INSTITUT DE FINANCEMENT DU DÉVELOPPEMENT DU MAGHREB ARABE

Mémoire de fin d'Etudes

Thème :

La tarification de l'assurance incendie :

Synthèse théorique avec application empirique sur des données du « GAT ASSURANCES »

Présenté(e) et soutenu(e) par :

Ines ElKhal El Taief

Encadré(e) par :

Mr. Farouk Kriaa

Etudiant(e) parrainé(e) par :

GAT ASSURANCES

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je souhaite exprimer toute ma gratitude à l'Institut de Financement du Développement du Maghreb Arabe (IFID), ainsi qu'à son corps professoral et administratif.

Je tiens tout d'abord à remercier mon encadrant académique, Monsieur ***Farouk Kriaa****, pour ses précieux conseils, ses encouragements constants et sa disponibilité durant l'élaboration de ce mémoire.*

Je tiens également à exprimer ma plus haute reconnaissance à Monsieur ***Mohamed Dkhili****, Président-Directeur Général de « GAT Assurances », ainsi qu'à mon encadrant professionnel, Monsieur* ***Fédi Jenhani****, pour leurs conseils judicieux qui ont assuré le bon déroulement de ce travail.*

Je souhaite adresser mes sincères remerciements à tout le personnel de mon entreprise de parrainage, « GAT Assurances », et plus particulièrement à Madame ***Ines Baccar*** *de la direction incendie, pour son aide précieuse, sa disponibilité et son soutien, qui ont grandement facilité mon travail.*

Je remercie également toute l'équipe de la direction Réassurance pour leur précieuse collaboration et leur expertise, en particulier Monsieur, ***Tarek Jlassi,*** *sous la responsabilité de Madame****, Azza Hemissi,*** *pour son investissement, sa disponibilité, sa persévérance et son soutien constant****.***

Enfin, je remercie les membres du jury pour leur bienveillance et leur rôle crucial dans l'évaluation de ce travail.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS
SOMMAIRE
LISTE DES TABLEAUX
LISTE DES FIGURES
LISTE DES ABBREVIATIONS
INTRODUCTION GENERALE 1
CHAPITRE PREMIER :..... 3
L'ASSURANCE INCENDIE : UNE SYNTHESE DE LA LITTERATURE :..... 3
Introduction :..... 3
Section 1 : L'activité d'assurance :..... 3
1.1. Définition du concept d'assurance 3
1.2. Le rôle de l'assurance 4
1.3. Fonctionnement de l'activité d'assurance 4
1.4. Les branches d'assurance 5
1.5. Les fondements de l'assurance 6
Section 2 : l'assurance incendie :..... 7
2.1. Historique et définition de l'assurance incendie 7
2.2. Rôle de l'assurance incendie 8
2.3. Spécificité de l'assurance incendie 8
2.4. Evénements, biens et dommages assurés 9
Section 3 : Tarification de l'assurance incendie :..... 12
3.1. Calcul de la prime d'assurance 12
3.2. Complexité de tarification de l'assurance incendie 14
3.3. Tarification à priori et à posteriori 15
Section 4 : Les travaux empiriques sur les modèles de tarification :..... 18
4.1. Les modèles de régression linéaire 18
4.2. Les modèles linéaires généralisées 20
4.3. Les travaux empiriques relatifs à l'assurance incendie 24
Conclusion : 27
CHAPITRE DEUX :MODELISATION DES SINISTRES INCENDIES (APPLICATION DU CAS « GAT ASSURANCES ») :..... 28
Introduction 28

Section1 : Situation actuelle du marché tunisien d'assurances incendie : 28
1.1. Le marché d'assurance en Tunisie : Focus sur la branche incendie..... 28
1.2. Le contrat d'assurance incendie en Tunisie 30
1.3. La tarification de l'assurance incendie en Tunisie 31
Section 2 : GAT ASSURANCES et les Chiffres clés :..... 34
2.1. Présentation de GAT ASSURANCES 34
2.2. Positionnement de GAT ASSURANCES 36
2.3. Les principaux indicateurs de GAT ASSURANCES 36
2.4. Focus sur la branche incendie 38
Section 3 : Analyse empirique, Méthodologie et statistiques descriptives : 39
3.1. Objectif et méthodologie 39
3.2. Présentation de la base de données 40
3.3. Traitement de la base de données 41
3.4. Statistiques descriptives 46
3.5. Analyse univariée et bivariée entre les variables 56
Section 4 : Modélisation de la fréquence et de la sévérité des charges des sinistres : .. 61
4.1. Modélisation de la fréquence 61
4.2. Modélisation du coût moyen 66
4.3. Calcul de la prime pure 75
4.4. Analyse comparative des taux de prime pure 79
Conclusion 82
CONCLUSION GENERALE 83
BIBLIOGRAPHIE 85
LISTE DES ANNEXES 87
ANNEXES..... 88

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : la couverture du dommage direct 11
Tableau 2 : Les Lois usuelles utilisées en GLM : 21
Tableau 3 : Fonctions lien associées à quelques lois de la famille exponentielle : 22
Tableau 4 : Code « Construction » du bâtiment 33
Tableau 5 : Détermination du code de construction 33
Tableau 6 : Fiche de présentation de la GAT ASSURANCES 34
Tableau 7: Classement des quatre premières compagnies d'assurances selon le chiffre d'affaires en M.D 36
Tableau 8 : Les indicateurs clés de la branche incendie de la GAT Assurances en M.D . 38
Tableau 9 : Récapitulatif des familles d'activités : Incendie des Risques d'Entreprises . 42
Tableau 10 : Tableau présentant les quantiles des charges 45
Tableau 11 : Nombre de polices par risque pour les familles d'activités : 47
Tableau 12 : le nombre des sinistres par année 47
Tableau 13 : le nombre des sinistres par famille d'activité 48
Tableau 14 : Le nombre des sinistres par activité assuré relatives à la famille10 : 48
Tableau 15 : Tableau des moyennes et des variances des familles : 53
Tableau 16 : Statistique descriptive des charges graves par famille d'activité 55
Tableau 17 : analyse univariée des variables : 56
Tableau 18 : Coefficient de corrélation entre les charges attritionnels et les capitaux assurés 58
Tableau 19 : Coefficient de corrélation entre les charges graves et les capitaux assurés 59
Tableau 20 : fréquence par activité 63
Tableau 21 : Tableau de critère AIC 65
Tableau 22 : Estimation des coefficients de régression du modèle de fréquence : 65
Tableau 23 : calcul de la sévérité des charges attritionnels par famille d'activité 71
Tableau 24 : calcul de la sévérité des charges graves par famille d'activité 73
Tableau 25 : Tableau de comparaison de AIC : 74
Tableau 26 : pourcentage de répartition de fréquence des sinistres attritionnels et sinistres graves 75
Tableau 27 : calcul de taux de prime nette 76
Tableau 28 : Les taux de prime pure par activité 80

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Le Business modèle de l'entreprise d'assurance 5
Figure 2 : Décomposition de la prime totale 12
Figure 3 : Répartition des primes émises totales par branches d'assurance 29
Figure 4 : Répartition des indemnisations réglées par branches d'assurance..... 29
Figure 5 : Tarification analytique 32
Figure 6 : Les indicateurs clés de GAT Assurances en M.D 36
Figure 7 : Portefeuille de GAT ASSURANCES 2022 37
Figure 8 : : Nuage des points des charges des sinistres 45
Figure 9 : Répartition du chiffre d'affaires par famille d'activité 46
Figure 10 : Pourcentage de répartition des charges de sinistres totales par famille d'activité 49
Figure 11 : Répartition des charges de sinistres annuelle par famille d'activité 50
Figure 12 : Distribution des charges des sinistres attritionnels 52
Figure 13 : Histogramme et Statistiques des charges des sinistres attritionnels 52
Figure 14 : Distribution des charges des sinistres graves 54
Figure 15 : Histogramme et Statistiques des charges des sinistres graves 54
Figure 16 : Relation entre les charges des sinistres attritionnels et les capitaux assurés 57
Figure 17 : Relation entre les charges des sinistres graves et les capitaux assurés 59
Figure 18 : Estimation des coefficients de régression du modèle de fréquence 62
Figure 19 : statistiques descriptives des charges des sinistres attritionnels 67
Figure 20 : critère graphique du choix de loi de probabilité 67
Figure 21 : La distribution de la loi Log-Normal 68
Figure 22 : Résultat du test de Loi de probabilité 68
Figure 23 : Estimation des coefficients de régression du modèle de coût moyen des charges attritionnels 69
Figure 24 : les résultats empiriques du test de loi Log_Normal 72
Figure 25 : Estimation des coefficients de régression du modèle de coût moyen des charges graves 73
Figure 26 : Estimation des coefficients de régression du modèle de coût moyen 74

LISTE DES ABBREVIATIONS

AIC	Critère d'Information d'AKAIKE
CGA	Comité Général des Assurances
FAj	Famille d'activité j ; pour i=1…11
FA1	Famille d'activité 1 : Extraction et préparation des minerais et minéraux divers, de combustibles minéraux solides. Métallurgie
FA2	Famille d'activité 2 : Production de matériaux de construction, céramiques. Industrie de verre
FA3	Famille d'activité 3 : Travaux des métaux, industries électriques, carrosserie et réparation de véhicules en tout genre, Garages
FA4	Famille d'activité 4 : Industries chimiques et para-chimiques, Transformation de matières plastiques et de caoutchouc
FA5	Famille d'activité 5 : Industries textiles, Bonneteries, Confection de vêtements et autres articles textiles
FA6	Famille d'activité 6 : Industries du papier et du carton, industries du cuir et du délainage
FA7	Famille d'activité 7 : Industries du bois
FA8	Famille d'activité 8 : Industries Agroalimentaires
FA9	Famille d'activité 9 : Traitement des déchets urbains
FA10	Famille d'activité 10 : Autres Risques d'Entreprises
FA11	Famille d'activité 11 : Services généraux et risques annexes concourant l'exploitation de l'établissement assuré
FTUSA	Fédération Tunisienne des Sociétés d'Assurances
GAT	Groupe des assurances en Tunisie
GLM	Generalized Linear Model : Modèle linéaire généralisé
P.P	Prime Pure

INTRODUCTION GENERALE

L'assurance est un pilier fondamental de la gestion des risques dans les sociétés contemporaines. Elle permet de faire face à l'incertitude en offrant une couverture contre les divers aléas auxquels les individus et les organisations peuvent être confrontés. Les risques, omniprésents dans notre quotidien, sont variés et peuvent engendrer des conséquences significatives sur le plan matériel, financier ou humain.

Selon Paulin (2007) : « L'assurance consiste à mutualiser les risques en pratiquant l'inversion du cycle de production : les primes sont collectées avant la survenance des sinistres, ce qui permet de gérer l'incertitude et de garantir une protection contre des événements aléatoires. »

Le fonctionnement de l'assurance repose sur un équilibre complexe entre la collecte des primes et la gestion des risques. Les assureurs utilisent des modèles statistiques et des analyses actuarielles pour évaluer les risques et déterminer les primes appropriées. La capacité à prédire et à gérer les risques de manière efficace est essentielle pour assurer la viabilité financière des compagnies d'assurance et garantir une couverture adéquate pour les assurés.

Parmi les multiples formes d'assurance, l'assurance incendie se distingue par son importance cruciale dans la protection des biens matériels. En offrant une sécurité contre les dommages causés par le feu, elle joue un rôle essentiel dans la préservation du patrimoine des particuliers et des entreprises. Elle est également l'une des formes d'assurance les plus anciennes, née au XVIIe siècle après le grand incendie de Londres en 1666. Cet événement a marqué un tournant dans la gestion des risques, aboutissant à la création de la première compagnie d'assurance incendie en 1680. Ce développement historique souligne l'importance durable de cette assurance dans la protection contre les pertes catastrophiques.

Aujourd'hui, la branche incendie revêt une telle importance qu'elle rend le marché concurrentiel. De ce fait, les assureurs doivent non seulement fournir une couverture adéquate, mais aussi se démarquer par des offres tarifaires attractives et bien adaptées à leurs portefeuilles de clients. Théoriquement, il s'agit d'un risque d'intensité, caractérisé par une faible probabilité d'occurrence mais un impact potentiellement très élevé sur les biens assurés.

En Tunisie, l'assurance incendie est obligatoire par la loi, elle impose à tout propriétaire de souscrire une couverture adaptée. Ce contrat repose sur la garantie de base « incendie », qui couvre les dommages causés par un incendie, offrant ainsi une protection essentielle pour les biens immobiliers et commerciaux. Cette obligation légale vise à assurer une sécurité minimale contre les risques d'incendie, préservant ainsi le patrimoine des particuliers et des entreprises.

Dans la pratique, les assureurs utilisent le traité d'assurance pour effectuer la tarification analytique. Cela leur permet d'ajuster les tarifs en fonction des risques spécifiques couverts, garantissant ainsi une gestion précise et adaptée des coûts liés à l'assurance incendie.

Toutefois, l'efficacité de cette méthode est mise à l'épreuve par des défis contemporains. L'augmentation des incendies due au changement climatique et l'urbanisation croissante complexifient la gestion des risques et la tarification. Ces évolutions exigent des assureurs qu'ils adaptent leurs méthodes de tarification pour refléter plus précisément les nouveaux risques

auxquels ils sont confrontés, en proposant des tarifs toujours plus ajustés aux réalités actuelles des assurés.

Face à ces défis, GAT ASSURANCES nous a confié un projet de fin d'études visant à modéliser la garantie incendie en Dommages Aux Biens. Ce projet a pour but de répondre aux questions suivantes :

- **Quelles données déterminantes doivent être collectées et analysées pour une gestion optimale du risque incendie ?**
- **Comment concevoir un modèle de tarification pertinent de la garantie incendie qui reflète avec précision le niveau de sinistralité des assurés ?**
- **Quels critères déterminants peuvent influencer la prime pure de la garantie incendie, en tenant compte des différences entre les modèles de fréquence et de coût moyen ?**
- **Comment déterminer la prime pure de la garantie incendie à partir du modèle ?**

Pour répondre à cette problématique, notre objectif principal est d'analyser le système de tarification de l'assurance incendie en Tunisie en utilisant des modèles de tarification appliqués par les actuaires à l'échelle mondiale.

À partir des données sur les contrats d'assurance incendie, nous allons modéliser la fréquence et le coût moyen des sinistres en fonction de différentes variables. Pour cela, nous utiliserons un modèle linéaire généralisé (GLM) pour le coût moyen et un modèle Logit binaire pour la fréquence. Pour ce faire, nous allons proposer des tarifs adaptés aux divers risques présents dans le portefeuille incendie de GAT ASSURANCES, en nous basant sur les données couvrant une période de 8 ans, de 2016 à 2022, et qui concernent à la fois les entreprises et les particuliers.

D'une manière plus détaillée, les objectifs de ce mémoire sont les suivants :

- ✓ **Présenter une synthèse de la littérature sur la tarification spécifique de l'assurance incendie**
- ✓ **Mener une analyse empirique sur des données spécifiques de GAT ASSURANCES permettant de tarifier la garantie incendie en fonction de ses différents critères**

Pour atteindre ces objectifs, ce mémoire sera subdivisé en deux chapitres. Le premier chapitre abordera les concepts clés et les fondements théoriques de la tarification en assurance incendie, tout en présentant un ensemble de travaux empiriques pertinents réalisés par des experts pour d'autres pays. Le deuxième chapitre sera dédié essentiellement à l'application empirique, centrée sur l'analyse statistique et sur la modélisation de la sinistralité incendie au sein de la compagnie GAT Assurances. L'analyse économétrique adoptant la modélisation GLM sera suivie d'un ensemble de commentaires et d'interprétations des résultats obtenus.

CHAPITRE PREMIER :

L'ASSURANCE INCENDIE : UNE SYNTHESE DE LA LITTERATURE :

Introduction :

Les mutations de l'environnement économique et des secteurs industriels ont amplifié les risques susceptibles de compromettre la pérennité des entreprises, entravant ainsi la capacité des entrepreneurs à accomplir leurs missions. Dans ce contexte, une couverture adéquate contre ces risques devient impérative pour préserver la stabilité des entreprises, mettant ainsi en lumière l'importance de l'activité d'assurance.

Afin d'approfondir la compréhension de ces enjeux, il est nécessaire de définir et d'implémenter certains concepts fondamentaux. Cette démarche permettra de saisir pleinement l'objet et la finalité de ce travail. A cette occasion que le choix a été de commencer par un premier chapitre qui présente une analyse théorique des concepts clés sur l'assurance incendie dans lequel nous nous intéressons à la notion de tarification au sein d'une compagnie d'assurance.

En plus de cette introduction, ce chapitre est structuré en trois sections, suivies d'une conclusion. La première section présente des généralités sur le concept de l'assurance, son mode de fonctionnement et son rôle. La deuxième section se concentre sur la branche d'assurance incendie en mettant en avant ses spécificités par rapport aux autres branches. La troisième section explore la tarification de l'assurance incendie ainsi que les études empiriques et statistiques utilisées dans ce processus. Enfin, la conclusion apportera un ensemble de réflexions sur le thème abordé.

Section 1 : L'activité d'assurance :

1.1 . Définition du concept d'assurance :

D'après Pedro de Santarém (1936), un jurisconsulte portugais et auteur d'un des premiers écrits dédiés à l'assurance maritime, il affirme que l'assurance peut être conceptualisée comme :
« Convention par laquelle, le prix d'un risque ayant été convenu, l'un prend pour lui le risque de l'infortune de l'autre ».

Plus récemment, de nombreux auteurs ont tenté de définir le concept d'assurance, comme c'est le cas pour Yeatman (1999): « l'assurance est l'organisation rationnelle d'une mutualité de personnes soumises à l'éventualité de réalisation de même risque qui, par leur contribution financière, par ceux d'entre eux qui sont effectivement frappés par le risque ».

Selon Latrasse (2002), on pourrait définir la procédure d'assurance comme « Une réunion de personnes qui craignant l'arrivée d'un événement dommageable pour elles, se cotisent pour permettre à ceux qui seront frappés par cet événement de faire face à ses conséquences ».

En fait, les formulations antérieures nous incitent à converger vers la notion d'une entité assurantielle engagée dans la couverture et la gestion des risques à travers de contrats d'assurance regroupant une diversité d'assurés. Ce mécanisme opère à travers un pool financé par les cotisations perçues des souscripteurs. Dans cette perspective, l'assurance se profile en tant qu'opération financière dont la finalité réside dans la facilitation de l'indemnisation des préjudices subis par les individus.

.

1.2 . Le rôle de l'assurance :

La croissance exponentielle des risques dans le monde met en évidence l'indispensabilité de l'activité d'assurance. En effet, l'assurance joue un rôle fondamental dans l'économie en offrant une protection financière contre les risques et les incertitudes auxquelles les individus, les entreprises et même les gouvernements se trouvent confrontés, qu'il s'agisse de catastrophes naturelles, des incendies ou d'évènements imprévisibles. Cette complexité accrue rend l'assurance essentielle en tant que mécanisme de gestion des risques en permettant de transférer ces derniers aux compagnies d'assurance.
En outre, l'assurance ne répond pas seulement aux risques existants mais elle encourage également la prévention et la mitigation des risques par le biais de politiques incitatives, L'assureur engage contractuellement l'assuré à respecter diverses obligations en matière de prévention. Ces initiatives des compagnies d'assurance jouent un rôle crucial dans la réduction des sinistres, notamment en ce qui concerne les incendies.

1.3 . Fonctionnement de l'activité d'assurance :

L'assurance possède plusieurs dimensions : collective, individuelle, sociale et économique. En effet, l'assurance peut être définie comme l'opération par laquelle, l'assureur, s'engage moyennant une rémunération « **prime** » à payer une prestation « **capital assurée** » à **l'assuré** en cas de réalisation d'un risque.

Selon L'article 1er des codes des Assurances, le contrat d 'assurance est défini comme suit :

« Le contrat d'assurance est la convention par laquelle une entreprise d'assurance ou assureur s'engage, en cas de réalisation du risque ou au terme fixé au contrat, à fournir à une autre personne appelée assurée une prestation pécuniaire en contrepartie d'une rémunération appelée prime ou cotisation ».

L'activité d'assurance est une activité très particulière qui se caractérise par un cycle de production inversé dont lequel l'assureur s'engage à couvrir des risques pour lesquels il ne connaît pas avec certitude le coût et la date de réalisation en contrepartie d'une prime fixée à la souscription du contrat. (Paulin, 2007)

Cette particularité impose aux assureurs une organisation adaptée et qui met en évidence l'existence de trois cycles :

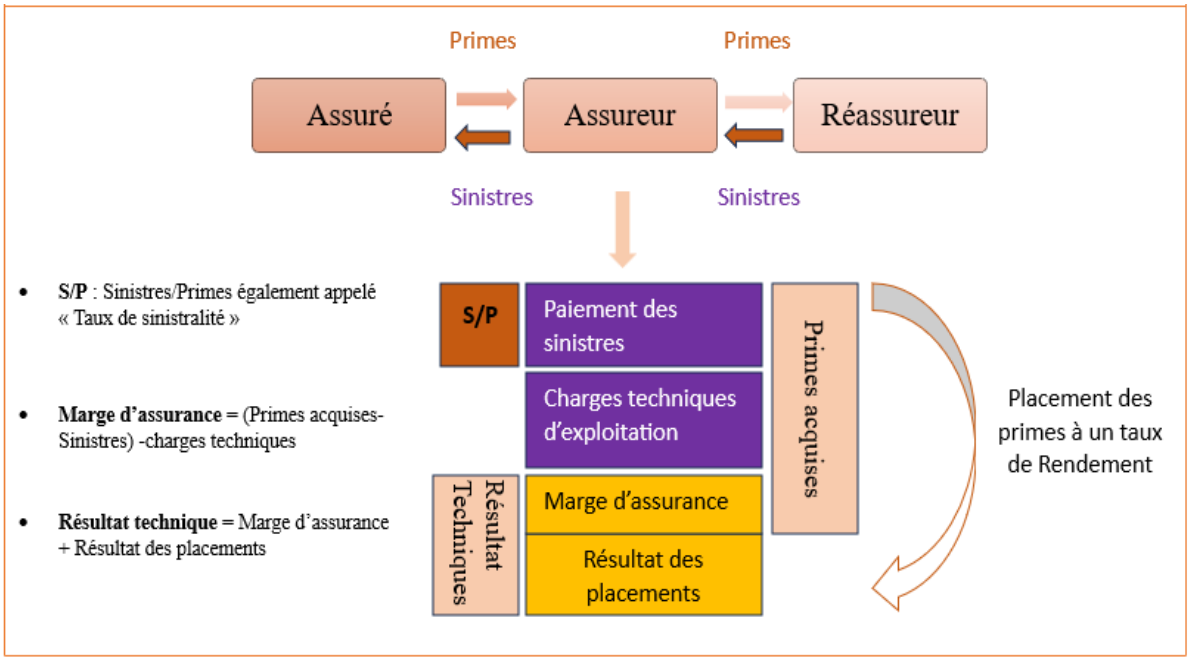
- Le cycle de production : il regroupe les opérations de souscription de contrats, l'émission et de recouvrement de primes

- Le cycle des sinistres : il comprend les opérations d'enregistrement de déclarations de sinistres, d'évaluation des couts et des éventuels recours et de règlements des indemnités.

- Le cycle financier : Les primes encaissées par les compagnies d'assurance donnent lieu à la constitution de provisions pour honorer les engagements futurs. Les assureurs sont tenus de détenir des placements à leurs actif selon une structure réglementée (catalogue de placement) afin d'assurer à la fois la solvabilité et la rentabilité financière.

Le Business modèle d'une compagnie d'assurance peut être représenté comme suit :

Figure 1 : Le Business modèle de l'entreprise d'assurance :



Source : cours Entreprise d'assurance

1.4 . Les branches d'assurance :

On distingue **2 grands types de contrats d'assurances**, bien que plusieurs puissent être couverts simultanément par le même contrat (**multirisque**).

