres estimés selon les différentes lois pour la branche RC.	56
2.27	Comparaison des distributions RC et les lois usuelles	56
2.28	Comparaison des distributions RC et les lois usuelles avec une échelle logarithmique.	57
2.29	Tableau des tests d'adéquations pour le segment RC.	57
2.30	<i>QQ-plot</i> entre la distribution des sinistres et la loi lognormale couplé à la loi GPD.	58
2.31	Comparaison des coûts RC et de la loi choisie.	58
2.32	Quantiles, moyenne et écart type des simulations de la sinistralité liée à la branche RC	59
2.33	Quantiles et moyenne de la méthode <i>As-If</i> pour la branche RC	59
2.34	Tableau récapitulatif des options de rétention pour la RC.	60
2.35	Quantiles de rétention et prime pour l'option 1 - RC	60
2.36	Quantiles de rétention et prime pour l'option 2 - RC	60
2.37	Tableau des primes selon les options.	60
3.1	Fonctionnement du <i>cash-pooling</i>	62

3.2	Pieuvre du calcul du SCR pour une captive	63
3.3	Tableau récapitulatif des options pour le segment DDPE.	65
3.4	Tableau récapitulatif des options pour le segment RC	65
3.5	Tableau des <i>Loss ratio</i> selon les lignes d'assurances.	66
3.6	Tableau du risque de prime et de réserve selon les options.	66
3.7	Tableau du risque catastrophe non-vie selon les options.	66
3.8	Tableau du risque non-vie selon les options.	67
3.9	Tableau du risque de défaut selon les options.	67
3.10	Tableau du risque de marché selon les options.	68
3.11	Tableau du risque opérationnel selon les options.	68
3.12	Tableau des BSCR et SCR à la création de la captive.	68
3.13	Illustration du SCR pour une captive	69
3.14	Tableau des capitaux initiaux nécessaires à la création de la captive.	70
3.15	Carte des principaux domiciles européens pour une captive.	70
3.16	Coefficient multiplicatif de la PFS pour chaque ligne d'assurance.	71
3.17	Plafond pour la PFS.	71
3.18	Différences entre les domiciles des captives	73
3.19	Tableau récapitulatif des primes et des fonds propres selon les options	73
3.20	Scénario du <i>business plan</i> pour la RC.	74
3.21	Scénario du <i>business plan</i> pour le segment DDPE.	74
3.22	Compte technique France sans PFS pour l'option 1	74
3.23	Compte technique Luxembourg pour l'option 1	75
3.24	Compte technique Irlande pour l'option 1	75
3.25	Compte technique France avec PFS pour l'option 1	75
3.26	Bilan de la captive en France sans PFS pour l'option 1	76
3.27	Bilan de la captive au Luxembourg pour l'option 1	76
3.28	Bilan de la captive en Irlande pour l'option 1	77
3.29	Bilan pour la captive en France, avec PFS, pour l'option 1	77
3.30	Évolution des actifs en fonction des domiciles, Option 1.	78
3.31	Évolution des actifs en fonction des domiciles, Option 2.	78
3.32	Paiement de l'impôt sur la PFS après 10 années de souscription de la captive.	79
A.1	Historique de l'inflation selon les pays sinistrés du groupe ABC	83
B.1	Compte technique France sans PFS pour l'option 1	84
B.2	Compte technique Luxembourg pour l'option 1	85
B.3	Compte technique Irlande pour l'option 1	85
B.4	Compte technique France avec PFS pour l'option 1	86
B.5	Bilan de la captive en France sans PFS pour l'option 1	86
B.6	Bilan de la captive au Luxembourg pour l'option 1	87
B.7	Bilan de la captive en Irlande pour l'option 1	87
B.8	Bilan pour la captive en France, avec PFS, pour l'option 1	87
B.9	Compte technique France sans PFS pour l'option 2	88
B.10	Compte technique Luxembourg pour l'option 2	88