❖ L'assurance de dommages :

L'assurance de dommages est une catégorie d'assurance qui couvre les pertes financières liées aux dommages matériels subis par les biens assurés. Elle vise à indemniser l'assuré en cas de sinistre entraînant des dommages ou des pertes matérielles. Cette assurance peut couvrir une gamme variée de biens, tels que les habitations, les véhicules, les biens commerciaux, etc.

Cette assurance donne droit à une indemnité, équivalent au montant du préjudice dû à un événement accidentel et involontaire appelé sinistre :

- Soit **assurance de tiers** : responsabilité civile..…
- Soit **assurance de biens** : contre les accidents, incendies, vols (automobile, habitat,…) c'est **l'IARD** (Incendie, Accident et risques divers)
- Soit **assurances construction** : assurance dommages à l'ouvrage et assurance décennale.

❖ **L'assurance de personnes :**

L'assurance de personne concerne la protection financière liée à la vie, à la santé et à la capacité de gain d'un individu. Elle vise à offrir une tranquillité d'esprit financière en cas d'événements imprévus.

Les assurances de personnes visent à protéger l'assuré de divers risques :

- En cas de survie : elles proposent **des assurances vie** avec des options de capitalisation, permettant le versement d'un capital ou d'une rente à partir d'une date fixée au préalable.
- En cas de décès : elles offrent des **assurances décès** qui prévoient le paiement d'un capital aux bénéficiaires.
- Elles incluent également **des assurances maladie :** les assurances d'hospitalisation, les complémentaires santé et les contrats couvrant les accidents individuels….
- Elles couvrent d'autres types de risques comme la perte de revenu due à une incapacité, invalidité ou le décès accidentel.

1.5 . Les fondements de l'assurance :

Les principes fondamentaux de l'opération d'assurance se décomposent en deux niveaux : le plan juridique et le plan technique, de la manière suivante :

1.5.1. Les fondements juridiques :

D'un strict point de vue juridique, conformément à l'article 2 de l'ordonnance n°95/07 du 25 janvier 1995 sur les assurances, modifiée et complétée par la loi n°06/04 du 20 février 2006.

« L'assurance est, au sens de l'article 619 du Code civil, un contrat par lequel l'assureur s'oblige, moyennant des primes ou autres versements pécuniaires, à fournir à l'assuré ou au tiers bénéficiaire au profit duquel l'assurance est souscrite, une somme d'argent, une rente ou une autre prestation pécuniaire, en cas de réalisation du risque prévu au contrat ».

Selon cette définition, on peut identifier trois composantes essentielles définissant le contrat d'assurance : le risque assuré, la prime versée et la prestation fournie par l'assureur.

Le risque représente un événement incertain auquel l'assuré cherche à se prémunir en souscrivant un contrat d'assurance. Il se caractérise par son caractère imprévisible, futur et indépendant de la seule volonté de l'assuré. Ces trois conditions doivent être remplies pour que le risque soit considéré comme assurable.

La prime correspond au montant que l'assuré s'engage à verser à l'assureur en contrepartie de la couverture du risque.

La prestation de l'assureur : c'est la contrepartie de la prime. Elle correspond à l'indemnisation que l'assureur doit payer à l'assuré en cas de survenance du sinistre déterminé dans le contrat.

1.5.2. Les fondements techniques :

L'assurance se démarque des autres secteurs par son caractère mutualiste des risques et l'utilisation de calculs statistiques pour évaluer la probabilité de réalisation des sinistres.

- La mutualité des risques :

L'assureur n'engage sa responsabilité que lorsqu'il réussit à instaurer une mutualisation adéquate des risques, caractérisée par la possibilité de compensation entre les risques positifs et négatifs. Cette mutualisation opère lorsque l'assureur parvient à construire un portefeuillet aux critères suivants :

- Homogénéité des risques
- Sélection des risques
- Dispersion des risques
- Partage des risques (à travers la réassurance, la coassurance)
- Conformité aux pleins de conservation
- Renouvellement des risques.

- Le recours au calcul statistique :

L'assureur gère l'aspect mutualiste des risques en ayant recours à des analyses statistiques. Celles-ci lui permettent d'estimer la probabilité d'occurrence des risques et de mesurer le coût des sinistres. Ces évaluations jouent un rôle déterminant dans la fixation de la prime que les assurés doivent verser.

Section 2 : l'assurance incendie :

2.1 Historique et définition de l'assurance incendie :

Le risque incendie a été tout le temps le centre de préoccupation à la fois aussi bien des pouvoirs publics, des assureurs que des citoyens. Il constitue une véritable menace tant pour l'environnement que pour le patrimoine de l'entreprise. Dans cette perspective que l'assurance incendie figurait parmi les plus anciennes formes d'assurances pratiquées dans le monde : Elle est née en Angleterre à la suite du grand incendie de Londres en 1666.

Un an après le tragique incendie, l'Angleterre a été témoin de la fondation de la première compagnie d'assurance contre les incendies, nommée "Fire Office". En effet, cette entreprise s'est engagée à indemniser les pertes causées par le feu, mais c'est seulement au 19ème siècle que cette assurance a connu son véritable développement en pénétrant aux Etats-Unis et en s'y implantant définitivement sous l'influence des compagnies anglaises.

Afin de se prémunir contre les dangers inhérents à un incendie, les assureurs ont développé une garantie spécifique visant à couvrir de manière efficace les dégâts potentiels résultant de cette menace. Cette assurance, qui relève principalement de la catégorie des assurances de dommages, a pour objectif de garantir la réparation pécuniaire des dommages causés par un incendie. Cela inclut aussi bien les biens mobiliers que les biens immobiliers de l'assuré.
De plus, elle offre une protection dans le cas où l'assuré serait reconnu responsable du sinistre, englobant ainsi la possibilité de réparer les dommages causés aux biens de tierces personnes.

2.2 Rôle de l'assurance incendie :

Les entreprises, en tant que contributeurs majeurs à la richesse nationale, sont confrontées à divers risques qui pourraient compromettre leur pérennité. Afin de préserver cette richesse et de répondre à l'obligation de couverture, les assureurs voient dans l'assurance contre l'incendie une opportunité stratégique pour accroître leurs revenus. En optant pour des polices d'assurances adaptées, les entreprises bénéficient d'une protection essentielle, tandis que les assureurs assument des engagements consignés au passif de leur bilan sous forme de provisions techniques.

Ces provisions, destinées à couvrir les éventuels sinistres, sont étroitement liées aux actifs de l'assureur, représentés par des placements. Ces derniers, intégrés à l'actif du bilan, démontrent la solidité financière de l'assureur et servent de contrepartie aux engagements pris. Ainsi, les placements, considérés comme un canal financier crucial, jouent un rôle majeur dans le fonctionnement du marché financier. En particulier, dans le contexte de l'assurance contre le risque incendie, ces placements contribuent à la croissance du marché financier, stimulant ainsi le soutien financier à l'économie du pays. La symbiose entre la préservation du patrimoine des entreprises, les engagements des assureurs et les investissements sur les marchés financiers s'avère être une dynamique essentielle pour l'apport-directe-ou-indirecte des entreprises d'assurance à l'essor économique d'une nation.

2.3 Spécificité de l'assurance incendie :

L'assurance incendie présente des caractéristiques spécifiques en termes de chiffre d'affaires, de fréquence, de couts de sinistralité, des évolutions économiques et technologiques ainsi qu'aux moyens de prévention par rapport à d'autres formes d'assurances :

- **Le chiffre d'affaires :**

Le chiffre d'affaires de l'assurance incendie dépend directement de la valeur des biens assurés, plus la valeur des biens assurés est élevée, plus le chiffre d'affaires de l'assurance incendie sera important.

- **Les évolutions économiques et le développement immobilier :**

La croissance économique et l'essor de nouveaux projets immobiliers peuvent stimuler la demande d'assurance incendie, car les nouvelles constructions et entreprises cherchent à se prémunir contre les pertes potentielles liées aux incendies. Ces développements contribuent ainsi à façonner le panorama financier de l'assurance incendie.

- **Faible fréquence relative :**

Les sinistres liés aux incendies ont tendance à avoir une fréquence relative plus faible par rapport à d'autres types de sinistres, tels que les accidents de la route ou les sinistres liés à des conditions météorologiques. Cependant, même si les incendies sont moins fréquents, ils peuvent causer des pertes financières substantielles, ce qui souligne l'importance de l'assurance incendie pour la protection contre des événements à fort impact.

- **Impact significatif en cas de survenance de sinistre :**

Bien que les incendies puissent être moins fréquents, ils ont généralement un impact financier majeur lorsqu'ils surviennent. Les dommages causés par un incendie peuvent affecter non seulement les biens assurés mais aussi avoir des répercussions sur les activités commerciales, les foyers et même les communautés locales. Cela met en évidence l'importance de la couverture offerte par l'assurance incendie pour atténuer ces conséquences financières potentiellement dévastatrices.

- **Prévention et gestion des risques :**

Les compagnies d'assurance incendie mettent souvent en place des programmes de prévention et de gestion des risques pour réduire la fréquence des sinistres. Cela peut inclure des inspections régulières, des visites de risque, des conseils aux assurés sur les mesures de sécurité, et des incitations à l'installation de systèmes de protection contre les incendies.

- **Variabilité géographique :**

La fréquence des incendies peut varier considérablement en fonction des zones géographiques. Certaines régions peuvent être plus exposées aux risques d'incendie en raison de conditions climatiques particulières, de la densité de la végétation, ou d'autres facteurs locaux. Les compagnies d'assurance doivent tenir compte de cette variabilité pour ajuster leurs tarifs et leurs politiques en fonction des risques spécifiques à chaque région.

- **Evolution technologique :**

L'évolution des technologies de détection et de prévention des incendies peut également influencer les caractéristiques de l'assurance incendie. Par exemple, l'installation de systèmes de détection avancés peut contribuer à réduire la fréquence des sinistres.

2.4 Evénements, biens et dommages assurés :

2.4.1. Evénements assurés :

La garantie de base du contrat incendie découle de l'article 27 du Code. Au titre de la garantie de base, sont garantis les dommages matériels résultant de l'un des trois événements suivants : L'incendie, explosion et chute de foudre.

- L'incendie : l'incendie a été identifié par le code des assurances comme suit :

« L'assureur contre l'incendie répond de tous dommages causés aux objets assurés par conflagration, embrasement ou combustion. Toutefois, il ne répond pas, sauf convention contraire, de ceux occasionnés par la seule action de la chaleur ou par le contact direct et immédiat du feu s'il n'y a eu ni incendie, ni commencement d'incendie. »

- ❖ Explosion : l'explosion est définie comme suit :

« L'action subite et violente de la pression ou de la dépression de gaz ou de vapeurs, que ceux-ci aient existé avant cette action ou que leur formation lui ait été concomitante »

- ❖ Chute de Foudre :

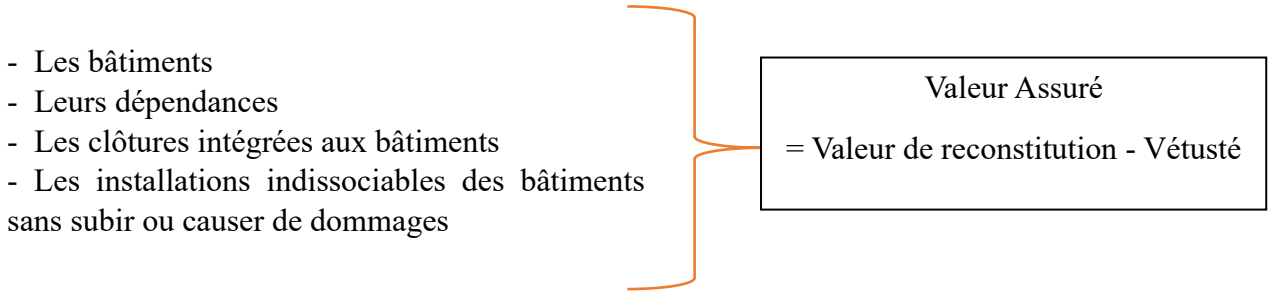
Ce sont les dégâts causés par la chute de la foudre dûment constatée sur les biens assurés. C'est à dire, ceux occasionnés par le choc de la décharge électrique aérienne sur les biens assurés, sans qu'il soit suivi d 'un incendie.

2.4.2. Les biens assurés :

Les biens assurables au titre de contrat incendie sont de deux types : les biens immobiliers et les biens mobiliers.

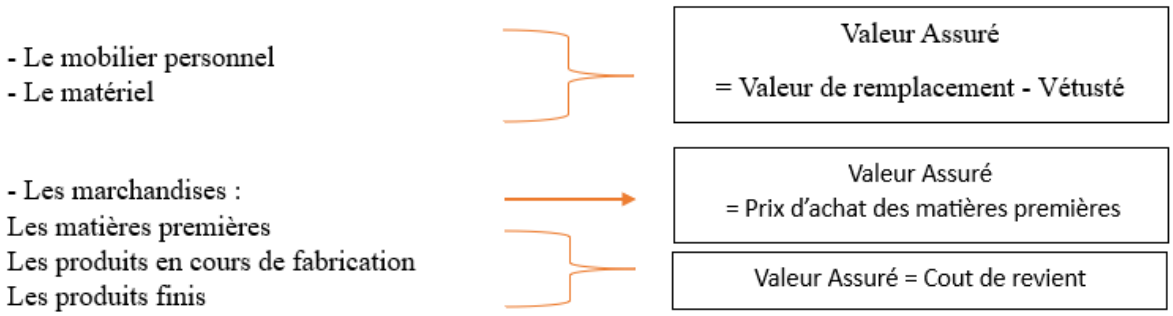
2.4.2.1.Les biens immobiliers :

Les biens immobiliers comprennent les biens qui sont par nature non mobiles (comme les bâtiments) ainsi que toutes les installations qui ne peuvent être séparées ou déplacées sans subir de dommages ou sans causer de dommages à la structure à laquelle elles sont attachées (biens immobiliers par destination). Ainsi, dans le contexte de l'assurance :



2.4.2.2.Les biens mobiliers ou meubles :

Les biens mobiliers comprennent tous les éléments pouvant être déplacés d'un endroit à un autre. Cela englobe les objets qui peuvent se déplacer par eux-mêmes, tels que les animaux, ainsi que les objets inanimés qui nécessitent une force externe pour changer de position. Sont donc les biens mobiliers aux sens de l'assurance :



2.4.3. Les dommages directs :

Ces dommages désignent les pertes directes subies par les biens assurés, incluant leur destruction partielle ou totale. En effet, l'objet principal contrat incendie est de couvrir les biens par leur propriétaire.

2.4.4. Les dommages indirects ou de responsabilités :

Toutes les responsabilités encourues par un assuré ne sont pas systématiquement couvertes par le contrat « Incendie », ce sont des extensions de garantie. Par conséquent, il existe quatre types de responsabilité :

Tableau 1 : la couverture du dommage direct

Responsabilité	Capitaux assurés	Les garanties
Responsabilité à l'égard des voisins et des tiers.	Somme approximative correspondant aux dommages que l'assuré peut causer à des tiers.	« Recours des voisins et des tiers »
Responsabilité du propriétaire à l'égard du locataire.	Somme approximative représentant le montant des dommages que le propriétaire peut occasionner au locataire.	« Recours du locataire contre le propriétaire ».
Responsabilité du locataire à l'égard propriétaire.	Somme approximative représentant le montant des dommages que le locataire peut occasionner au propriétaire.	« Risque locatif »
La renonciation au recours		« Renonciation au recours »

Source : élaboré par l'auteur

2.4.5. Le préjudice immatériel :

La détérioration de la situation financière de l'assuré après un sinistre, même avec une assurance adéquate, est susceptible d'entraîner un préjudice immatériel. L'objectif de cette couverture est de rétablir l'assuré dans la situation financière qu'il aurait eue si le sinistre ne s'était pas produit. On distingue entre autres :

- La privation de jouissance :
- Pour un propriétaire, cela représente les frais qu'il doit supporter pour se loger ailleurs pendant la durée des réparations de son bien assuré.
- Pour un locataire, c'est le coût de son loyer qu'il doit continuer à payer s'il n'est pas exonéré de sa responsabilité dans l'incident.

- La perte de Loyers :
- Pour un propriétaire, il s'agit des loyers perçus qu'il risque de perdre si les locataires parviennent à se dégager de leur responsabilité dans l'incident.
- Pour un locataire, c'est le montant des loyers que le propriétaire ne recevra plus de la part de ses colocataires à la suite d'un sinistre dont l'un d'eux serait responsable.

Section 3 : Tarification de l'assurance incendie :

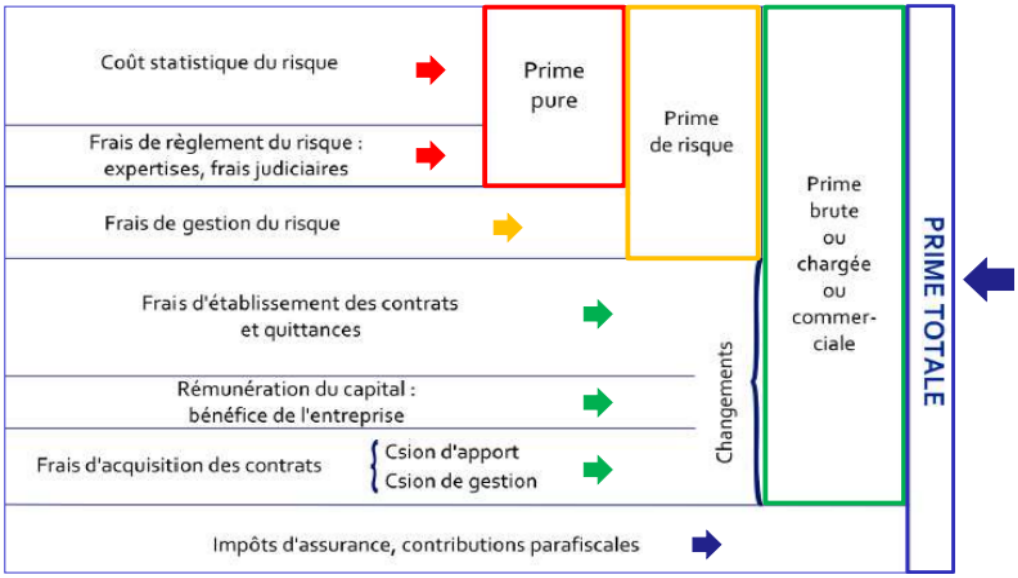
La tarification de la prime d'assurance dépend des objectifs de développement de l'entreprise, des contraintes réglementaires, de leur impact sur l'estimation des couts futurs et sur le transfert de risque.

3.1.Calcul de la prime d'assurance :

D'une manière générale, la prime d'assurance est constituée de plusieurs éléments, la prime pure qui permet de couvrir l'engagement de l'assureur envers l'assuré, les frais de chargement et accessoires, la marge bénéficiaire et les taxes.

Figure 2 : Décomposition de la prime totale :

➢ Le schéma suivant représente les **composantes d'une prime d'assurance :**



Source : Paulin, 2007

3.1.1. La prime pure :

L'estimation du risque d'une entreprise d'assurance repose sur son passé, son expérience et de son portefeuille clients. Ces trois éléments peuvent être utilisés par les compagnies d'assurance pour développer des capacités de modélisation et d'analyse du risque.
En effet, à mesure que ces éléments se multiplient, les estimations statistiques des montants futurs des sinistres se rapprochent davantage de la réalité. Par conséquent, les modèles d'évaluation et d'appréciation du risque sont plus performants.
Cet effet se manifeste par la fixation d'une prime pure appropriée au risque d'incendie, ajustée en fonction de la fréquence et de la gravité de ce risque.

La prime pure est définie par une somme que l'assureur doit disposer en vue d'indemniser ses assurés en cas de réalisation des sinistres. (Paulin, 2007),

Techniquement, le montant de la prime pure est conçu de manière à ce que l'assureur ne réalise ni un gain ni une perte ; l'ensemble des primes pures doit garantir que l'assureur soit capable d'honorer ses engagements. (Charpentier et Denuit, 2009)

Cette prime est calculée généralement par les actuaires : d'un point de vue mathématique, l'espérance mathématique du coût annuel des sinistres déclarés à l'assureur correspond au calcul de la prime pure. Ce calcul est décomposé en deux facteurs de sinistralité : le coût moyen et la fréquence des sinistres, en notant simplement (Noël, 2007). Nous avons alors :

$$\mathbf{E[S=\sum_{i=1}^{N} X_i]= E\ [N]\times E\ [X_i]}$$

Prime pure = fréquence x coût moyen

Sous l'hypothèse que les montants de sinistres X1, X2,… indépendants et identiquement distribués, indépendants de leur nombre N.

N: le Nombre de risques

n: le nombre de sinistres pour un exercice donné

Xi: le coût du *i*ème sinistre

C: le coût moyen d'un sinistre

S: le coût total des sinistres à la charge de l'assurance

A ce stade, il est essentiel de maitriser et de savoir calculer ses notions :

- **Le nombre de sinistres :**

Cette notion représente le nombre de sinistres déclarés par l'assuré. Cette information doit être connue avec précision pour qu'elle soit extrêmement fiable pour les analyses statistiques.

- **La durée d'exposition au risque :**

Il s'agit du nombre de jours pendant lesquels le contrat est exposé à un risque. Concrètement, elle représente la durée qui découle entre la date de début de fin d'effet du contrat. Cette variable permet d'évaluer la période pendant laquelle un portefeuille incendie est exposé à un risque spécifique sur une période donnée. Généralement, la durée d'exposition au risque en assurance incendie est annuelle.

- **La fréquence :**

La fréquence se définit comme le rapport entre le nombre de sinistres et la durée d'exposition au risque sur une période donnée. Elle sert à évaluer la probabilité qu'un sinistre survienne.
Ce ratio est produit par année de la période d'observation et par nature de sinistre. (Ray 2008)

- **Le coût total :**

Cette variable représente le coût total supporté par la compagnie d'assurance. L'analyse des coûts doit prendre en considération le nombre de sinistres générés.

- **Le coût moyen :**

C’est le rapport, pour une période donnée entre le coût total des sinistres nets de recours et de franchise, et le nombre des sinistres. Ce ratio doit être aussi produit par année d’assurance et par nature de sinistre. (Ray 2008)

3.1.2. La prime nette :

La prime nette est constituée de la prime pure à laquelle sont ajoutés tous les coûts et dépenses associés à cette couverture. Sa formule de calcul se présente comme suit :
Prime nette = Prime pure + Frais d’acquisition + Frais de gestion + Charges financières. L'ensemble des frais d’acquisition, de gestion et financiers forme ce que l’on appelle les « frais de chargement ».

3.1.3. La prime totale :

Pour conclure, la prime totale englobe tous les éléments mentionnés précédemment. Sa formule est la suivante : Prime totale = Prime nette + Taxes. Selon la stratégie commerciale de la compagnie d'assurance, cette prime peut être ajustée.

3.2.Complexité de tarification de l’assurance incendie :

L'exploration de la tarification de l'assurance incendie a été au cœur de préoccupations de la communauté de recherche, et plusieurs études convergent sur la complexité inhérente à ce domaine.

La prise en compte de divers facteurs, tels que la variabilité des risques, les modèles actuariels complexes et les implications réglementaires, rend la tarification de l'assurance incendie un sujet complexe et multidimensionnel. En examinant ces recherches, il devient évident que la compréhension approfondie de ces éléments est essentielle pour élaborer des stratégies tarifaires efficaces dans ce secteur spécifique de l'assurance.

- Selon Jarcque Lacour (1987) :

La tarification de l'assurance incendie est un processus complexe qui tient compte de divers aspects, tels que l'inflammabilité des matières, la résistance au feu, la réaction au feu, les caractéristiques propres au risque et l'environnement environnant.

Autrement, l’assureur cherche à sanctionner l’assuré non seulement sur la base d’inflammabilité des matières qui permet de juger les probabilités des fréquences de naissance de l’incendie mais également sur leur résistance et réaction au feu.

→ Le tarif des risques industriels :

En raison de leur dimension, beaucoup d’entreprises industrielles ou commerciales **nécessitent une étude approfondie** en vue de déterminer la plus juste prime. L’assureur prendra ainsi en considération un plus grand nombre d’éléments qui les concernant, tels que les étages, chauffages, voisinages, les dispositifs de prévention et de sécurité, accumulations des valeurs.

→ L’assurance et prévention :

La garantie incendie devient de plus en plus complexe car elle couvre de nombreux risques qui sont très difficile à tarifier à cause de leur grande dimension, les valeurs importantes accumulées, les dangers présentés par les matériaux nouveaux, le manque de compartimentage font craindre en effet des **sinistres catastrophiques** absorbant, dans une très large mesure, le volume des primes.

L’équilibre ne peut être obtenu uniquement en augmentation de primes : la vraie solution est de **réduire les sinistres tant en fréquence qu’en importance**. Les assureurs doivent donc de plus développer une activité préventive.

- Selon Hexamer, Charles A. (1905) :

Les tarifs de l’assurance incendie doivent être suffisants pour générer un revenu assez important afin de couvrir le paiement des pertes, ainsi que les dépenses nécessaires de la compagnie d'assurance, en plus d'un bénéfice raisonnable pour les actionnaires.

- Selon Toesca, R. (2019) :

La spécificité de la garantie incendie réside dans le fait que la majorité des coûts de sinistre résultent d'un nombre limité d'incidents. Ce type de risque se distingue par son niveau d’intensité.

- Fouquet, B (2020) :

Dans la tarification de l'assurance habitation, on analyse séparément les sinistres attritionnels (qui ont une fréquence élevée mais une faible charge sinistre) et les sinistres graves (qui ont une fréquence faible mais une charge sinistre élevée).

3.3.Tarification à priori et à posteriori :

- **La tarification a priori :**

On parle généralement de la technique de segmentation que l’assureur utilise pour différencier la prime, et éventuellement aussi la couverture, en fonction d’un certain nombre de caractéristiques spécifiques du risque à assurer. Cette approche vise à atteindre une meilleure adéquation entre les coûts assumés par l'assureur au profit de la collectivité des preneurs d'assurance et la prime que chaque personne doit payer pour la couverture offerte.

La segmentation ne se réduit pas à la distinction des tarifs, elle inclut également la sélection des risques effectuée par l'assureur lors de la souscription du contrat. Pour cela, on dispose de deux types de variables :

- Des variables explicatives, qui comprennent des éléments d'information liés au risque.
- Des variables endogènes (à expliquer), qui fournissent des informations sur les expériences individuelles passées du risque.

La prise en compte des seules premières variables conduit à la tarification a priori.

Charpentier et Denuit (2009) ont introduit le concept de tarification a priori, qui consiste à classifier les contrats et les assurés en différentes catégories afin que les risques au sein d'une même catégorie soient considérés comme équivalent.

La sélection des critères tarifaires :

En pratique, la base de données peut comporter des variables de différents types : quantitatives continues, quantitatives discrètes ou qualitatives. Ces variables peuvent être nombreuses et corrélés entre elles ; Avant de choisir un modèle paramétrique, il est crucial d'analyser les données sans faire d'hypothèses préalables à leur sujet.

La tarification de l'assurance incendie repose sur plusieurs critères :

- ❖ Les caractéristiques de l'objet assuré :

- Nature de construction :

L'évolution d'un incendie est étroitement liée à la nature des matériaux de construction qui l'alimente, ainsi qu'aux éléments de construction.

Pour traduire sur le plan tarifaire l'influence que la construction d'un bâtiment peut avoir sur les dommages d'incendie, il convient en premier lieu d'identifier les éléments de construction suivants :

• ossature : désigne l'ensemble des composants structurels chargés de supporter le poids et assurer la stabilité.
• murs extérieurs : ce sont les structures verticales qui garantissent l'enveloppe du bâtiment et agissent comme une barrière protectrice.

• planchers et nombre de niveaux : ce sont les éléments qui séparent horizontalement chaque niveau. Habituellement, ces planchers reposent sur des poutres ou des solives.

• couverture : elle protège le bâtiment des intempéries et des incendies extérieurs.

• aménagements et revêtements intérieurs : Seuls les aménagements intérieurs suivants sont considérés dans le cadre du contrat : sous-toitures, faux-plafonds et sous-plafonds.

- Le chauffage :

Le procédé de chauffage utilisé dans les installations immobilières représente un élément crucial dans l'évaluation du risque incendie. Pour les risques à caractère dangereux, des modalités de chauffage appropriées sont requises. La présence de dispositifs de chauffage inadéquats est considérée comme une majoration du risque.

- La nature des installations techniques :

La conformité et les caractéristiques des installations électriques d'une propriété sont des facteurs déterminants dans la détermination des primes d'assurance incendie. Des installations électriques adéquates et conformes aux normes de sécurité réduisent généralement le risque d'incendie, ce qui peut se traduire par des primes d'assurance plus fiables.

- Les dispositifs de protection et de prévention :

Les effets des mesures de prévention et de protection sur la tarification de l'assurance incendie est un élément essentiel dans l'évaluation des risques. La mise en place de dispositifs de prévention tels que les systèmes de détection incendie avancés, les extincteurs, les sprinklers et d'autres moyens de protection contribue à réduire le potentiel de sinistres graves.

- Divers : stockage des produits inflammables :

La manière dont les produits inflammables sont entreposés peut significativement influencer le potentiel d'incidents et la gravité des dommages en cas d'incendie. Des pratiques de stockage conformes aux normes de sécurité, telles que l'utilisation de contenants adéquats, le respect des distances de séparation recommandées, et l'application de mesures de prévention spécifiques, peuvent contribuer à réduire les risques. En conséquence, la tarification de l'assurance incendie pourrait bénéficier de conditions plus favorables en présence de modes de stockage appropriés.

- Communauté, et proximités :

Une entreprise peut être composée de plusieurs structures distinctes, cependant, ces dernières sont généralement implantées à une distance rapprochée les unes des autres. Ces structures peuvent abriter des activités variées, chacune relevant de catégories tarifaires distinctes, ce qui entraîne des taux de prime divergents susceptibles de s'influencer mutuellement. Dans ces cas, l'événement redouté est souvent associé à l'activité la plus risquée. La proximité avec une entreprise présentant des risques accrus peut également augmenter les dangers, notamment en augmentant la fréquence des incidents

- **La tarification à posteriori :**

Généralement, il s’agit de corriger la tarification a priori en tenant compte des observations de la sinistralité : c’est une approche où les primes d'assurance sont ajustées en fonction des expériences de sinistres réelles de l'assuré pendant une période donnée. Plutôt que de fixer une prime initiale basée sur des estimations ou des prévisions, la tarification à posteriori prend en compte les réclamations effectives survenues au cours de la période de couverture.

Section 4 : Les travaux empiriques sur les modèles de tarification :

Les travaux empiriques consacrés à la tarification des primes d'assurance se caractérisent par la diversité des approches méthodologiques et des modèles actuariels adoptés, ainsi que par le choix des variables explicatives intégrées. Néanmoins, ces derniers convergent essentiellement vers un cadre théorique commun qui structure la modélisation actuarielle dans son ensemble.
L'objectif fondamental de ces modèles est d'identifier les variables explicatives et d'analyser les relations qui contribuent à évaluer la tarification.
En effet, ces études s'intéressent à relier la variable à expliquer (Y) à des variables observées (X) qui se présentent sous la forme :

$$Y= f(X_1,.., X_n)$$

D'une manière générale, en assurance IARDS (Incendie, Auto, Risques divers, etc…) les X_i désignent souvent les caractéristiques de l'assuré alors que la variable Y représente soit la fréquence ou le coût moyen des sinistres.

4.1. Les modèles de régression linéaire :

4.1.1. Formalisation du modèle :

Les modèles de régression linéaires sont les modèles utilisés pour mesurer l'impact des variables explicatives sur une variable à expliquer qui représente généralement le nombre des sinistres et/ou les montants des pertes. Soit n le nombre d'assurés pour lesquels nous disposons de données observées :

- D'une variable réponse (Y_i)
- De p variables explicatives $(x_{i1},\ldots,x_{ip})$

} pour i=1,…,n

L'objectif est de trouver une relation entre la variable réponse Yi et les p variables explicatives $(x_{i1}, \ldots,x_{ip})$. En supposant qu'il existe une relation linéaire entre la variable à expliquer et les variables explicatives.

$$y_i=a_0+a_1x_{i1}+\ldots\ldots\ldots+a_p\ x_{ip}+\varepsilon i$$

Pour i= 1…, n

Avec { p : Nombre de variables explicatives,
n : Nombre d'observations

Nous pouvons adopter une écriture qui rend la lecture et la manipulation de l'ensemble plus facile sous forme des équations suivantes :

$$\begin{cases} y_1 = a_0 + a_1 x_{1,1} + \ldots + a_p x_{1,p} + \varepsilon_1 \\ y_2 = a_0 + a_1 x_{2,1} + \ldots + a_p x_{2,p} + \varepsilon_2 \\ \ldots \\ y_n = a_0 + a_1 x_{n,1} + \ldots + a_p x_{n,p} + \varepsilon_n \end{cases}$$

Ces équations peuvent être résumées avec la notation matricielle suivante :

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & x_{1,1} & \cdots & x_{1,p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n,1} & \cdots & x_{n,p} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_p \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{pmatrix}$$

En notant :

- y : est un vecteur de dimension (n, 1)
- x : est une matrice de dimension (n, p+1)
- a : est un vecteur de paramètre de dimension (p+1, 1)
- ε : est un vecteur de termes de dimension (n, 1)

Ou nous pouvons écrire sous la forme matricielle : Y=Xa+ ε

Avec E(ε)=0 et V(ε)= $\boldsymbol{\sigma^2}$ **I**

Notons : I la matrice d'identité de taille n

4.1.2. Limites du modèle de régression linéaire (Gaussien) :

Bien que les modèles linéaires soient relativement simples à mettre en place, leur adéquation à la tarification en assurance est limitée en raison de leur nature simpliste et de leurs hypothèses souvent trop rigides.

→ Ces modèles supposent que la moyenne des couts des sinistres est une fonction linéaire des variables, étant donné que les variables que l'on cherche à modéliser en assurance représentent des coûts qui sont des valeurs dans $\mathbb{R}+$ et le nombre de sinistres qui sont des valeurs dans $\mathbb{N}$.

→ L'application adéquate du modèle linéaire est compromise si les variables représentent une colinéarité.

→ La variable à modéliser n'est pas nécessairement gaussienne :

En assurance, on a souvent recours à d'autres lois continue comme la loi gamma ou log-Normal pour modéliser le coût des sinistres qui sont toujours positifs. En revanche, pour modéliser la fréquence des sinistres, des lois discrètes telles que la loi de Poisson ou les lois hypergéométriques sont souvent utilisées.

En effet, la loi de Poisson est adaptée pour modéliser les événements rares et qui sert essentiellement dans le calcul des primes des assurances et dans l'évaluation des risques, tandis que la loi hypergéométrique est utilisée pour modéliser des situations où l'on sélectionne un échantillon sans remise dans une population finie et qui peut être pertinent dans le contexte de l'assurance pour la tarification et la segmentation des risques.

Pour surmonter ces limitations, on a développé les modèles linéaires généralisés (GLM) qui permettent d'élargir le concept de la régression linéaire et d'analyser la relation entre une variable réponse Y et un ensemble de variables explicatives, indépendamment de la nature de Y, comme l'ont souligné Charpentier et Denuit (2009).

4.2. Les modèles linéaires généralisées :

4.2.1. L'utilité du modèle GLM :

Le Modèle Linéaire Généralisé (GLM) constitue une évolution du modèle linéaire classique. Il a été introduit par Nelder et Wedderburn en 1972. En effet, ce modèle offre la possibilité d'analyser la relation entre une variable à expliquer et un ensemble de variables explicatives, qu'elles soient qualitatives ou quantitatives, comme le soulignent. (Gourieroux, et al., 1984).

Cette approche statistique permet de contourner l'hypothèse de normalité en unifiant le traitement des réponses qui suivent une loi de la famille exponentielle linéaire, telles que la loi Normal, gamma, de Poisson et binomiale. (Charpentier et Denuit, 2009).

Le modèle GLM est appliqué lorsque la variable de réponse n'est pas de nature continue ou bien lorsque la liaison entre la variable endogène et les variables exogènes ne présente pas de linéarité évidente. Par conséquent, une fonction de lien adéquatement choisie permet de mieux modéliser l'effet des variables exogènes sur la variable endogène dans ce modèle.

4.2.2. Les composantes du modèle GLM :

Le modèle GLM se distingue du modèle linéaire gaussien par les trois composantes suivantes :

- Distribution de famille exponentielle,
- Les variables explicatives,
- La fonction de lien.

a) <u>Distribution de famille exponentielle :</u>

La distribution de Y est de la famille exponentielle si seulement si sa densité peut se mettre sous la forme suivante :

$$f(y|\theta,\phi) = \exp\left(\frac{y\theta - b(\theta)}{\phi} + c(y,\phi)\right), \quad y \in \mathcal{S},$$

Avec :

- ✓ S est un sous ensemble de IN ou de IR
- ✓ θ : un paramètre
- ✓ Ø : un paramètre de dispersion
- ✓ La fonction b (respectivement c) est une fonction de θ (respectivement de Ø et y)
- ✓ La fonction b(.) est deux fois dérivable

Voici quelques lois usuelles dont la densité peut se mettre sous forme de la famille exponentielle :

Tableau 2 : Les Lois usuelles utilisées en GLM :

Lois	$\mathcal{Y}$; Ω	Densité/Loi	ϕ	$b(\theta)$	$c(y,\phi)$	$\mu = b'(\theta)$	$V(\mu)=b''(\theta)$	$Var(Y)=\phi V(\mu)$	Lien canonique
Loi Normale $\mathcal{N}(\mu,\sigma^2)$	$\mathbb{R}$; $\mathbb{R}\times\mathbb{R}^{+*}$	$\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}}exp\left[\frac{(y-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$	σ^2	$\frac{\theta^2}{2}$	$-\frac{\left(\frac{y^2}{\phi}+log\,(2\pi\phi)\right)}{2}$	θ	1	σ^2	Identité
Loi Gamma $\mathcal{G}(\mu,\tau)$	$\mathbb{R}^{+*}$; $\mathbb{R}^{+*}\times\mathbb{R}^{+*}$	$\frac{(\frac{\tau}{\mu})^\tau y^{\tau-1}exp\,(-\frac{\tau}{\mu}y)}{\Gamma(\tau)}$	$\frac{1}{\tau}$	$-ln(-\theta)$	$\tau ln(\tau y)-ln(y)$ $-ln\,(\Gamma(\tau))$	$-\frac{1}{\theta}$	$\frac{1}{\theta^2}=\mu^2$	$\frac{\mu^2}{\tau}$	$-\frac{1}{\mu}$ (Inverse)
Loi Poisson $\mathcal{P}(\mu)$	$\mathbb{N}$; $\mathbb{R}^{+*}$	$P(Y=y)=exp\,(-\mu)\frac{\mu^y}{y!}$	1	$exp\,(\theta)$	$-ln(y!)$	$exp\,(\theta)$	$exp(\theta)=\mu$	μ	$ln(\mu)$ (Log)
Loi Binomiale $\frac{\mathcal{B}(n,\mu)}{n}$	$\frac{[\![0;n]\!]}{n}$; $\mathbb{N}\times[0;1]$	$P(Y=y)=\binom{n}{ny}\mu^{ny}(1-\mu)^{n-ny}$	$\frac{1}{n}$	$ln\,(1+e^\theta)$	$ln\,(\binom{n}{ny})$	$\frac{e^\theta}{1+e^\theta}$	$\mu(1-\mu)$	$\frac{\mu(1-\mu)}{n}$	$ln\left(\frac{\mu}{1-\mu}\right)$ (Logit)

Source : Charpentier et Denuit, 2009

b) Les variables explicatives :

À l'instar du modèle linéaire traditionnel, ce modèle est formulé à travers une combinaison des variables explicatives que l'on nomme prédicteur linéaire :

$$E(\boldsymbol{Yi}) = g(\beta 0 + \beta 1 X1 + \cdots + \beta X k)$$

Avec g est la fonction lien.

c) La fonction lien :

Chaque loi de probabilité faisant partie de la famille exponentielle linéaire est attribuée une fonction de lien spécifique, connue sous le nom de fonction de lien canonique, où le paramètre naturel θ est défini égal à η. Ce lien canonique est tel que :

$$g(\mu_i) = \theta_i \text{ avec : } \mu_i = b'(\theta_i) = E(Y_i) \text{ , d'où } g^{-1} = b' .$$

Par conséquent, afin de mettre en place un GLM, il est essentiel de faire deux choix déterminants : le premier concerne la loi régissant la variable à expliquer et le second porte sur la sélection de la fonction de lien.
Le tableau ci-dessous nous renseigne sur les fonctions de lien classique :

Tableau 3 : Fonctions lien associées à quelques lois de la famille exponentielle :

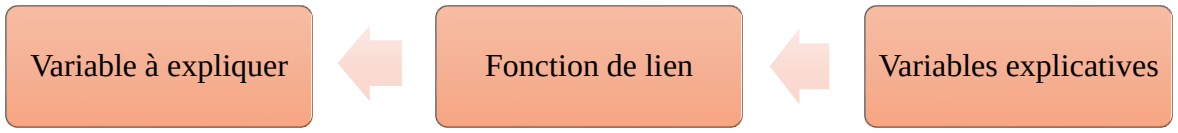
Loi de probabilité	Fonction de lien canonique	
Bernoulli	$\eta = \ln(\frac{\mu}{1-\mu})$	Logit
Binomiale Négative	$\eta = \ln(p)$	Log
Gamma	$\eta = \frac{1}{\mu}$	Inverse
Poisson	$\eta = \ln(\mu)$	Log
Normale	$\eta = \emptyset$	Identité

Source : Charpentier et Denuit, 2009

On peut résumer un modèle GLM par les trois étapes suivantes :

- Etape 1 : Estimer les paramètres $\beta = (\beta 0 \ \ldots \ \ldots \ . \beta p)^{t}$
- Etape 2 : Une fois cette estimation est effectuée, on disposera d'une estimation de $\eta(x)$
- Etape 3 : En choisissant la fonction lien approprié on obtient $E[Y] = g^{-1}(\eta(x))$

Les composantes du modèle GLM peuvent être schématisés de la manière suivante :



Y suit une loi de famille exponentielle

g : Fonction inversible
g(E(Y))= g (μi)= η(x)

Combinaison linéaire des X_i
$\eta = \beta_0 + \sum x_i \beta_j$

4.2.3. Estimation des paramètres par maximum de vraisemblance :

Dans un modèle linéaire généralisé (GLM), l'estimation des paramètres est effectuée par la méthode du maximum de vraisemblance, une approche basée sur le produit des fonctions de densité pour chaque observation. Pour déterminer le maximum de vraisemblance, on doit chercher la valeur des paramètres qui annulent la dérivée de la log-vraisemblance, tout en confirmant que la dérivée seconde est négative pour atteindre son maximum.

En pratique, on privilégie l'utilisation de la log-vraisemblance plutôt que de la vraisemblance directe. En effet, cela consiste à transformer, en cas d'indépendance des observations, le produit des densités en une somme de leurs logarithmes en simplifiant les calculs différentiels. Ainsi, comme la fonction logarithmique est monotone croissante, maximiser la log-vraisemblance est mathématiquement équivalent à maximiser la vraisemblance.

Considérons un ensemble de n observations indépendantes $(y_1, y_2, \ldots, y_n)$, où chaque y_i suit une distribution de la famille exponentielle avec un paramètre spécifique θ_i. La méthode du maximum de vraisemblance utilise ces informations pour estimer de manière optimale les paramètres du GLM, permettant ainsi une analyse précise et robuste des données.

La vraisemblance s'écrit de la manière suivante :

$$l(y;\theta;\emptyset) = \prod_{i=1}^{n} f(y;\theta;\emptyset)$$

Et la log-vraisemblance s'écrit de la manière suivante :

$$L(y;\theta;\emptyset) = lnl(y;\theta;\emptyset) = \sum_{i=1}^{n} \ln f(y;\theta;\emptyset)$$

4.2.4. Critère de sélection du Loi :

Dans certaines situations, plusieurs lois peuvent convenir pour modéliser la variable réponse. Dans ce cas, différents critères sont utilisés pour choisir le modèle qui s'ajuste le mieux aux données.

Les deux critères prédominants sont :

- L'AIC (Critère d'Information d'AKAIKE) ;
- Le BIC (Bayesian Information Criterion).

Ces deux critères sont essentiels pour choisir le modèle optimal en fonction de sa capacité à bien s'adapter aux données « meilleur qualité d'ajustement » et à choisir les variables les plus pertinentes. Dans leurs calculs, ils prennent en compte le nombre de paramètres du modèle et visent à maximiser la log-vraisemblance (« max LL »). Cette dernière est fournie par l'expression suivante :

$$\max_{\beta} LL\,(y, \theta(\beta), \phi) = \max_{\beta} \ln\left(\prod_{i=1}^{n} f(y_i|\theta, \phi)\right)$$

Le critère AIC :

Ce critère de comparaison des modèles est applicable aux modèles estimés par la méthode du maximum de vraisemblance. Il sélectionne le meilleur modèle en minimisant le critère AIC. Ce dernier est calculé pour chaque modèle en utilisant une formule spécifique :

$$\mathbf{AIC = -2\ LL + 2\ (p + 1)}$$

Avec :

LL : est la Log Vraisemblance maximisée du modèle ;
$\boldsymbol{p + 1}$: correspond au nombre de paramètres du modèle ;

- **Le critère BIC :**

De manière similaire, ce critère de comparaison de modèle est déterminé en utilisant la formule suivante :

$$\mathbf{BIC = -2\ LL + (p + 1)\ log(n)}$$

Notons :

LL : est la Log Vraisemblance maximisée du modèle ;

$\boldsymbol{p + 1}$: est le nombre de paramètres du modèle ;

n : est le nombre d'individus composant l'échantillon.

Le choix du modèle optimal est déterminé en recherchant celui qui minimise le critère BIC.

4.3. Les travaux empiriques relatifs à l'assurance incendie :

Les études sur la tarification de la garantie incendie sont à la fois nombreuses et diversifiée. Le paragraphe suivant offrira une synthèse des études préalables traitant ce sujet :

- ✓ ***Les travaux de ALBERT COHEN, GILLES DUPIN and CHARLES LEVI (1985) :***

Cet article porte sur l'évaluation du risque industriel également en France, tout comme les autres pays Européens. En effet, ces chercheurs ont adapté **l'approche de crédibilité** afin de remédier au déficit de ce marché en permettant d'uniformiser leurs méthodes actuarielles de Tarification et dont ils ont fondé leur évaluation de la prime pure en se référant au modèle de **Bühlmann-Straub** pour calculer l'estimation de la prime pure, en utilisant une mesure de volume pour chaque catégorie, notamment les sommes assurées dans ce contexte.

Le modèle de Bühlmann-Straub est une méthode classique de tarification en assurance qui utilise des lois continues pour modéliser les coûts des sinistres comme la loi gamma ou log-Normal et des lois discrètes pour modéliser la fréquence des sinistres telles que la loi de Poisson ou la loi hypergéométrique. Cependant, cette méthode présente des limites et il existe des alternatives plus adaptées à certaines situations en assurance. Parmi ces limites figure l'hypothèse selon laquelle le coût moyen des sinistres est une fonction linéaire des variables, ce qui peut ne pas correspondre à la réalité pour certaines variables en assurance qui prennent des valeurs dans $\mathbb{R}+$ ou $\mathbb{N}$.

- ✓ ***Les travaux de TOESCA (2019) :***

Ce rapport se focalise sur la tarification de l'assurance incendie pour les dommages aux biens des entreprises, où l'offre comprend trois principaux produits : la superficie des locaux, le contenu assuré et le chiffre d'affaires. Ce type d'assurance est particulier car la plupart des coûts sont engendrés par un nombre limité de sinistres. Afin de modéliser ces coûts, l'étude a été divisée en deux parties distinctes : l'analyse des sinistres typiques et celle des sinistres atypiques.