B.11 Compte technique Irlande pour l'option 2	88
B.12 Compte technique France avec PFS pour l'option 2	89
B.13 Bilan de la captive en France sans PFS pour l'option 2	89
B.14 Bilan de la captive au Luxembourg pour l'option 2	89
B.15 Bilan de la captive en Irlande pour l'option 2	90
B.16 Bilan pour la captive en France, avec PFS, pour l'option 2	90

Bibliographie

- [1] ACPR. Une première évaluation des risques financiers dus au changement climatique les principaux résultats de l'exercice pilote climatique 2020. https://acpr.banque-france.fr/sites/default/files/medias/documents/20210602_a_s_exercice_pilote.pdf, 2021.
- [2] M. I. Ahmad. Anderson darling and modified anderson darling tests for generalized pareto distribution. 2003.
- [3] P. AILLOT. Théorie des valeurs extrêmes. *Support de cours M2 EURIA*, 2020.
- [4] A. Levy. Solvabilité ii : Exigences quantitatives et impacts comptables sur une société d'assurance mutuelle non-vie. *Mémoire d'Actuariat*, 2012.
- [5] S. Alibert. Calcul du capital économique en orsa, le least square monte carlo en assurance vie. *Mémoire d'Actuariat*, 2012.
- [6] Allianz. Baromètres des risques 2022. <https://www.allianz.mg/presse-et-medias/allianz-madagascar/barometre-des-risques-2022.html>, 2022.
- [7] CAA. Recueil de législation a — n° 211 6 décembre 2007. 2007.
- [8] CCR. L'indemnisation des catastrophes naturelles en france. *CCR*, 2015.
- [9] M. CHERET. Optimisation de l'étape de régression de l'approche lsmc pour le calcul d'un proxy du best estimate dans un modèle interne. *Mémoire Institut des Actuaire*s, 2021.
- [10] Ministère de l'écologie français. Arbitrer le marché de l'assurance à l'aide d'outils art (alternative risk transfer), de la théorie à la pratique : Une application numérique à un cas réel. <https://www.ecologie.gouv.fr/prevention-des-feux-foret>, 2022.
- [11] Institut des Actuaires. Groupe de travail captives - note technique. 2021.
- [12] Code des Assurances. Art. r351-2. 2015.
- [13] Les Echos. Dix choses à savoir sur le risque cyber. <https://www.lesechos.fr/thema/articles/dix-choses-a-savoir-sur-le-risque-cyber-1384002>, 2022.

-
- [14] Emilie DEPREY et Alexandre GODZINSKI. Problématique de seuil dans la modélisation de la sinistralité en réassurance non vie. *Mémoire Institut des Actuaire*s, 1, 2007.
- [15] Olivier MARTIN et Jean BRUCHER. Les captives luxembourgeoises sont-elles prisonnières de leur succès? *Agefi*, 2000.
- [16] Valéria Faure-Muntian. Loi n°2021-1837 du 28 septembre 2021 du projet de réforme du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles. *Journal officiel*, 2021.
- [17] Valéria Faure-Muntian. Projet de loi de finances n° 4482 pour 2022. <https://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/amendements/4482A/AN/772>, 2021.
- [18] A. Fournier. Baromètre ey de l'attractivité de la france 2022. https://www.ey.com/fr_fr/news/2022/05/barometre-ey-de-l-attractivite-de-la-france-2022, 2022.
- [19] IRMI. *Captive History*. *Captive.com*, 2022.
- [20] Ross Law. Captive review 2020. *Captive.com*, 2020.
- [21] L. LEGER. Quel avenir pour les captives d'assurance et de réassurance européennes sous solvabilité 2? *Mémoire ENASS*, 2010.
- [22] D. THACH. Arbitrer le marché de l'assurance à l'aide d'outils art (alternative risk transfer), de la théorie à la pratique : Une application numérique à un cas réel. *Mémoire Institut des Actuaire*s, 2015.
- [23] G. Vial. Historique de garent. *Argus de l'assurance*, 2013.
- [24] WTW. Evolution des primes d'assurances annuelles. *WTW*, 2022.