Pour la sinistralité hors atypique, l'application d'une **méthode GLM** s'est avérée nécessaire.
L'approche fréquence-sévérité a été adoptée dans l'utilisation des modèles GLM, impliquant la création de deux GLM distincts : un pour la fréquence et un pour la sévérité des sinistres.
En effet, les distributions classiquement utilisées pour modéliser la fréquence sont les lois de Poisson et Binomiale négative, tandis que pour la sévérité, on considère généralement les lois Gamma, log-Normal ou inverse gaussienne.
Cependant, l'absence de données sur le coût des sinistres individuels dans la base de données d'étude rend impossible l'application de l'approche fréquence-sévérité. De plus, ces modèles se sont historiquement révélés peu performants pour modéliser des risques d'intensité. Ainsi, TOESCA a choisi d'opter pour un modèle basé sur le taux de prime pure, en utilisant la loi de Tweedie.

- **Y : la variable réponse à modéliser** qui correspond au taux de destruction :

$$\text{Taux de destruction Y} = \frac{Charge\ du\ sinistre}{(Contenu\ assuré + valeur\ du\ batiment\ assuré) \times Exposition}$$

La prime pure = le taux de prime pure × les capitaux assurés × l'exposition

De ce fait, modéliser la prime pure de la garantie incendie revient à modéliser le taux de prime pure

- **Sélection des variables :**

Trois variables sont utiles pour aboutir à la variable réponse Y : La charge des sinistres, l'exposition et les capitaux assurés.

Les variables potentiellement explicatives à priori du modèle :la tranche du sinistre maximum, possible, la tranche de surface, la qualité de l'assuré et la famille d'activité.

En effet, TOESCA (2019) a utilisé **la méthode du Lasso** pour faire le choix entre les variables explicatives disponibles et d'éliminer les variables inutiles. Il a ensuite fait recours à **La méthode type forward stepwise**, ou backword stepwise dont il a continué à exploiter ce processus jusqu'à ce que l'indice AIC cesse de diminuer.

En résultat, il a trouvé que les deux variables : la tranche de surface et la famille d'activité ont le pouvoir le plus explicatif du modèle : ils sont significatifs à 10%

En travaillant sur **un risque d'intensité**, une validation des résultats a été entreprise en utilisant d'autres approches de **propension et de crédibilité**, conformément aux travaux de Cohen, Dupin et Levi (1985). Ces techniques ont été particulièrement évaluées sur des sinistres graves, moins courants que les sinistres plus fréquents, mais engendrant des coûts plus élevés

Concernant les sinistralités atypiques, une méthode développée par TOESCA a été adoptée. Cette approche est conforme au degré de mutualisation recherché par l'assureur en créant des classes de risques distinctes à l'aide de **techniques de clustering.** Cette démarche permet

d'apporter une réponse adaptée à la nature spécifique des sinistres atypiques, assurant ainsi une cohérence dans l'analyse globale de la tarification de la garantie incendie.

- ✓ ***Les travaux de Fouquet (2020) :***

Ce mémoire se concentre sur la tarification du produit d'assurance habitation qui aborde distinctement les sinistres attritionnels caractérisés par une fréquence élevée et d'une charge de sinistre faible.

Contrairement aux sinistres attritionnels, les sinistres graves se caractérisent d'une fréquence faible et d'une charge sinistre élevée. L'utilisation de modèles statistiques est préconisée pour modéliser la charge des sinistres attritionnels, visant ainsi une répartition équitable de cette charge.

En revanche, la charge des sinistres graves est uniformément répartie sur l'ensemble des garanties. L'objectif de cette étude est d'estimer cette charge en utilisant des modèles d'apprentissage statistique tels que le modèle logit, les arbres de décision et la descente de gradien**.** Cette approche vise à permettre une répartition non homogène de la charge sur les critères de tarification.

- ✓ ***Les travaux de Deshayes et Khouadja (2021) :***

Afin de modéliser la prime pure de la garantie incendie dans un contrat multirisque professionnelle et de gérer la sinistralité incendie d'un produit d'habitation en simulant la prime pure extrême, ces chercheurs ont employé la méthode de régression linéaire généralisée ou logistique, en se basant sur les travaux de TOESCA (2019), ainsi que la méthode de Gradient Boosting Machine.
La modélisation de la prime pure des sinistres graves est divisée en deux parties :

Dans la première partie, la fréquence d'un sinistre incendie est modélisée à l'aide d'un modèle GLM. Au lieu de modéliser directement la fréquence, il a opté pour une approche en deux étapes : d'abord, la fréquence incendie tous sinistres confondus, puis la probabilité qu'un sinistre soit grave.

La deuxième partie consiste à modéliser le coût moyen des sinistres incendie. Initialement, une méthode basée sur la Théorie des Valeurs Extrêmes a été utilisée, fournissant un coût moyen non segmenté. Cependant, cette approche n'était pas satisfaisante pour le modèle étudié.
Par conséquent, Khouadja (2021) a choisi de modéliser le coût moyen des sinistres graves à l'aide d'un modèle GLM afin d'obtenir un coût moyen spécifique à chaque profil de risque. Une prime pure pour les sinistres graves est ensuite calculée à partir de ces modèles de fréquence et de coût moyen.

- ✓ ***Les travaux de DIALLO (2023) :***

Ce rapport explore une approche innovante de tarification adaptée aux risques volatiles dans le contexte de la garantie incendie pour les risques industriels.

Initialement, une détermination du seuil de gravité a été effectuée en utilisant la **théorie des valeurs extrêmes**. Par la suite, une méthodologie de modélisation a été élaborée, englobant la

création de plusieurs modèles spécifiques. Ce processus inclut des **modèles de propension**, de fréquence, de sinistre attritionnelle, et de sinistre grave. Les trois premiers ont été ajustés avec un modèle linéaire général (GLM), suivi d'un modèle d'arbres de classification et de régression (CART) avec ses extensions à chaque étape.

Pour modéliser la sévérité des sinistres graves, un arbre de régression basé sur le Pareto généralisé a été utilisé. Cette méthode vise à estimer les paramètres ξ et σ dans chaque feuille de l'arbre, qui indiquent respectivement la lourdeur de la queue et l'échelle des sinistres. Les techniques utilisées comprennent CART, Random Forest et Gradient Boosting, pour analyser la fréquence, la sévérité et la propension des sinistres, couvrant divers domaines tels que les risques industriels et les dommages aux biens.

Conclusion :

Le risque incendie a été tout le temps le centre de préoccupation à la fois aussi bien des pouvoirs publics, des entreprises que les assureurs. Pour se prémunir contre ces dangers que peut entrainer un incendie, l'assureur a été amené à confectionner une garantie contre ces risques.

À travers ce chapitre, nous avons procédé à une analyse théorique approfondie de l'assurance incendie, mettant en évidence ses caractéristiques spécifiques telles que la sélection des variables tarifaires et le calcul de la prime pure. En complément, nous avons examiné les outils statistiques pertinents nécessaires à la modélisation de la tarification à partir d'un aperçu succinct des travaux empiriques réalisés par d'autres chercheurs. Ces éléments combinés offrent une perspective holistique sur la complexité du domaine de la tarification de l'assurance incendie, enrichissant ainsi notre compréhension globale de cette discipline.

A l'issue de ce premier chapitre, nous consacrons le prochain chapitre à la modélisation des deux dimensions de la tarification à savoir le coût moyen et la fréquence à travers une base de données de la GAT Assurances. Nous analyserons en profondeur ces deux aspects pour mieux comprendre les dynamiques de sinistralité au sein de l'entreprise, en appliquant des techniques statistiques avancées pour affiner notre approche de tarification. De ce fait, ce deuxième chapitre visera à traduire les concepts théoriques en applications pratiques et à fournir des insights pertinents pour optimiser la gestion des risques et la tarification dans le contexte spécifique de GAT Assurances.

CHAPITRE DEUX :

MODELISATION DES SINISTRES INCENDIES (APPLICATION DU CAS « GAT ASSURANCES ») :

Introduction :

L'assurance incendie représente l'un des piliers fondamentaux de la protection financière et matérielle face aux risques liés aux incendies. Ce secteur, en constante évolution, revêt une importance cruciale dans la gestion des dommages causés par les incidents liés au feu, tant pour les particuliers que pour les entreprises.

Dans le cadre de ce chapitre, nous entreprendrons une modélisation approfondie de la prime pure de l'assurance incendie, en mettant particulièrement l'accent sur les risques d'entreprises du portefeuille de GAT Assurances. Cette application empirique impliquera une démarche analytique rigoureuse des différents paramètres influençant le coût de l'assurance pour les entreprises opérant dans le secteur des entreprises. L'analyse prendra plusieurs formes distinctes relevant de la statistique et de l'économétrie.

De ce fait, ce chapitre est composé de quatre sections : La première section sera dédiée à l'analyse de la situation actuelle du marché de l'assurance incendie en Tunisie. Dans la deuxième section, nous approfondirons l'analyse en présentant en détail l'entreprise GAT Assurances, qui servira de référence centrale dans notre étude. La troisième section sera consacrée à l'analyse empirique, en utilisant une méthodologie statistique descriptive suivie d'analyses bivariées. La quatrième section abordera les résultats chiffrés de la modélisation de la fréquence et de la sévérité des sinistres à travers l'usage de modèles économétriques adaptés.

Section1 : Situation actuelle du marché tunisien d'assurances incendie :

1.1 **Le marché d'assurance en Tunisie : Focus sur la branche incendie** :

À la clôture de l'année 2022, le marché des assurances en Tunisie compte 24 compagnies. Celles-ci se répartissent entre des compagnies d'assurances et de réassurances résidantes qui opèrent en tant que des sociétés anonymes et mutuelles, ainsi que des compagnies non résidentes appelées également "Off-shore".

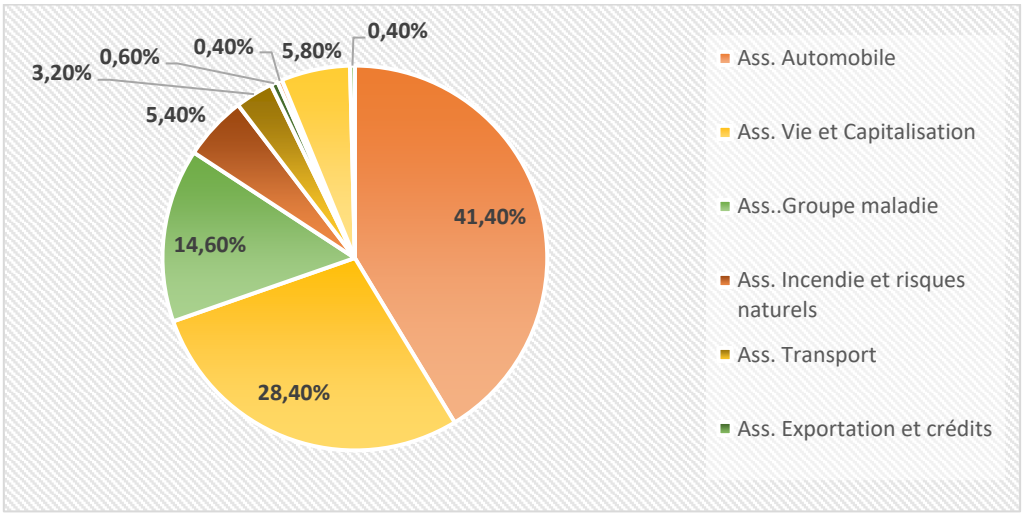
Malgré la présence de ces acteurs sur le marché, le taux de pénétration de l'assurance dans l'activité économique tunisienne reste faible, s'établissant autour de 2,4% en 2022 (contre 2,5% en 2021). Cette proportion reste toujours en dessous des niveaux enregistrés dans des pays émergents, assez loin de l'Afrique du Sud et significativement inférieur à la moyenne mondiale qui atteint 6,8% au cours de la même année.

En dépit de cette faiblesse, la densité d'assurance a connu une croissance continue au cours de ces dernières années en passant de 235,8 dinars en 2021 à 268,8 dinars en 2022, enregistrant ainsi une évolution importante d'environ 14% par rapport à l'année précédente. Toutefois, ce niveau reste encore très faible comparé à la moyenne mondiale qui est de l'ordre de 2644 dinars en 2022.

Le marché des assurances en Tunisie a connu une augmentation substantielle au niveau de son chiffre d'affaires, en passant de 2833,2 MD en 2021 à 3185 MD en 2022, enregistrant ainsi une augmentation de 12,42% par rapport à l'année précédente. Ces résultats sont mentionnés dans le dernier rapport publié par le Comité Général des Assurances « CGA ».

La répartition de la prime émise non vie montre que la branche incendie demeure un produit d'assurance insuffisamment vendu sur le marché Tunisien. Celle-ci se positionne au quatrième rang en matière de chiffre d'affaires avec une part de 5,4% en 2022, enregistrant ainsi une augmentation par rapport à l'année précédente de 7,15%.

Figure 3 : Répartition des primes émises totales par branches d'assurance :

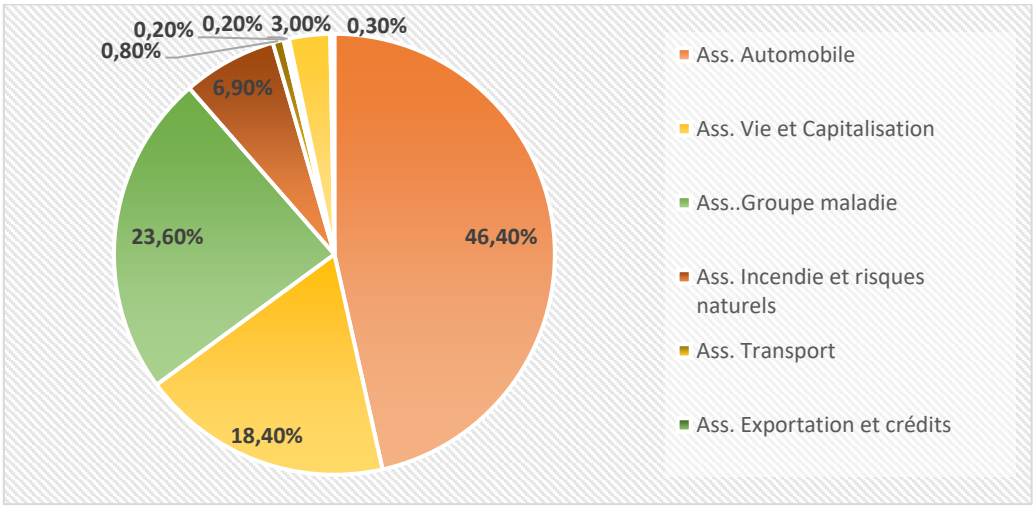


Source : Rapport de CGA 2022

Ce rapport indique que le volume des indemnisations pour sinistres a enregistré une croissance substantielle de 16,32 % en 2022 par rapport à 2021, s'élevant à 120,433 millions de dinars contre 103,539 millions de dinars par rapport à l'année précédente.

En effet, la branche incendie représente 6,9% de l'ensemble des compensations versées dans le secteur comme montrée dans la figure suivante :

Figure 4 : Répartition des indemnisations réglées par branches d'assurance



Source : Rapport de CGA 2022

1.2 Le contrat d'assurance incendie en Tunisie :

En Tunisie, « l'assurance contre l'incendie est régie par les articles 27-28-29 et 30 du code des assurances. En outre, l'article 29 de la loi 80-88 du 31 décembre 1980 portant loi des finances pour la gestion 1981 qui oblige les personnes physiques ou morales exploitant une industrie, un commerce ou un établissement hôtelier à s'assurer contre l'incendie : c'est une assurance obligatoire ».

Dans le domaine de l'assurance incendie, les risques sont répartis en deux groupes distincts : les risques industriels ou d'entreprise et les risques simples.

Confrontées à une pluralité de risques, les entreprises d'assurance se positionnent en tant qu'acteurs novateurs en élaborant des produits sur mesure qui concordent avec les attentes spécifiques de leur clientèle. Cette gamme de solutions s'étend des produits à tarification simplifiée à des offres intégrées plus complexes, démontrant ainsi leur capacité à harmoniser les besoins variés des assurés tout en innovant dans leur approche tarifaire.
Il s'agit de délimiter de manière précise les communautés de risques, permettant ainsi aux compagnies d'assurance de développer et de commercialiser des produits d'assurance incendie adaptés à chaque segment de marché :

- Sous forme d'un packaging de produits qui offrent un panier de garantie répondant aux besoins des particuliers, commerçant, artisans, agriculteurs, indépendants…etc.
  Parmi ces produits on peut citer la Multirisque Habitation « MRH », la Multirisque Professionnelle « MRP », la Multirisque Agricole…etc. Tous ces produits ont la même garantie de base l'incendie.

- Sous forme de produits qui offrent les garanties les plus adaptées à l'activité pratiqué par l'assuré. Ces produits s'adressent généralement aux petites et moyennes entreprises. Dans ce type de contrat, l'assuré accorde une attention particulière aux produits matériels et procédés de fabrication susceptibles de déclencher ou d'aggraver le risque incendie. On peut citer la multirisque entreprise « MRE ».

- Sous la forme de produits élaborés pour offrir des garanties spécifiquement adaptées à l'activité exercée par l'assuré, ainsi qu'aux caractéristiques des bâtiments, des installations électriques, des marchandises, etc. Ces produits d'assurance incendie ciblent principalement les grandes entreprises. La nécessité de mobiliser d'importants fonds en cas de sinistre incendie incite les assureurs à prendre en compte minutieusement chaque détail pouvant aggraver ou atténuer le risque lié à l'incendie. On peut citer le type de produit Tous Dommages sauf « TDS ».

Ces produits offrent tous la même garantie de base « incendie », les mêmes extensions et les mems exclusions. La différence réside dans la valeur des capitaux assurés, l'activité, population cible et les modalités d'assurance particulières adoptés aux besoins de couvertures des assurés.

1.3 La tarification de l'assurance incendie en Tunisie :

Le système de tarification en Tunisie repose sur le Traité de réassurance. Plus précisément, le Manuel de tarification des risques d'entreprises liés à l'assurance-incendie (TAIRE) constitue un cadre établi par l'APSAD (Assemblée Plénière des Sociétés d'Assurances Dommages). Ce manuel se concentre exclusivement sur les risques professionnels spécifiquement désignés, nécessitant une déclaration à la statistique commune.

Ce guide français, présent depuis environ soixante ans, a constamment évolué pour s'adapter aux changements économiques et environnementaux qui impactent les entreprises et les compagnies d'assurance. Il est essentiel de comprendre dans quelles circonstances il s'applique, sa structure, les facteurs pris en compte pour établir les tarifs, comment l'utiliser, son origine, ainsi que les différentes étapes de son développement au fil du temps.

❖ Mode de calcul du prime d'assurance incendie :

La tarification incendie consiste à calculer la prime que l'assuré doit payer pour couvrir les dommages causés par un incendie, en échange de la garantie qui lui est accordée pour une période d'assurance donnée. Le montant de la prime annuelle est ainsi déterminé en multipliant le capital assuré (ou assiette) par le taux de prime, exprimé en °/°°.

« Prime annuelle = Taux de prime x capital garanti »

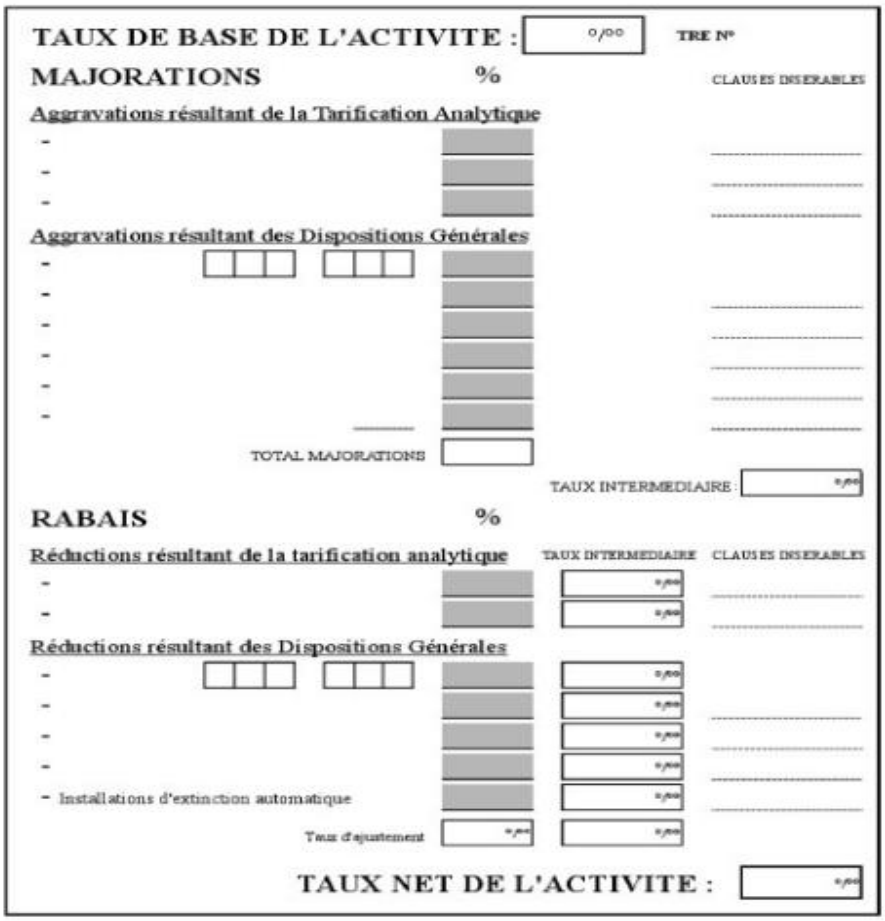
Pour se faire, il est nécessaire de connaitre les notions de base suivante :

- Le taux de base : Il s'agit du taux spécifique qui s'applique à la garantie de base pour un risque donné.
- Le taux net : Ce taux de prime pure est appliqué au capital assuré pour calculer la prime pure. Pour la garantie de base, il est déterminé en appliquant les majorations et les rabais au taux de base.
- Le taux moyen : Lorsqu'un contrat concerne un établissement comprenant plusieurs risques soumis à des taux nets différents, la prime pure est calculée en appliquant le taux net correspondant à chaque risque au capital assuré. Le taux moyen est simplement la moyenne des taux nets des différents bâtiments, pondérée par leurs capitaux respectifs.
- Les majorations : Il s'agit des ajustements du taux de prime qui sont appliqués en cas d'aggravation des risques.

❖ La tarification analytique :

Il s'agit du document qui regroupe les rubriques analytiques permettant de déterminer, pour chaque activité, le taux de base applicable. Les activités sont regroupées en famille. Le taux de base d'un risque donné est obtenu en se rapportant à l'intérieur de celle-ci et en recherchant les éléments qui permettent de l'individualiser. Ce taux subit ensuite les sanctions tarifaires, desv majorations ou des réductions qui résultent de l'application des dispositions du tome 1.

Figure 5 : Tarification analytique



Source : Les assurance dommages aux biens de l'entreprise », Philippe Laroche, 2011.

En effet, la tarification du risque incendie exige une analyse approfondie prenant en compte toutes les caractéristiques permettant de différencier une unité à assurer d'une autre.

Le calcul du taux de prime est très complexe, il dépend des critères suivants :

- L'activité (industrielle, administrative, agricole...)
- Les capitaux assurés
- La situation de risque (l'exposition aux risques)
- La nature de la construction des bâtiments
- La nature des installations électriques et chauffage
- La contiguïté ou proximité des risques aggravants

La construction du bâtiment peut influencer sur la tarification de l'assurance incendie en stimulant les dommages auxquelles il peut subir. C'est ainsi nécessaire d'identifier les éléments de construction suivants :

- Ossature
- Murs extérieurs
- Planchers et nombre de niveaux
- Couverture
- Aménagements et revêtements intérieurs

Par conséquent, la tarification incendie est un processus qui correspond plusieurs étapes et qui nécessite la détermination du code de construction qui sert à majorer ou à réduire le taux appliqué :

1. Détermination du classement de chacun de ses éléments de construction.
2. Classement du bâtiment en fonction du nombre de niveaux
3. Composition du code « Construction »
4. Déterminer à partir du code « Construction » de la majoration ou du rabais à appliquer

Tableau 4 : Code « Construction » du bâtiment

Eléments de construction	Ossature (O)	Murs extérieurs (Me)	Planchers (P)	Nombre de niveaux	Couverture (Co)	Aménage-ments et revêtements intérieurs (A)
Catégories						
	1er groupe			2ème groupe		

Tableau 5 : Détermination du code de construction

Descriptif du bâtiment	Classement des éléments de construction
• ossature verticale : béton armé (01) charpente de toiture : acier protégé (02)	02
• murs extérieurs : panneaux composites tôle d'acier/matière plastique alvéolaire/tôle d'acier	Me3
• planchers : - 2 planchers en béton armé (P1) - 3 planchers en maçonnerie sur solives acier protégées (P2) - 1 plancher bois (P4)	P2
• nombre de niveaux : 7	C
• couverture : panneaux composites tôle d'acier/matière plastique alvéolaire/tôle d'acier	Co3
• sous-toiture ou faux-plafond : néant	A1

	O Me P	Co A
Code "construction"	2 3 2	C 3 1

Source : Source : Les assurance dommages aux biens de l'entreprise », Philippe Laroche, 2011.

Section 2 : GAT ASSURANCES et les Chiffres clés :

2.1 Présentation de GAT ASSURANCES :

GAT ASSURANCES est une société anonyme d'assurance et de réassurance opérant sur le marché tunisien depuis 1975, ayant un capital social de 45 millions de dinars tunisien : Elle figure dans le trio de tête des plus puissants acteurs d'assurances en Tunisie grâce à ses valeurs humaines, ses engagements respectés, la richesse de ses produits et sa forte expertise.

Tableau 6 : Fiche de présentation de la GAT ASSURANCES

Dénomination	**GAT ASSURANCES**
Logo	
Activités	Toutes branches d'assurances et de réassurances
Siège social	 92-94 avenue Hedi Cheker-1002 Tunis-Bélvédère
Date de création	Le 18 juillet 1975
Forme juridique	Société anonyme de droit Tunisien
Capital social	45 000 000 DT
Nombre d'employés	Au 31/12/2022 le nombre d'employés est de 224 employés
Matricule fiscal	N° 0000673N
Site web	www.gat..com.tn

Source : Site Web de la GAT Assurances

Les agents et les conseillers sont le cœur mission de GAT ASSURANCES. Ils tentent à nouer des relations de confiance avec ses interlocuteurs, être proche, disponible, et surtout à l'écoute.

113
Agences d'assurances
Harmonieusement réparties sur tout le territoire Tunisien

20
Conseillers
Disponibles pour vous visiter dans vos locaux.

20
Courtiers partenaires



CHIFFRES CLÉS 2022

Chiffre d'affaires : 235 MDT

Capitaux propres : 119 MDT

Capital: 45.000 MDT

Résultat net après impôts: 24,3 MDT

Placements gérés: 385,487 MDT

Ratio de solvabilité : 239%

2.2 Positionnement de GAT ASSURANCES :

D'après le rapport de CGA en 2022, GAT ASSURANCES occupe la quatrième place en termes de chiffres d'affaires.

Tableau 7: Classement des quatre premières compagnies d'assurances selon le chiffre d'affaires en M.D

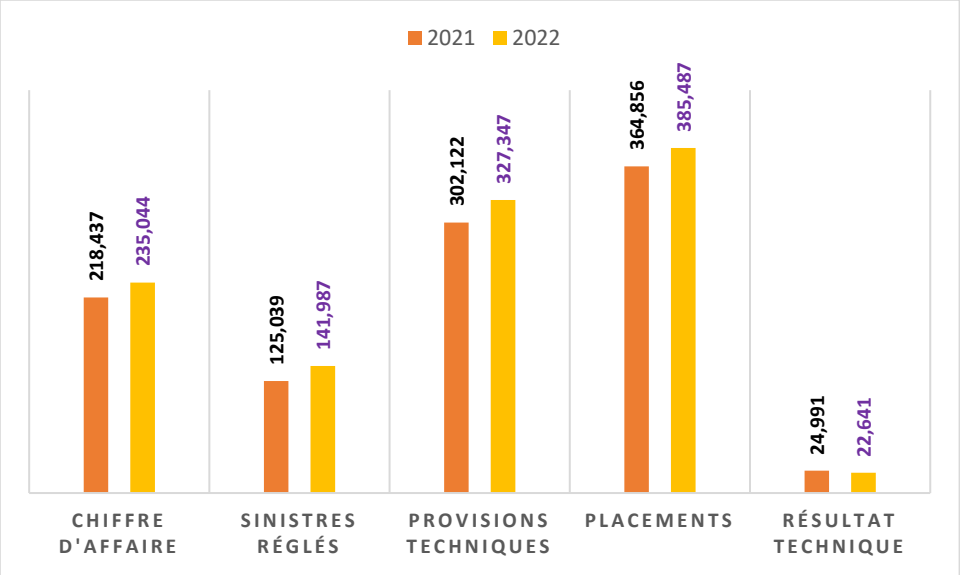
Société	Chiffre d'affaires 2021	Chiffre d'affaires 2022	Taux d'évolution
STAR	368,161	386,270	4,92%
COMAR	233,346	252,757	8,32%
ASTREE	218,434	236,035	26,06%
GAT	202,499	235,044	7,6%

Source : Rapport FTUSA 2022

En 2022, GAT Assurances a enregistré un chiffre d'affaires de 235,044 millions de dinars, marquant une augmentation de 7,6% par rapport aux 202,499 millions de dinars de 2021 comme le montre le tableau précédent.

2.3 Les principaux indicateurs de GAT ASSURANCES :

Figure 6 : Les indicateurs clés de GAT Assurances en M.D



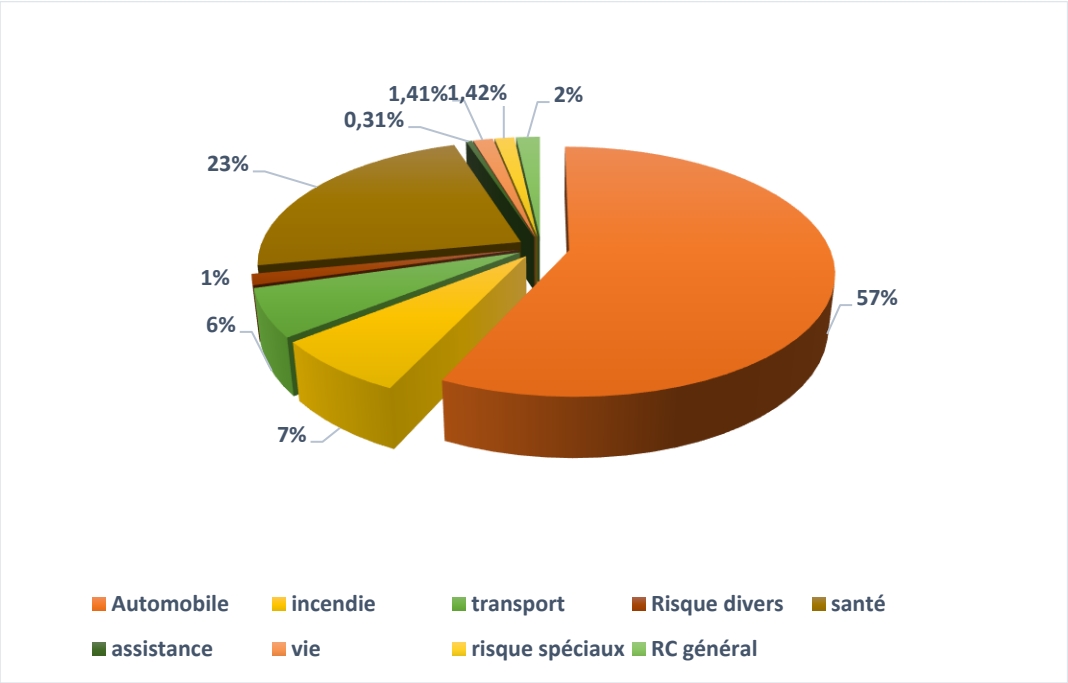
Source : rapport de CGA 2021 et 2022

- Chiffre d'affaires :

  Le niveau des primes émises et acceptés en GAT ASSURANCES a enregistré une augmentation significative de **7,6%** qui atteint 235,044 MD en 2022 contre 218,437 MD un an auparavant.

Le chiffre d'affaires de GAT ASSURANCES en 2022 se répartie par branche comme suit :

Figure 7 : Portefeuille de GAT ASSURANCES 2022



Source : Etats Financiers de GAT ASSURANCES 2022

La branche automobile demeure le produit d'assurance le plus largement vendu par GAT ASSURANCES, il occupe toujours la première place en termes de primes émises qui représente **57%**du total primes en 2022 ayant une croissance de 9,34% par rapport à l'année précédente.

Les assurances Santé occupe la 2ème place dans l'activité et représente **23%** du chiffre d'affaires ayant un taux de croissance de 23,67% par rapport à 2020.

La branche incendie représente **7,2%** du portefeuille de GAT ASSURANCES contre 6,96% un an auparavant soit une croissance de 9,8**%.**

La branche transport représente **6,22**% du portefeuille de GAT ASSURANCES contre 7,14% un an auparavant.

- Sinistres réglés :

Les sinistres réglés par GAT ASSURANCES a atteint 141,987 MD en 2022 enregistrant ainsi une augmentation de **13,5%** par rapport à 2021.

- Provisions techniques :

En 2022, les provisions techniques de GAT ASSURANCES ont atteint 327,347 millions de dinars contre 302,122 millions de dinars un an auparavant, soit une évolution de **8,3%** par rapport à 2021.

- Placements :

Les placements de GAT ASSURANCES ont atteint les 385,487 millions de dinars en 2022 contre 364,856 millions de dinars en 2021, soit une augmentation de **5,7%.**

- Capitaux propres :

Les capitaux propres de GAT ASSURANCES avant résultat de l'exercice ont augmenté de **2,61%** pour atteindre les 119,294 millions de dinars contre 116,264 millions de dinars en 2021.

- Résultat technique :

Parallèlement à ce résultat technique bénéficiaire, l'exercice comptable 2022 a été clôturé avec un résultat net de 22,641 MD contre 24,991 MD en 2021.

- Résultat net de l'exercice :

GAT ASSURANCES a dégagé un résultat net de l'exercice 2022 bénéficiaire de 24,303 millions de dinars contre 24,635 millions de dinars un an auparavant. Soit une baisse de **3%**.

2.4 Focus sur la branche incendie :

La branche incendie ne représente que 7,2% du total de chiffre d'affaires de GAT ASSURANCES. Le tableau ci-après présente de manière détaillée les indicateurs fondamentaux de cette branche d'activité :

Tableau 8 : Les indicateurs clés de la branche incendie de la GAT Assurances en M.D

Indicateur	2021	2022	Taux d'évolution
Chiffre d'affaires	14 978 711	16 444 379	9,48%
Charges de prestations	6 855 323	5 146 603	-24,93%
Résultats techniques	1 467 944,482	1 638 993,579	11,65%

Source : CMF

Le tableau indique une progression notable de 9,48% du chiffre d'affaires de la branche incendie. En outre, cette couverture se caractérise par un résultat technique positif pendant les dernières années.

Section 3 : Analyse empirique, Méthodologie et statistiques descriptives :

3.1.Objectif et méthodologie :

Dans le cadre de notre analyse empirique, nous adoptons une méthodologie centrée sur le recours à une base de données de la compagnie GAT Assurances, ainsi que sur l'usage de techniques statistiques et de méthodes économétriques.

L'objectif de cette méthodologie consiste à étudier la tarification de la garantie de base de l'assurance incendie au sein de ma compagnie de parrainage, « GAT ASSURANCES ». Il s'agit également de mettre en place un référentiel de tarification adapté aux spécificités des assurés, facilitant ainsi la gestion des tarifs et l'évaluation des risques. Par ailleurs, il convient de tester l'existence d'autres critères tarifaires à considérer en plus de la famille d'activité, la valeur des capitaux assurés et la durée moyenne de risque.

Pour ce faire, nous allons établir un ensemble d'étapes permettant de mettre en place un modèle de tarification de la garantie de base de l'assurance incendie, en se basant sur le principe « Fréquence × Coût » ; La fréquence des sinistres sera estimée à l'aide d'un modèle binaire Logit, tandis que les coûts seront estimés à l'aide d'un Modèle Linéaire Généralisé (GLM).
De ce fait, il sera primordial d'identifier les déterminants de l'occurrence (fréquence) et de la sévérité (Coût) avant de passer à la modélisation.

Afin de procéder à la tarification, il est essentiel de disposer d'une base de données appropriée. Cette base permettra d'effectuer divers tests sur les variables tant explicatives qu'à expliquer, conduisant à des analyses univariées, bivariées et multivariées, et de modéliser les tarifs de manière précise.

Le modèle GLM permet d'étudier la relation entre une variable à expliquer Y et un ensemble de variables explicatives $X_1,...,X_p$. En assurance incendie, les distributions utilisées appartiennent à la famille exponentielle, incluant des lois classiques telles que la loi Binomiale négative, la loi de Gamma, et la Loi Log-Normal. L'importance du modèle GLM réside dans sa flexibilité et sa capacité à fournir des estimations précises des paramètres en tenant compte de la nature des données. Les étapes nécessaires pour appliquer la modélisation GLM sont exposées en détail dans le premier chapitre.

La modélisation repose sur la distinction entre l'analyse de la fréquence et celle du coût moyen. En premier lieu, nous souhaitons expliquer la fréquence des sinistres, définie comme le nombre de sinistres déclarés pendant la durée de couverture à travers un modèle binaire Logit. En deuxième lieu, nous utiliserons le modèle GLM pour modéliser les charges associées aux sinistres déclarés.

Après avoir validé la loi de distribution, nous procéderons à l'estimation des coefficients associés à chaque modalité des variables. En fonction des résultats obtenus pour les modèles de fréquence et de sévérité, nous présenterons le modèle de tarification permettant de calculer la prime pure ainsi que le taux de prime associé à chaque famille d'activité.

En résumé, la méthodologie est mise en œuvre à travers les étapes suivantes :

1) Présentation de la base de données ;
2) Traitement préliminaire des données ;
3) Elaboration et interprétation Statistiques descriptives
4) Procéder à analyse univariée et bivariée des variables
5) Justifier le choix de la loi de probabilité (Loi Log-Normal) pour la sévérité ;
6) L'estimation des coefficients de régression pour la fréquence avec le modèle Logit binaire et pour la sévérité à travers du modèle GLM ;
7) La sélection finale des variables ;
8) L'estimation de la prime pure pour chaque famille d'activité ;

3.2.Présentation de la base de données :

Dans le cadre d'une étude empirique, la base de données joue un rôle crucial pour la réussite et la précision de la modélisation. En effet, la qualité, la structure et l'intégrité des données collectées et utilisées influencent considérablement les résultats obtenus et les conclusions que l'on peut en tirer. De ce fait, parmi les principales préoccupations des actuaires figure la création des bases de données. (Denuit et Charpentier, 2009)

La base de données portant sur l'étude de tarification du portefeuille incendie du GAT ASSURANCES a été fournie par la direction technique et le département de gestion des risques. Ces données s'étendent sur une période de huit ans : de 2016 à 2023 et qui se décomposent en deux fichiers : le fichier « production », qui contient tous les éléments nécessaires à la tarification des différents contrats d'assurances incendie et le fichier « sinistres », qui regroupe toutes les informations relatives à la survenance des sinistres.

❖ Le Fichier « production » :

Le fichier « production » est composé de **394 524 lignes** qui correspondent à des mouvements, des mises à jour :

- Augmentation, diminution des primes,
- Changements des valeurs assurés,
- Ajouts des ou changement risques…
- Modifications des articles,

Ce fichier contient également les informations relatives aux assurés, réparties sur 32 colonnes, parmi lesquelles on peut citer :

- Code branche
- Année et mois comptable
- Code produit
- Numéro risque
- Code nature du risque
- Gouvernorat du risque
- Numéro Police
- Date début d'effet situation
- Date de fin d'effet situation
- Etat de police

- Code article
- Code garantie
- Prime Nette GAT
- Capital assuré
- Capital assuré par Risque
- Capital assuré par Police
- Activité souscripteur

❖ **Le Fichier « Sinistre » :**

Cette base présente les différents mouvements (estimation, majoration, minoration, règlement) de sinistre constituant 17 012 lignes de sinistres et 17 variables observées par colonne dont on peut citer :

- Numéro police
- Numéro sinistre
- Numéro risque
- Date de survenance
- Etat de sinistre
- Code article
- Code garantie
- Date de mouvement
- Evaluation du sinistre
- Règlement du sinistre
- Réserve
- Cout du sinistre (en Dinars Tunisien)
- Numéro de transaction

3.3.Traitement de la base de données :

Le traitement de base de données est essentiel pour la gestion efficace de l'information et la construction d'une base fiable et représentative pour toute organisation.

De ce fait, ce traitement diffère entre la base « production » et la « base sinistre ».

Base production :

- Conserver le code garantie 1000 qui concerne la garantie de base incendie et qui s'applique uniquement aux capitaux cumulatifs.
- Se concentrer sur les codes produits 1, 3, 4, 5, et 6, couvrant les risques simples, les risques industriels, les multirisques hôtels, les produits tous risques saufs, et les multirisques professionnels en Éliminant ainsi les codes produits 2 et 7 qui concernent les risques agricoles et les risques de pertes d'exploitation.
- Conserver les numéros de risques allant de 1 à 215.
- Identifier les codes articles comme suit :
  - De 4010 au 4019 : relatifs aux bâtiments
  - De 4030 au 4039 : relatifs aux matériels
  - De 4040 au 4053 : Correspondent aux mobiliers, matériel, aménagement et agencement
  - De 4054 au 4059 : englobant les marchandises fixes, les marchandises variables et vendues

  - Les codes 4060 et 4061 : Correspondent aux produits finis et semi-finis
  - Les codes 4300, 4400 et 4450 : Correspondent aux contenant et contenu
  - Codes spécifiques : 10, 11, 17, 21, 30, 34, 35, 36, 41, 43, 50, 53, 60, 62, 63, 70, 80, 81, 82, 83, 90, 101, 1000, 1300, 1400, 1500, 4001, 4002.
- Retirer les polices en « fronting » : Réassurées à 100% et tarifé par le réassureur.
- Eliminer les affaires en « SRCC » : Grève, Emeutes, Mouvement populaires.
- Exclure les polices des véhicules en stationnement qui couvre l'encours au crédit « CFE » dont la valeur assurée du bien est de l'ordre de 1 DT.
- Exclure les primes nulles et garder les primes forfaitaires.
- Ajuster pour chaque polices les dates de fin d'effet qui sont antérieures aux dates de début d'effet.
- Déterminer les activités des assurés police par police et les regrouper par famille d'activité sous forme de 11 familles comme prévu dans le référentiel de Tarification en assurance incendie du Tunis Re (2019).
- ! Identifier et regrouper les activités des assurés, police par police, sous forme de 11 familles d'activités **conformément aux spécifications du référentiel de Tarification en assurance incendie du Tunis Ré**. Le tableau ci-dessous présente la classification des familles d'activités regroupées pour chaque activité assurée.

Tableau 9 : Récapitulatif des familles d'activités : Incendie des Risques d'Entreprises

Les familles d'activité	Les activités assurés
Famille1: Extraction et préparation des minerais et minéraux divers, de combustibles minéraux solides. Métallurgie.	- Extraction et préparation de minéraux et minerais divers. - Métallurgie et Fonderie - Combustibles solides, liquides, gazeux
Famille2: Production de matériaux de construction, céramiques. Industrie de verre**.**	- Fabrication de produits en béton - Fabrication de chaux, ciments et plâtres - Fabrication et travail du verre - Industrie des céramiques, briqueteries et tuileries - Industrie de pierres de construction
Famille3: Travaux des métaux, industries électriques, carrosserie et réparation de véhicules en tout genre, Garages.	- Travaux des métaux par changement de forme du métal - Fabrication, assemblage et réparation de machines électriques - Ateliers de réparation de carrosseries et de réparation mécanique des véhicules - Construction automobile - Fabrication de fils électriques, téléphoniques - Bijouterie, joaillerie, orfèvrerie
Famille4: Industries chimiques et para-chimiques, Transformation de matières plastiques et de caoutchouc :	- Fabrication et transformation de matière plastique - Industries Diverses - Fabrication de produits chimiques - Transformation de matières plastiques

	- Industrie pharmaceutique et cosmétique - Fabrication de peintures, vernis, couleurs fines - Fabrication d'engrais - Fabrication d'articles divers en caoutchouc - Fabrication et stockage de matières et objets explosifs
Famille5: Industries textiles, Bonneteries, Confection de vêtements et autres articles textiles **:**	- Industrie de l'habillement, confection de linge de maison, de linge de table - Tissage de laine, tissage de fibres végétales - Broderies mécaniques, fabrication mécanique de dentelles, fabrication de gazes et tulles
Famille6: Industries du papier et du carton, industries du cuir et du délainage :	- Transformation de papiers et cartons - Industrie d'emballage - Fabrication d'articles chaussants - Fabrication d'articles en cuir - Fabrication de pâtes à papier, de papiers et de cartons
Famille7 : Industries du bois :	- Travail mécanique du bois - Travail du bois, emploi d'un petit outillage à main - Fabrication de panneaux de fibres de bois
Famille8 : Industries Agroalimentaires :	- Industrie d'alimentation - Distilleries d'alcool et d'eaux-de-vie - Fabrication d'huiles et corps gras d'origine animale ou végétale - Abattage de volailles, lapins et gibiers - Entrepôts frigorifiques ; stations fruitières, murisseries de fruits et légumes - Industrie du grain et fabrication de pâtes alimentaires - Chocolateries et confiserie - Industrie laitière (laiterie, beurrerie, fromagerie et fabrication de dérivés) - Industrie des viandes - REPRODUCTION POULE - Transformatime, fabrication de conserves - Distilleries d'alcool et d'eaux de vie (de vins ou de fruits) - Torréfaction de café, succédanés de café - Minoterie et fabrication de pâtes alimentaires - Boulangeries et pâtisseries industrielles
Famille9 : Traitement des déchets urbains :	- Industrie énergétique - FABR. D'ÉQUIP. THERM. A ENERGIE SOLAIRE
Famille10: Autres Risques d'Entreprises :	- Bureaux et habitations - Dépôts - Vente et Commerce - Restauration

	- Etablissement de santé et de soins (cliniques, hôpitaux et autres établissements sanitaires) - Habitation, garage et parking - Etablissements scolaires ; centres de formation et d'enseignement ; - Expositions ; foires-expositions ; salon à vacation commerciale - Commerce de détail d'appareillages électriques, d'appareils d'équipement électroménager - Commerces de détail de l'habillement (vêtements, bonneterie confectionnée…) - Photographe et impression - Hôtel, résidences hôtelières - Banque et assurance - Grands magasins, bazars, hypermarchés et plus généralement tous dépôts, commerces de gros ou de détail, de produits divers principalement non-alimentaires, - Complexes sportifs, piscines, patinoires… - Théâtres et plus généralement, établissements comportant un espace scénique - Commerce de gros et de détail de matériaux de construction - Commerce de bijouterie - Elevage de volailles
Famille11: Services généraux et risques annexes concourant l'exploitation de l'établissement assuré	- Sociétés de Services - Services informatiques

Source : élaboré par l'auteur

Suite au traitement des données et au regroupement des numéros de polices par risques, nous avons obtenu **30 295 lignes** (des données admissibles) de risques correspondant à **6743 polices.**

Base sinistre :

- Déterminer les charges de sinistres correspondantes pour chaque numéro de sinistre à partir des divers mouvements extraits du logiciel AS400.
- Exclure les affaires 100% réassurés « fronting » et les affaires en SRCC.
- Exclure les charges qui sont nulles ou égales à 1, car elles ne sont pas considérées comme des sinistres.
- Additionner les codes de garantie 1 et 1000 pour les charges de sinistres. En effet, le code garantie 1000 représente le montant des sinistres liés à la garantie de base incendie, tandis que le code de garantie 1 correspond aux frais d'expertise associés aux prestations.
- Affecter les charges de sinistres aux différentes familles d'activités, déduites de la base de production.

→ Après avoir traité la base sinistre, le nombre de lignes a été réduit de **40561** à **549 lignes** de sinistres relatifs aux risques durant la période d'étude.

Avant de commencer la modélisation, les études de tarification consistent à séparer en une première étape les sinistres « attritionnels » des sinistres « graves » en raison de leur forte hétérogénéité en termes de fréquence et de sévérité. De ce fait, il est essentiel d'aboutir à une technique qui permet de fixer un seuil de gravité. Par conséquent, afin de déterminer ce seuil, on pourrait utiliser la Value at Risk. Cette dernière est définie comme le montant de pertes qui ne pourrait être dépassée que dans α% des cas.

La Value at Risk se définit donc comme :

$$VaR_{t,h}(\alpha) = \inf\{x : P_t(X_{t,t+h}) \leq x) \geq 1 - \alpha\}$$

Les valeurs obtenues selon α sont les suivantes :

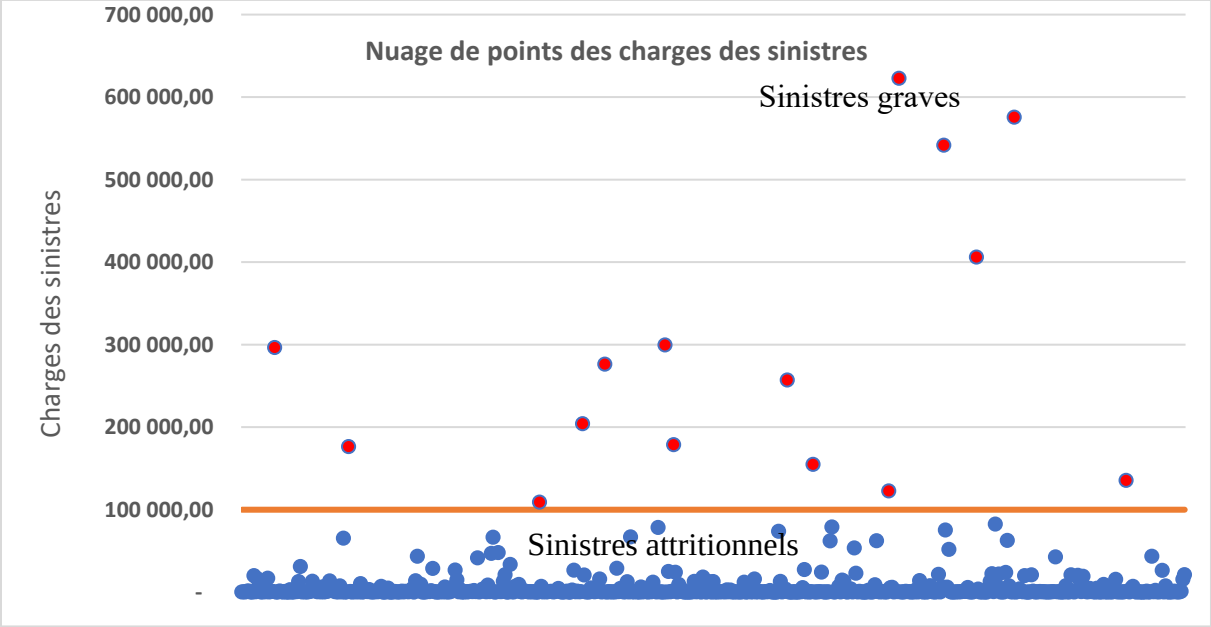
Tableau 10 : Tableau présentant les quantiles des charges

Seuil α	Quantile (1-α)	Nombre des sinistres au-dessous du quantile	Nombre des sinistres au-dessus du quantile
5%	64 321,94	521	28
3,5%	100 000	529	20
2,5%	186 194,18	535	18
1%	599 989,57	543	6

Source : élaboré par l'auteur

D'après les résultats obtenus par la technique **VaR**, nous avons opté au choix d'un quantile égale à 100 000 TND qui correspond à un seuil α de 3.5%. Ce choix est adopté par GAT ASSURANCES pour l'identification des sinistres graves. Ainsi, ce choix a été confirmé par le graphique de dispersion ci-dessous :

Figure 8 : : Nuage des points des charges des sinistres



Source : élaboré par l'auteur

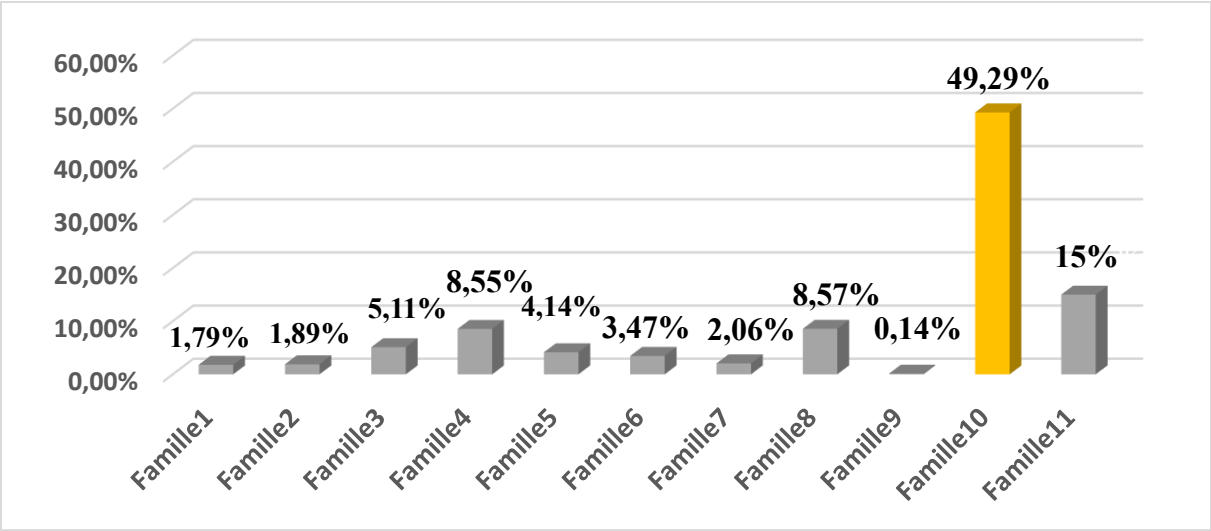
3.4. Statistiques descriptives :

3.4.1. Base production :

❖ Chiffre d'affaires :

Le chiffre d'affaires généré par la couverture de garantie de base de l'assurance incendie se répartit en fonction des différentes familles d'activités des assurés sur la période de huit ans allant de 2016 à 2023 de la manière suivante :

Figure 9 : Répartition du chiffre d'affaires par famille d'activité :



Source : élaboré par l'auteur

Le graphique montre que la « Famille 10 : Autres Risques d'Entreprises », qui englobe divers risques tels que les dépôts, les établissements de santé et de soins, ainsi que les hôtels, etc… représente la part la plus importante du chiffre d'affaires, soit **49,29 %** du total. En deuxième position se trouve la « Famille 11 : Services généraux et risques annexes concourant à l'exploitation de l'établissement assuré », qui contribue à hauteur de **15 %.** La troisième place est occupée par la « Famille 8 : Industries agroalimentaires » avec une part de **8,57 %.**

Ensuite, la « famille4 : Industries chimiques et para-chimiques » se classe en quatrième position, tandis que les autres familles représentent des proportions variantes entre **5,11 %** et **0,14 %**.

❖ Nombre de polices par risque pour chaque activité :

Le nombre de polices par risque varie selon les familles d'activités. En effet, la famille10 se distingue en tête en termes de nombre, suivie par les autres familles d'activités présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 11 : Nombre de polices par risque pour les familles d'activités :

Famille d'activité	Nombre de polices par risque
Famille1 : Extraction et préparation des minerais et minéraux divers	**532**
Famille2 : Production de matériaux de construction, céramiques. Industrie de verre.	**360**
Famille3 : Travaux des métaux, industries électriques, carrosserie et réparation de véhicules en tout genre, Garages.	**737**
Famille4 : Industries chimiques et para-chimiques	**1075**
Famille5 : Industries textiles	**1445**
Famille6 : Industries du papier et du carton	**418**
Famille7 : Industries du bois	**341**
Famille8 : Industries Agroalimentaires	**1911**
Famille9 : Traitement des déchets urbains	**50**
Famille10 : Autres Risques d'Entreprises	**18996**
Famille11 : Services généraux et risques annexes concourant l'exploitation de l'établissement assuré	**4430**
Total général	**30295**

Source : élaboré par l'auteur

3.4.2. Base sinistre :

❖ **L'évolution du nombre des sinistres par année de survenance :**

Le nombre de sinistres a connu une évolution notable au cours des huit dernières années, comme le montre le tableau ci-dessous :

Tableau 12 : le nombre des sinistres par année

Année de survenance	Nombre de sinistres :
2016	**81**
2017	**82**
2018	**102**
2019	**57**
2020	**73**
2021	**69**
2022	**44**
2023	**41**
Total	**549**

Source : élaboré par l'auteur

L'année 2018 s'est distinguée par le nombre de sinistres le plus élevé, atteignant 102 sinistres, ce qui représente une part importante du total de 549 sinistres enregistrés au cours des huit dernières années.

❖ **Le nombre de sinistres total par activité :**

Tableau 13 : le nombre des sinistres par famille d'activité

Famille d'activité	Nombre de Sinistres
Famille1 : Extraction et préparation des minerais et minéraux divers	**7**
Famille2 : Production de matériaux de construction, céramiques. Industrie de verre.	**5**
Famille3 : Travaux des métaux, industries électriques, carrosserie et réparation de véhicules en tout genre, Garages	**5**
Famille4 : Industries chimiques et para-chimiques	**25**
Famille5 : Industries textiles	**22**
Famille6 : Industries du papier et du carton	**10**
Famille7 : Industries du bois	**3**
Famille8 : Industries Agroalimentaires	**40**
Famille10 : Autres Risques d'Entreprises	**306**
Famille11 : Services généraux et risques annexes concourant l'exploitation de l'établissement assuré	**126**
Total général	**549**

Elaboré par l'auteur

D'après le tableau ci-dessus, on déduit que le nombre des sinistres le plus élevé proviennent essentiellement de la famille d'activité10 : autres risques d'entreprises et qui représentent **55,74 %** du total des sinistres sur la période d'étude s'étalant de **2016 à 2023.**

De ce fait, je me suis focalisé sur l'étude détaillée de la famille 10 et plus précisément sur les activités assurées afin de déterminer quelle est l'activité assurée la plus touchée par les sinistres. Les résultats mettent en évidence que les dépôts et les bureaux sont les plus fréquemment affectés en termes de nombre de sinistres comme le montre le tableau ci-dessous :

Tableau 14 : Le nombre des sinistres par activité assuré relatives à la famille10 :

L'activité assuré	Nombre de sinistres
Banque et assurance	12
Bureaux et habitations	58
Cinémas et autres salles de projection ouvertes au public	1
Commerces de détail de l'habillement (vêtements, bonneterie confectionnée…)	2
Dépôts	**98**
Elevage de volailles	7
Etablissement de santé et de soins (cliniques, hôpitaux et autres établissements sanitaires)	21

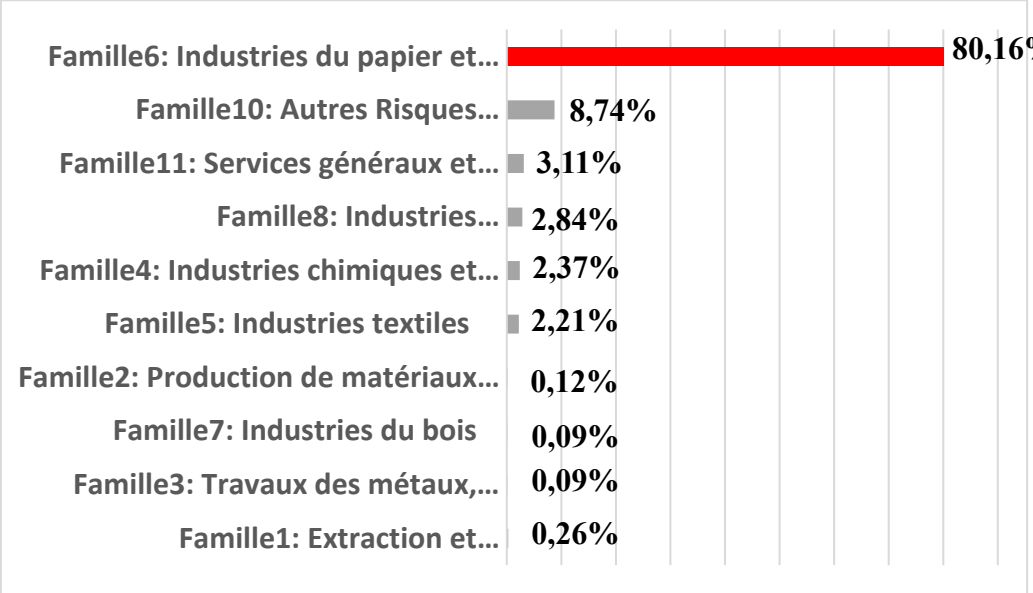
Etablissements scolaires ; centres de formation et d'enseignement ;	1
Grands magasins, bazars, hypermarchés et plus généralement tous dépôts, commerces de gros ou de détail, de produits divers principalement non-alimentaires,	3
Habitation, garage et parking	5
Hôtel, résidences hôtelières	44
Photographe et impression	2
Restauration	4
Vente et Commerce	48
Total	**306**

Source : élaboré par l'auteur

❖ Les charges des sinistres totales :

La répartition des charges des sinistres de la garantie de base incendie varie selon les différentes familles d'activités, comme illustré dans la figure ci-dessous :

Figure 10 : Pourcentage de répartition des charges de sinistres totales par famille d'activité



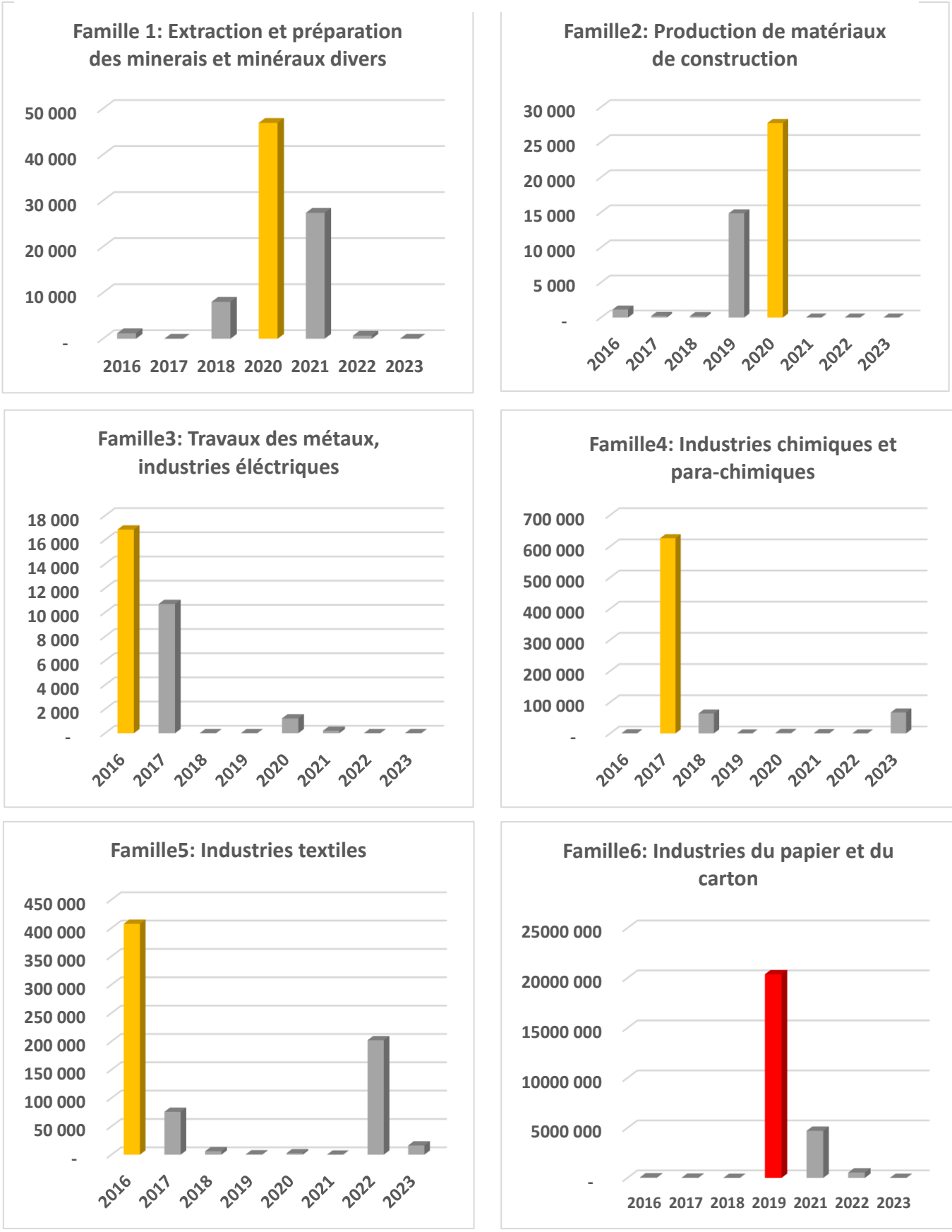
Elaboré par l'auteur

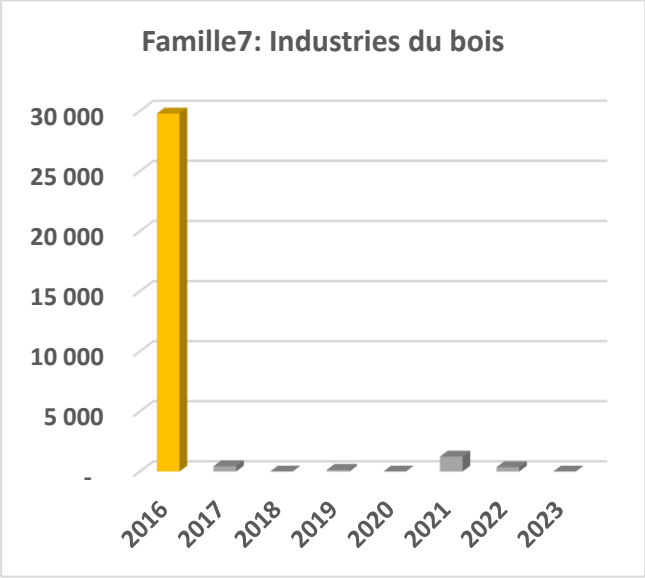
En se référant à ce graphique, on constate que la famille6 : Industries du papier et du carton est la famille d'activité la plus sinistrée représentant 80,16% du total des charges durant toute la période d'étude : de 2016 à 2023.

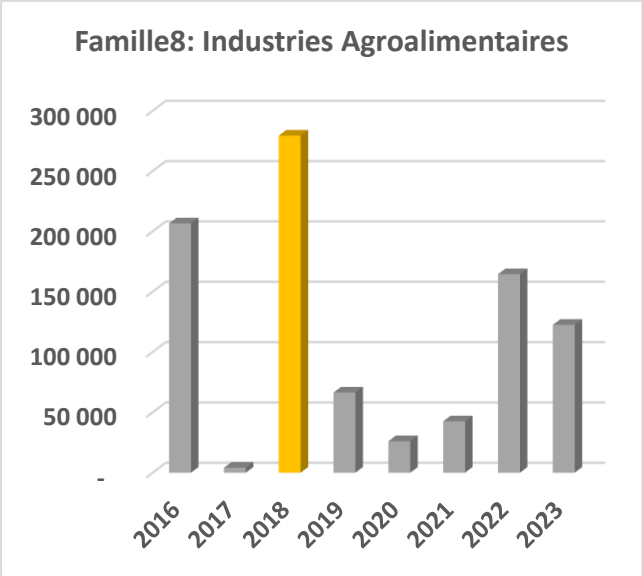
De ce fait, une étude approfondie des charges des sinistres par famille d'activité chaque année s'est avérée **indispensable** pour déterminer quelle famille a supporté le plus de charges et qui a eu un impact significatif sur l'ensemble de la période d'étude.

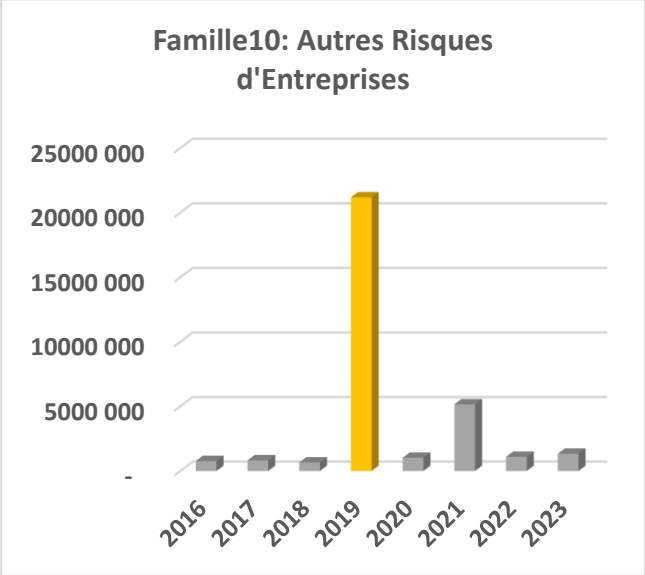
Les figures ci-dessous illustrent l'évolution annuelle des charges de sinistres par famille d'activité :

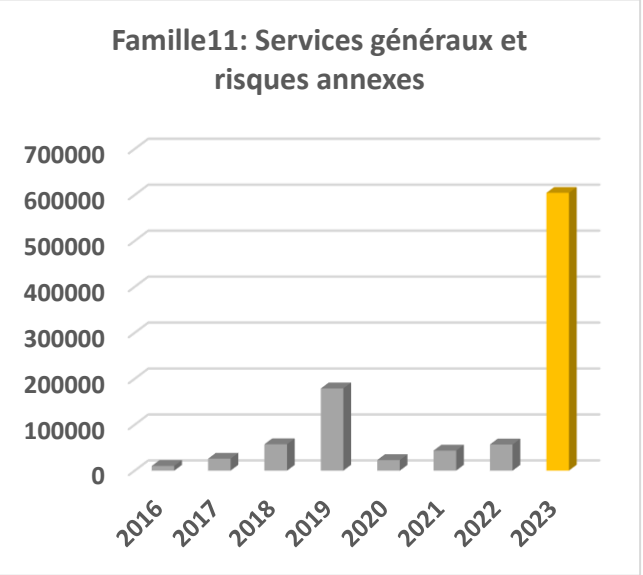
Figure 11 : Répartition des charges de sinistres annuelle par famille d'activité











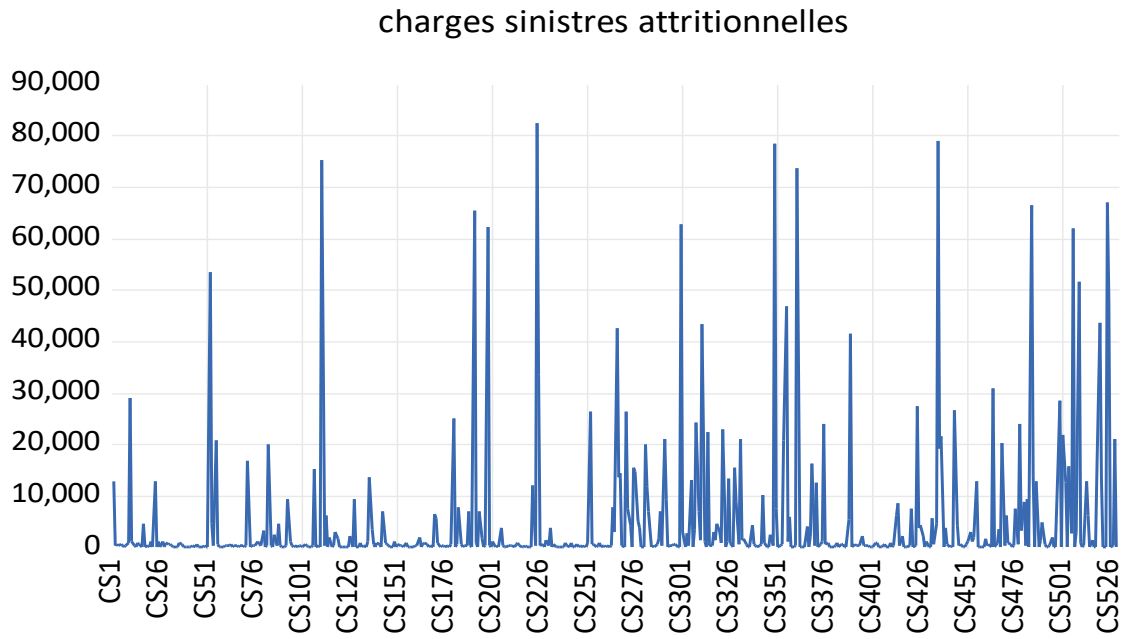
Source : élaboré par l'auteur

Suite à des recherches approfondies, il apparaît que deux sinistres majeurs survenus en 2019 ont fortement influencé les charges totales de sinistres sur l'ensemble de la période étudiée, en particulier dans la famille d'activité 6 : Industries du papier et du carton.

Les charges des sinistres attritionnels :

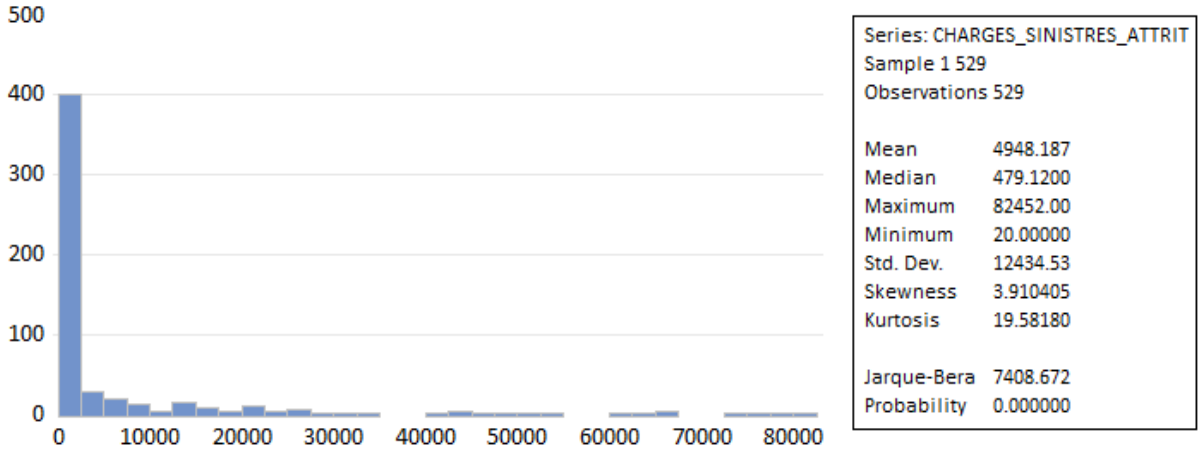
Le graphique ci-dessous illustre une volatilité marquée des charges de sinistres, tant à la hausse qu'à la baisse sur la période d'étude allant de 2016 à 2022. Ces charges sont classées par ordre chronologique de survenance des sinistres et qui montrent une amplitude notable, avec un maximum de 82 452 DT et un minimum de 20 DT. Cette fluctuation met en adéquation les caractéristiques de l'assurance incendie, où les sinistres sont imprévisibles et de gravité variable, confirmant ainsi la nature aléatoire et volatile de cette branche d'assurance.

Figure 12 : Distribution des charges des sinistres attritionnels



Source : élaboré par l'auteur, sortie Eviews

Figure 13 : Histogramme et Statistiques des charges des sinistres attritionnels:



Source : élaboré par l'auteur, sortie Eviews

Les résultats présentés dans le graphique ci-dessus prouvent la forte volatilité de la distribution des charges des sinistres. En effet, l'écart type est de l'ordre de 12434,53.

De plus, ces résultats montrent que :

La moyenne des charges est de 4948,187 DT tandis que **la médiane** est de 479,12 DT. Cette distribution est asymétrique et étalée à droite avec une skewness supérieure à zéro.

Il y'a une concentration des données plus importante autour de la moyenne : une **kurtosis** positive (leptokurtique) avec des queues plus épaisses (plus de valeurs extrêmes) :
L'épaisseur des queux est beaucoup plus importante que la loi Normal : Kurtosis= 19,58 > 3 « Kurtosis de la Loi Normal ». Cet aspect témoigne de l'existence de valeurs extrêmes inquiétantes par rapport à la moyenne avec une fréquence pouvant être élevée.

La distribution des charges des sinistres ne suit pas une loi Normale, indiqué par le test de **Jarque-Bera** en donnant un résultat de 7408,672 avec une probabilité qui est inférieure à 5% : On rejette l'hypothèse nulle relative à la normalité de la distribution. C'est ainsi que nous avons appliqué une technique de boostrap qui nous a permis de déterminer la loi de distribution des charges des sinistres attritionnels.

- **Statistique descriptive des charges attritionnels par famille d'activité :**

Tableau 15 : Tableau des moyennes et des variances des familles :

	Nombre des sinistres	***Moyenne des charges***	***Ecart-type***	***CV***
FA1	7	12 015,14	18 247,16	151,87
FA2	8	5 519,23	8 679,54	157,26
FA3	5	5 789,31	6 720,54	116,09
FA4	**27**	**27 162,53**	**117 914,90**	**434,11**
FA5	21	30 898,11	90 552,89	293,07
FA6	**4**	**122 477,80**	**235 252,80**	192,08
FA7	3	2460,374	7970,858	323,97
FA8	37	22 243,61	56 209,36	252,70
FA10	276	9 956,79	43 962,03	**441,53**
FA11	131	7 462,83	32 924,59	**441,18**

Source : élaboré par l'auteur, sortie Eviews

Interprétation des résultats :

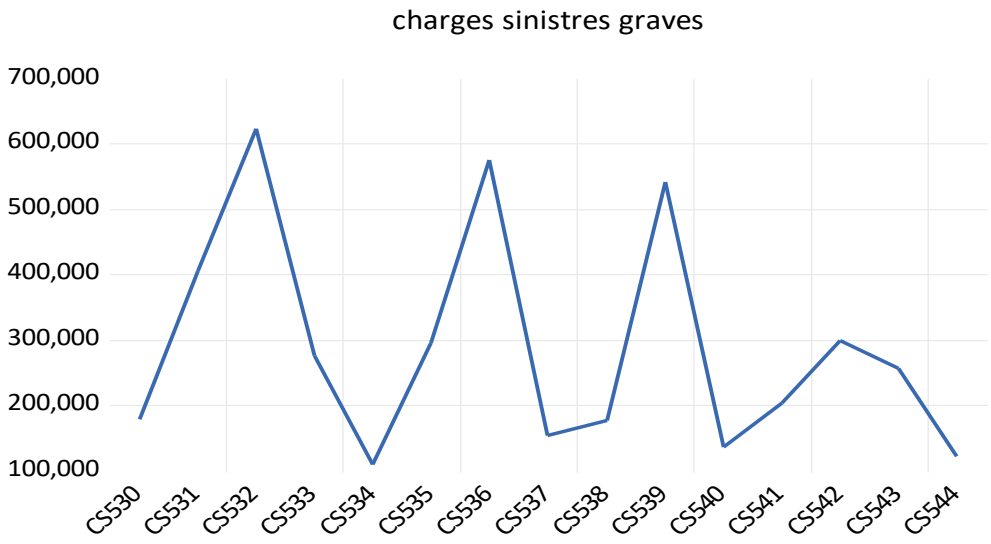
- La famille d'activité 6 présente la moyenne des charges la plus élevée, atteignant 122 477,80, avec un écart type important de 235 252,80. Cependant, elle représente la fréquence la plus faible en termes de nombre de sinistres.
- La famille d'activité 4 affiche également une fréquence faible des sinistres accompagnée d'une variation significative des charges des sinistres.
- Le coefficient de variation (CV) permet de comparer la variabilité des charges des sinistres par rapport à leur moyenne. Ainsi, Les familles d'activité FA4, FA10 et FA11 présentent les coefficients de variation les plus élevé.

- Il s'agit bien d'un **risque d'intensité** où les charges des sinistres se caractérisent par une fréquence faible avec une sévérité assez élevée.
- En d'autres termes, ces résultats mettent en évidence la **difficulté de la Tarification** qui découle essentiellement de l'**hétérogénéité** des données à travers les familles d'activités.

Les charges des sinistres graves :

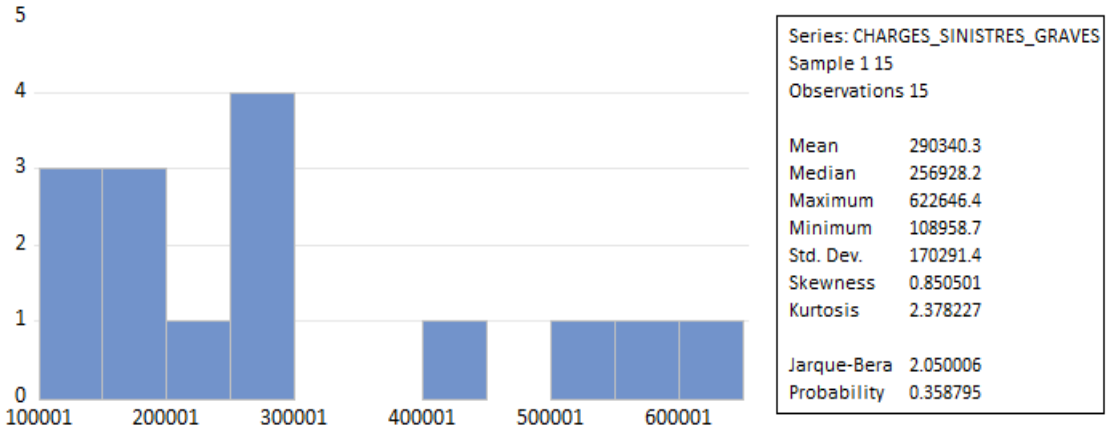
Le graphique ci-dessous montre une forte volatilité des charges de sinistres, à la hausse comme à la baisse, sur une période de couverture allant de 2016 à 2022, avec une valeur maximale de 622 646,6 DT et un minimum de 10 898,7 DT. Ces charges sont classées par ordre croissant des dates de survenance et qui montrent des pics marquants.

Figure 14 : Distribution des charges des sinistres graves :



Source : élaboré par l'auteur, sortie Eviews

Figure 15 : Histogramme et Statistiques des charges des sinistres graves :



Source : élaboré par l'auteur, sortie Eviews

Les résultats présentés dans le graphique ci-dessus prouvent la forte volatilité de la distribution des charges des sinistres. En effet, l'écart type est de l'ordre de 170291,4.
De plus, ces résultats montrent que :

→ **La moyenne** des charges est de 290 340,3 DT tandis que **la médiane** est de 256 928,2 DT. Cette distribution est asymétrique et étalée à droite avec une skewness supérieure à zéro.
→ Il y'a une concentration des données plus importante autour de la moyenne : une **kurtosis** positive (leptokurtique) avec des queues plus épaisses (plus de valeurs extrêmes)
→ La distribution des charges des sinistres : la moyenne des charges tend vers la médiane et la probabilité du test de Jarcque-Bera est supérieur à 0,05. De ce fait, on accepte l'hypothèse H0 de la normalité de distribution.

Statistique descriptive des charges graves par famille d'activité :

Tableau 16 : Statistique descriptive des charges graves par famille d'activité

	Nombre des sinistres	*Moyenne des charges*	*Ecart type*	*CV*
FA10	4	320 888,36	179 874,05	56,06
FA11	3	204 152,90	95 270,75	46,67
FA4	**1**	**622 646,44**	-	-
FA5	2	291 102,38	162 373,17	55,78
FA6	**1**	**541 553,86**	-	-
FA8	4	178 171,99	69 581,98	39,05

Source : élaboré par l'auteur, sortie Eviews

Interprétation des résultats :

- Le nombre de sinistres graves est faible mais qui il correspond à une charge moyenne élevée, accompagnée d'un écart-type important. Cela indique une grande variabilité des coûts par sinistre, suggérant que certains sinistres sont particulièrement coûteux.
- Les données sont fortement dispersées autour de la moyenne. Il y a une grande variabilité dans les valeurs observées, ce qui suggère que les données sont très éloignées de la moyenne. Le CV indique une imprévisibilité accrue.

→ Même si la plupart des charges sont élevées, il y'a une diversité notable des charges.

- Une grande variabilité pour FA10, FA11, FA5 et FA8 : il s'agit d'un **Risque d'intensité.**

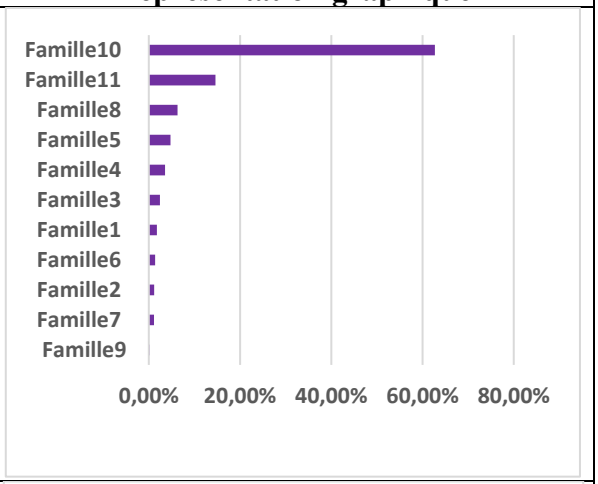
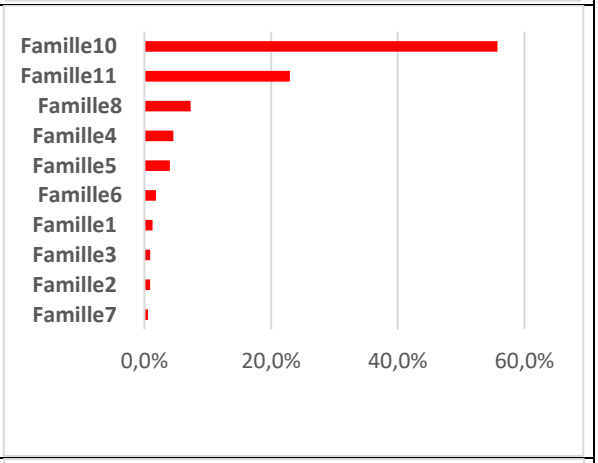
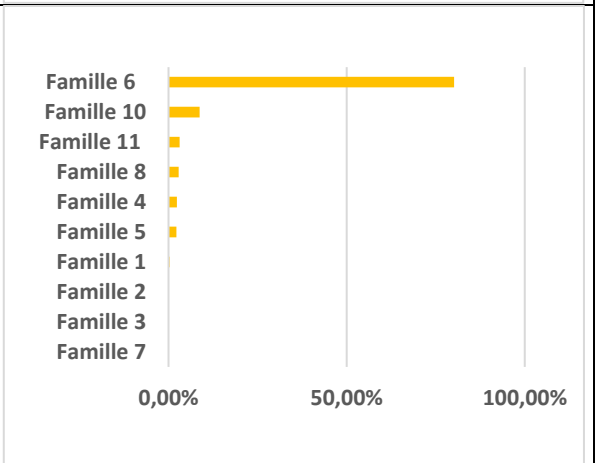
3.5. Analyse univariée et bivariée entre les variables :

3.5.1. Analyse univariée :

Suite au traitement préliminaire des données statistiques issues de la base de données, nous disposons des informations suivantes :

- Le pourcentage de nombre des polices par risque pour chaque famille d'activité
- Le nombre de sinistres par famille d'activité
- Les charges de sinistres par famille d'activité

Tableau 17 : analyse univariée des variables :

Variable	Interprétation	Représentation graphique
Pourcentage de polices par risque	La Famille 10 occupe la part la plus importante en termes de nombre de polices par risque, représentant plus de **62 %** du total des polices. Elle est suivie par la Famille 11 et les autres familles d'activités.	
Nombre des sinistres	Le nombre des sinistres le plus élevé provient essentiellement de la famille 10 : autres risques d'entreprises et qui représentent **55,74 %** du total des sinistres.	
Charges des sinistres	On constate que la famille 6 : Industries du papier et du carton est la famille d'activité la plus sinistré représentant **80,16%** du total des charges des sinistres.	

Source : élaboré par l'auteur

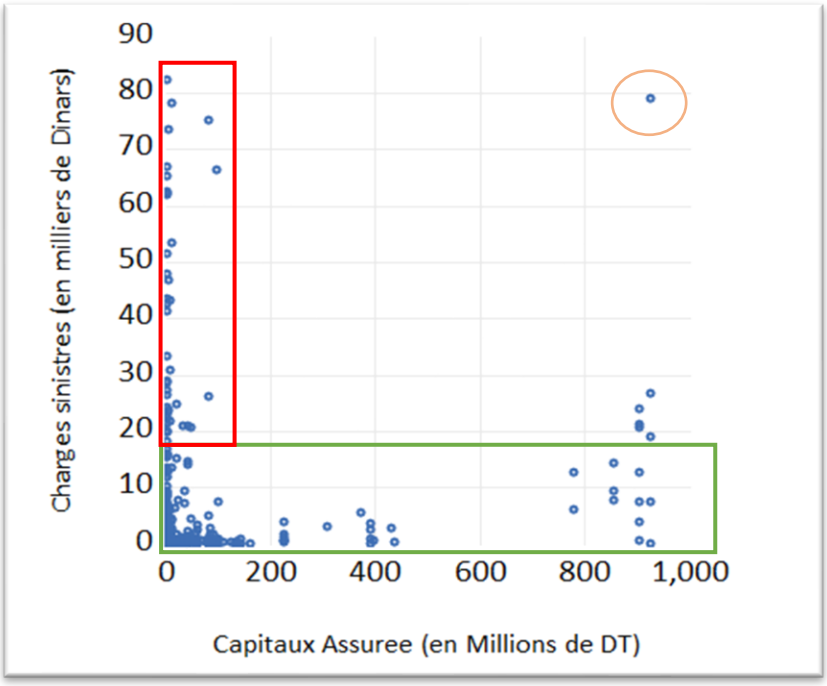
Ce tableau présente de manière synthétique les variables de la base de données du portefeuille de la branche incendie de GAT ASSURANCES. Cette analyse descriptive des variables est effectuée pour identifier leur lien potentiel avec le tarif à proposer.

3.5.2. Analyse bivariée :

Avant de passer à la modélisation de la probabilité de survenance d'incendie d'une part et de la charge des sinistres d'autre part, il est indispensable d'étudier les liens entre la variable à expliquer et les variables explicatives. Pour ce faire, nous allons procéder à une analyse bivariée.

- **Analyse bivariée entre la variable explicative et la variable à expliquer :**

Figure 16 : Relation entre les charges des sinistres attritionnels et les capitaux assurés :



Source : élaboré par l'auteur, sortie Eviews

→ **La zone verte** indique que, lorsque la valeur des capitaux assurés est faible, les charges des sinistres tendent également à être réduites. Cela concerne principalement les sinistres partiels, où les charges des sinistres sont inférieures aux capitaux assurés. Cette situation est généralement considérée comme Normal, car avec un capital assuré moins élevé, les charges maximales en cas de sinistre sont logiquement plus faibles. En d'autres termes, un montant de capital assuré réduit limite le montant que l'assureur devra verser, ce qui entraîne des charges totales plus basses.

→ **La zone rouge** indique un taux d'endommagement très élevé, où les charges des sinistres dépassent les capitaux assurés. Dans le contexte de l'assurance incendie, cela signifie que les sinistres sont considérés comme totaux. Lorsque les charges de sinistres

excèdent les capitaux assurés, cela indique que les dégâts causés par l'incendie sont si importants que la valeur de reconstitution ou de remplacement des biens endommagés dépasse le montant de couverture prévu par l'assurance. Cette situation révèle une situation où l'assuré subit des pertes considérables par rapport au montant de l'indemnité assurée, ce qui représente un risque financier important pour l'assureur, étant donné que les charges des sinistres sont beaucoup plus élevées que les capitaux assurés couverts par le contrat d'assurance incendie.

→ **La zone orange** indique des sinistres exceptionnels où les charges sont élevées mais restent couvertes par des capitaux également élevés. Bien que les coûts des sinistres soient importants, ils sont inférieurs aux montants assurés, ce qui représente un risque élevé mais encore géré pour l'assureur.

Tableau 18 : Coefficient de corrélation entre les charges attritionnels et les capitaux assurés

	Capitaux assurées	Charges des sinistres
Capitaux assurées	1.00	0,316
Charges des sinistres	0,316	1.00

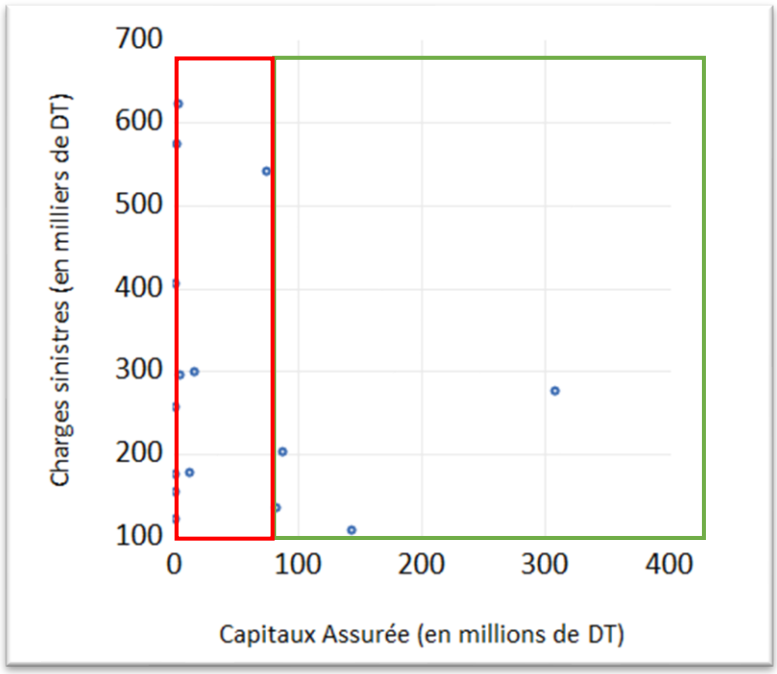
Source : élaboré par l'auteur, sortie Eviews

Le tableau ci-dessus indique que le coefficient de corrélation entre les capitaux assurés et les charges des sinistres attritionnels est de 0,316, ce qui montre une relation faible entre ces deux variables. En d'autres termes, les variations des capitaux assurés n'expliquent qu'une petite part des variations des charges des sinistres. Plus précisément :

→ **Indépendance relative** : Les charges des sinistres attritionnels semblent être peu influencées par les montants des capitaux assurés. D'autres facteurs, tels que la fréquence des sinistres et les familles d'activités, jouent un rôle plus important.

⟹ En conclusion, les analyses révèlent l'inexistence d'une relation étroite et linéaire entre les capitaux assurées et les charges des sinistres, indiquant une relation de dépendance relative entre ces deux variables : il faut aboutir à **une analyse multivariée.**

Figure 17 : Relation entre les charges des sinistres graves et les capitaux assurés :



Source : élaboré par l'auteur, sortie Eviews

→ **La zone verte** indique des sinistres partiels, où les charges des sinistres sont inférieures aux capitaux assurés. Dans ce contexte, cela signifie que même en cas de sinistre grave, les pertes financières ne dépassent pas la valeur totale des capitaux assurés. Autrement dit, bien que le sinistre soit significatif, les charges engendrées par celui-ci restent sous la limite de couverture. Ce type de situation reflète une certaine sécurité pour l'assureur, car les pertes sont limitées par rapport aux montants assurés, minimisant ainsi le risque d'indemnisation excessive par rapport aux capitaux couverts par le contrat d'assurance incendie.

→ **La zone rouge** représente des sinistres où le taux d'endommagement est extrêmement élevé, signifiant que les charges des sinistres dépassent les capitaux assurés. Dans ce contexte, il s'agit de sinistres totaux, c'est-à-dire des situations où les dommages sont si graves que les coûts de reconstruction ou de remplacement des biens endommagés excèdent la valeur assurée.

Tableau 19 : Coefficient de corrélation entre les charges graves et les capitaux assurés

	Capitaux assurées	Charges des sinistres
Capitaux assurées	1.00	0,156
Charges des sinistres	0,156	1.00

Source : élaboré par l'auteur, sortie Eviews

Le tableau ci-dessus montre que le coefficient de corrélation entre les charges des sinistres graves et les capitaux assurées est très faible de l'ordre 0,156. Cela signifie que les variations dans le montant des capitaux assurés n'ont qu'un impact limité sur les charges des sinistres graves.

⟹ Absence de relation de dépendance entre les charges des sinistres graves et les capitaux assurées associées à ses sinistres.

→ Une analyse bivariée ne suffit pas, il faut aboutir à **une analyse multivariée.**

Section 4 : Modélisation de la fréquence et de la sévérité des charges des sinistres :

4.1 Modélisation de la fréquence :

La modélisation de la fréquence des sinistres est une composante essentielle de la gestion des risques en assurance non-vie. Elle permet aux assureurs de prévoir les pertes potentielles, de fixer les primes de manière adéquate et de maintenir la solvabilité de l'entreprise. La littérature, notamment les travaux de Denuit et Charpentier (2009), souligne l'importance de choisir des modèles statistiques appropriés pour estimer cette fréquence. Parmi les modèles disponibles, le modèle Logit binaire se distingue par sa capacité à modéliser la probabilité d'occurrence d'un sinistre en fonction de diverses caractéristiques, offrant ainsi une approche pertinente pour estimer la fréquence des sinistres.

En effet, la modélisation de la fréquence nécessite la démarche suivante :

- Sélection de modèle Logit Binaire
- Estimation des coefficients de régression
- Procédure de sélection des variables.

4.1.1. Sélection de modèle :

Le modèle Logit binaire est particulièrement adapté pour la modélisation de la fréquence des sinistres car il permet d'estimer la probabilité d'occurrence d'un événement binaire, tel que la survenance ou l'absence d'un sinistre. Dans ce modèle, la variable **Y** est une variable binaire qui prend la valeur 1 pour les risques ayant présenté des sinistres et 0 pour ceux n'ayant pas eu de sinistre. En utilisant la fonction logistique, le modèle estime la probabilité que l'événement d'intérêt se produise, en prenant en compte plusieurs variables explicatives.

En effet, le modèle Logit est couramment utilisé pour modéliser des variables dépendantes binaires ou catégorielles et qui s'écrit sous la forme suivante :

$$\text{Logit}(P(Y=1/X) = \text{Log}\left(\frac{P(Y=1/X)}{P(Y=0/X)}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots + \beta_k X_k$$

- P(Y=1|X) est la probabilité que Y prenne la valeur 1 conditionnellement aux valeurs des variables explicatives X.
- β_0 Est l'ordonnée à l'origine (intercept).
- $\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_k$ sont les coefficients des variables explicatives $X_1, X_2, \ldots, X_k$

4.1.2. Estimation des coefficients de la régression Logit :

Après avoir sélectionné le modèle approprié pour la fréquence des sinistres, il est nécessaire d'estimer les coefficients associés à chaque catégorie des variables explicatives. Cette estimation des coefficients se fait à l'aide du modèle Logit. Pour cela, nous avons extrait de notre base de données un échantillon composé de 423 risques associés à des polices ayant connu des sinistres, ainsi que de 423 risques associés à des polices n'ayant pas connu de sinistres.

Les résultats de l'estimation des coefficients de régression du modèle Logit sont présentés dans la figure ci-dessous :

Figure 18 : Estimation des coefficients de régression du modèle de fréquence

Dependent Variable: Y
Method: ML - Binary Logit (Newton-Raphson / Marquardt steps)
Date: 08/22/24 Time: 16:22
Sample: 1 846
Included observations: 846
Convergence achieved after 5 iterations
Coefficient covariance computed using observed Hessian

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
FA1	-2.095668	0.688788	-3.042543	0.0023
FA2	-2.107042	0.688836	-3.058845	0.0022
FA3	-3.375477	0.692809	-4.872159	0.0000
FA4	-2.293875	0.595563	-3.851610	0.0001
FA5	-1.651250	0.584231	-2.826364	0.0047
FA6	-1.113288	0.826295	-1.347325	0.1779
FA10	-2.155357	0.483074	-4.461754	0.0000
FA11	-2.109376	0.494812	-4.262984	0.0000
DUREE	-0.208383	0.069633	-2.992595	0.0028
C	2.302552	0.478373	4.813294	0.0000

McFadden R-squared	0.060959	Mean dependent var	0.500000
S.D. dependent var	0.500296	S.E. of regression	0.484341
Akaike info criterion	1.325427	Sum squared resid	196.1140
Schwarz criterion	1.381462	Log likelihood	-550.6557
Hannan-Quinn criter.	1.346896	Deviance	1101.311
Restr. deviance	1172.805	Restr. log likelihood	-586.4025
LR statistic	71.49360	Avg. log likelihood	-0.650893
Prob(LR statistic)	0.000000		

Obs with Dep=0	423	Total obs	846
Obs with Dep=1	423		

Source : élaboré par l'auteur, sortie Eviews

D'après les résultats obtenus de l'estimation des coefficients de régression du modèle Logit binaire, la probabilité de réalisation de sinistre peut être exprimée en appliquant la formule générale suivante :

$$\rightarrow \mathbf{P(Y=1)} = \frac{1}{1+e^{-\left(\beta_0+\sum_{j=1}^{n}\beta_j * FA_j+\theta * \text{Durée}\right)}}$$

Si on note : $\mathbf{D}= \beta_0 + \sum_{j=1}^{n} \beta_j * FA_j + \theta * \text{Durée}$

→ L'écriture devient : $\mathbf{P(Y=1)} = \frac{1}{1+e^{-D}}$

De ce fait, pour estimer la probabilité de réalisation des sinistres pour chaque famille d'activité, on utilise la formule spécifique correspondante. Par exemple, pour la famille d'activité 1, la probabilité de réalisation d'un sinistre est calculée comme suit :

P(Y=1) = F_{logit}(2,302 – 2,095-0,208*Durée)

P(Y=1) = F_{logit}(0,206-0,208*Durée) $= \frac{1}{1+e^{-(0,206-0,208*\text{Durée})}}$

Interprétation des résultats :

Les résultats de l'estimation du modèle Logit binaire montrent que plus la durée augmente, plus la probabilité d'occurrence d'un sinistre diminue, c'est-à-dire que P (Y=1) est faible. En d'autres termes, une augmentation de la durée entraîne une baisse de la probabilité de survenance de sinistre pour la famille d'activités 1 : extraction et préparation des minerais, minéraux divers et combustibles minéraux solides, ainsi que la métallurgie.
Ce constat est d'autant plus pertinent que l'effet de la durée s'avère statistiquement significatif. Il met en évidence l'importance de cette variable dans l'évaluation du risque. Ces résultats fournissent ainsi aux assureurs des bases solides pour mieux adapter les primes et les couvertures, en tenant compte du temps d'exposition au risque.

Pour la famille d'activité 2 : P(Y=1) = F_{logit}(2,302 – 2,107 - 0,208* Durée)

→ **P(Y=1) = F_{logit}(0,195-0,208*Durée)**

→ **P(Y=1)** $= \frac{1}{1+e^{-(0,195-0,208*\text{Durée})}}$

Il existe également une relation inverse entre la durée de risque et la probabilité de survenance de sinistre : le coefficient négatif indique que plus la durée de risque augmente, plus la probabilité de survenance d'un sinistre diminue.

- Cette approche d'estimation de la probabilité de survenance de sinistre peut être reproduite pour chacune des familles d'activités, permettant ainsi une analyse plus fine et spécifique à chaque secteur. Une telle approche offre une vision plus précise des risques, favorisant une tarification mieux adaptée.

En supposant que la durée moyenne d'exposition au risque soit de 365 jours, les probabilités de survenance de sinistre pour chaque famille d'activités sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 20 : fréquence par activité

Famille d'activité	P(Y=1)
FA3	74,86%
FA4	54,96%
FA10	51,50%
FA11	50,35%
FA2	50,30%
FA1	50,02%
FA6	27,27%
FA5	39,08%

Source : élaboré par l'auteur

Le tableau révèle que pour une durée de risque constante, la famille d'activité FA3, correspondant aux "Travaux des métaux et industries électriques", est la plus exposée au risque d'incendie en termes de fréquence, avec la probabilité de sinistre la plus élevée. Elle est suivie par la famille FA4, dédiée aux "Industries chimiques et para-chimiques", puis par la famille FA10, qui inclut notamment les dépôts. En revanche, la famille FA5, correspondant aux industries textiles, présente une probabilité de sinistre nettement plus faible.

Interprétation des résultats :

- Signe des coefficients :

$$\frac{dP(Y=1)}{d\,X} = \beta_j * f\,(const + \beta_j * FA_j)$$

Avec β_j : est un coefficient d'aggravation du nombre de sinistralité.

- Tous les β_j sont de signe négatif, cela signifie que l'effet des différentes familles d'activités sur le niveau de sinistralité est bénéfique pour les assureurs.
- $\beta_j < 0$, indique que pour chaque unité d'augmentation dans la variable correspondante (famille d'activité), il y a une réduction du niveau de sinistralité.
- Constante positive, cela signifie que même en l'absence de toutes les variables explicatives (les différentes familles d'activités), il y a un certain niveau de sinistralité de base. Ce niveau de sinistralité est indépendant des autres facteurs pris en compte dans le modèle.

- Significativité des coefficients :

- Les familles d'activité : FA1, FA2, FA3, FA4, FA5, FA10 et FA11 sont significatives (p-value < 0,05), cela suggère que les variables explicatives associée ont un impact réel sur la probabilité de survenance de sinistre.
- La constante est significative, ce qui signifie qu'il est nécessaire d'ajouter d'autres variables explicatives au modèle, car certaines n'ont pas encore été prises en compte.
- La famille d'activité FA6, semble être non significative dans le modèle Logit.
- La variable "durée de Risque" est significative, mais son pouvoir explicatif est faible.

- La qualité d'ajustement de la régression :

- Un faible R-squared McFadden indique que le modèle Logit binaire n'explique pas bien la variation dans la variable dépendante (par exemple, la survenue d'un sinistre). Autrement dit, les variables explicatives incluses dans le modèle ne capturent pas suffisamment bien les facteurs qui influencent l'événement d'intérêt.

→ Mauvaise qualité d'ajustement de la régression.

Modélisation à quatre niveaux :

Nous avons également opté pour un modèle Logit ordonné à 4 modalités, notées Z. Ces modalités sont définies comme suit : 1 pour zéro sinistre, 2 pour les sinistres avec des charges attritionnels, 3 pour les sinistres graves, et 4 pour les sinistres atypiques. Les résultats de l'estimation des coefficients de régression sont présentés en annexe. Finalement, notre choix s'est porté sur le modèle Logit binaire pour l'estimation des coefficients de régression.

4.1.3. Procédure de sélection des variables :

Pour cette étape, nous utiliserons le critère AIC pour ajouter et éliminer des variables explicatives les moins significatives, afin de sélectionner le modèle optimal.

Tableau 21 : Tableau de critère AIC

AIC	AIC *
1,325427	1,325061

Source : élaboré par l'auteur, sortie Eviews

AIC* concerne le modèle Logit en supprimant la famille d'activité 6.

Tableau 22 : Estimation des coefficients de régression du modèle de fréquence :

Dependent Variable: Y
Method: ML - Binary Logit (Newton-Raphson / Marquardt steps)
Date: 08/23/24 Time: 11:00
Sample: 1 846
Included observations: 846
Convergence achieved after 6 iterations
Coefficient covariance computed using observed Hessian

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
FA1	-1.805807	0.628836	-2.871667	0.0041
FA2	-1.817199	0.628892	-2.889525	0.0039
FA3	-3.085615	0.633237	-4.872761	0.0000
FA4	-2.004020	0.525073	-3.816650	0.0001
FA5	-1.361401	0.512186	-2.658020	0.0079
FA10	-1.865480	0.392889	-4.748113	0.0000
FA11	-1.819536	0.407247	-4.467899	0.0000
DUREE	-0.208703	0.069773	-2.991182	0.0028
C	2.013009	0.387229	5.198497	0.0000

McFadden R-squared	0.059518	Mean dependent var	0.500000
S.D. dependent var	0.500296	S.E. of regression	0.484339
Akaike info criterion	1.325061	Sum squared resid	196.3472
Schwarz criterion	1.375493	Log likelihood	-551.5010
Hannan-Quinn criter.	1.344384	Deviance	1103.002
Restr. deviance	1172.805	Restr. log likelihood	-586.4025
LR statistic	69.80303	Avg. log likelihood	-0.651892
Prob(LR statistic)	0.000000		

Obs with Dep=0	423	Total obs	846
Obs with Dep=1	423		

Source : élaboré par l'auteur, sortie Eviews

D'après cette procédure, nous remarquons que le modèle le plus approprié est celui du modèle choisi dans l'estimation des coefficients de régression ayant l'AIC le plus faible.

4.2 Modélisation du coût moyen :

4.1.4. Modélisation des charges des sinistres attritionnels :

La détermination de la loi de distribution des charges des sinistres présente plusieurs défis complexes. Contrairement à d'autres types de données, les sinistres ne suivent pas une distribution Normale :

- Il y'a une forte concentration des données autour de la moyenne majorée d'une grande volatilité de l'ordre de 12434,53.
- Les événements de sinistres majeurs sont rares, ce qui limite la quantité de données disponibles pour estimer avec précision la distribution des sinistres.
- Le manque de données historiques complique encore plus la mission de modélisation.

Cependant, la technique de **Box et Muller** peut être utilisé pour la détermination de la loi de distribution.

- Mécanisme :

La méthode de **Box-Muller** est une technique utilisée pour générer des nombres pseudo-aléatoires suivant une distribution Normale (ou gaussienne) à partir de nombres pseudo-aléatoires uniformément distribués. Cette méthode a été développée par George E.P. Box et Mervin E. Muller en 1958.

Soient U_1 et U_2 deux variables aléatoires indépendantes uniformément distribués dans]0,1].

Soient

$$Z_0 = R\cos(\Theta) = \sqrt{-2\ln U_1}\cos(2\pi U_2)$$

$$Z_1 = R\sin(\Theta) = \sqrt{-2\ln U_1}\sin(2\pi U_2)$$

Alors Z_0 et Z_1 sont des variables aléatoires indépendantes suivant une Loi Normal centrée réduite : $Z_0, Z_1 \longrightarrow$ **N (0,1)**

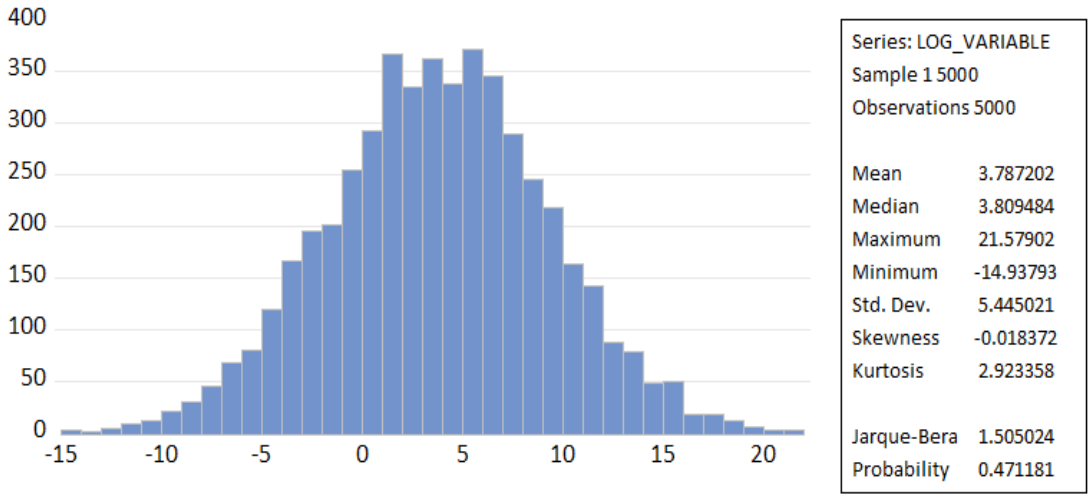
Donc $\sigma Z_1 + \mu \longrightarrow$ **N** $(\mu, \sigma 2)$

Et puisque X suit la Loi Log Normal $(\mu, \sigma 2)$ alors $Z_1 = \ln(X)$ avec $Z_1 \longrightarrow$ **N (0,1)**

En effet, grâce à cette technique le nombre des sinistres sont passé de 549 à 5000 sinistres.

❖ Distribution de Log (charges_sinistres_attritionnels)

Figure 19 : statistiques descriptives des charges des sinistres attritionnels :



Source : élaboré par l'auteur, sortie Eviews

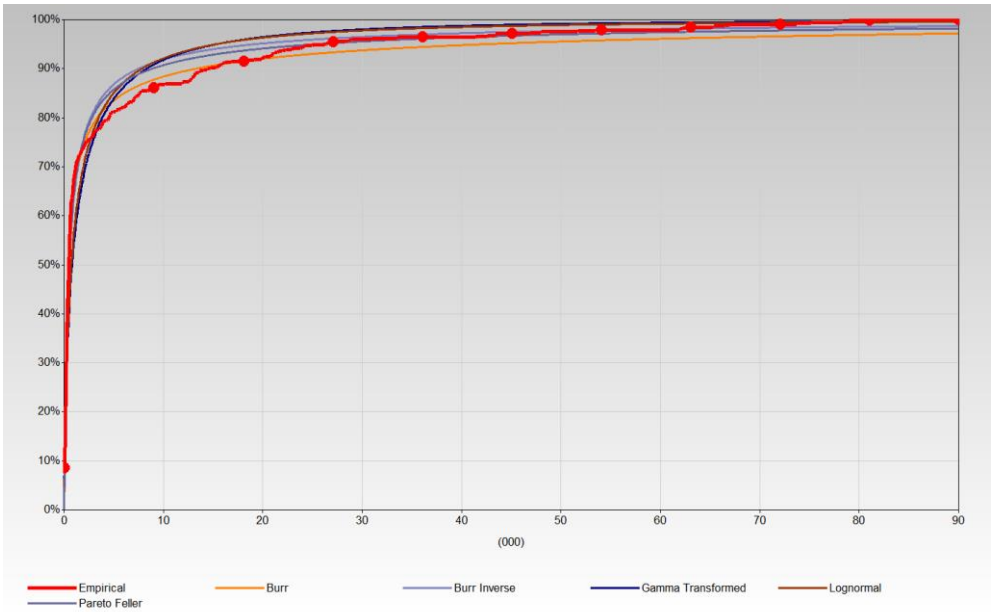
Interprétation :

La moyenne des charges tend vers la médiane et la probabilité du test de Jarcque-Bera est supérieur à 0,05. De ce fait, on accepte l'hypothèse H0 de la normalité de distribution.

a) Choix de loi de probabilité :

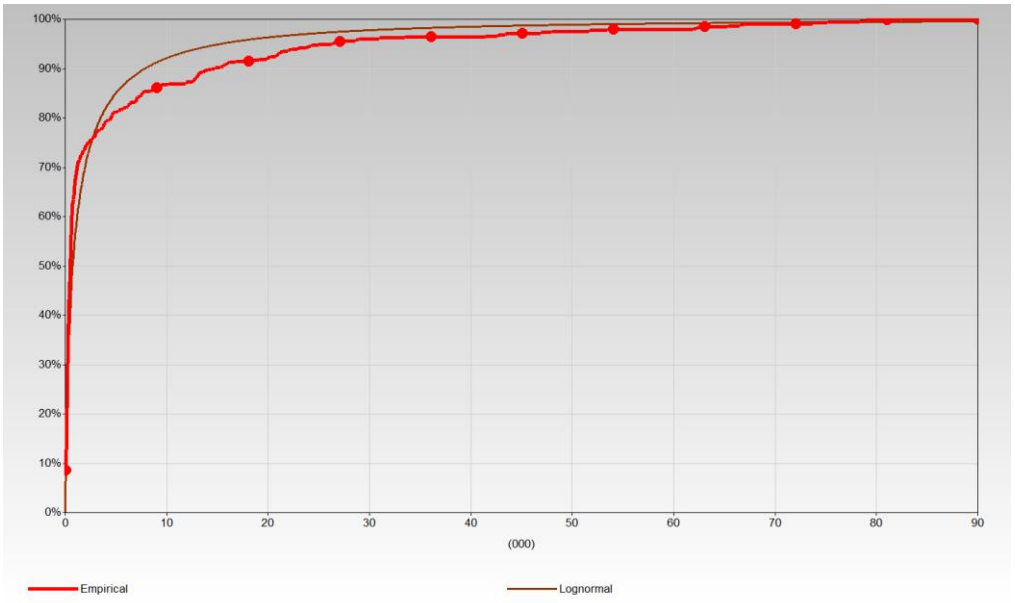
Pour choisir la loi de probabilité, j'ai opté pour le critère graphique. Le graphique suivant illustre l'ajustement de la densité des charges des sinistres par différentes lois de probabilité.

Figure 20 : critère graphique du choix de loi de probabilité :



Source : élaboré par l'auteur, sortie Eviews

Figure 21 : La distribution de la loi Log-Normal :



Source : élaboré par l'auteur, sortie Eviews

- Les résultats empiriques du test Log_Normal :

Figure 22 : Résultat du test de Loi de probabilité

Empirical Distribution Test for CHARGES_SINISTRES_ATTRITIONNELS
Hypothesis: Normal
Date: 08/23/24 Time: 13:20
Sample: 1 5000
Included observations: 5000

Method	Value	Adj. Value	Probability
Lilliefors (D)	0.009199	NA	> 0.1
Cramer-von Mises (W2)	0.051972	0.051977	0.4828
Watson (U2)	0.049636	0.049641	0.4741
Anderson-Darling (A2)	0.314723	0.314770	0.5442

Method: Maximum Likelihood - d.f. corrected (Exact Solution)

Parameter	Value	Std. Error	z-Statistic	Prob.
MU	3.787202	0.077004	49.18174	0.0000
SIGMA	5.445021	0.054456	99.99000	0.0000

Log likelihood	-15567.70	Mean dependent var.	3.787202
No. of Coefficients	2	S.D. dependent var.	5.445021

Source : élaboré par l'auteur, sortie Eviews

Interprétation des résultats :

→ Les charges des sinistres attritionnels suivent une loi Log-Normal de paramètres μ=3,787 et σ=5,445 estimés par la méthode du maximum de vraisemblance. Cette estimation donne un log-vraisemblance de -15567,7.

Nous pouvons dire que $\boldsymbol{X \rightsquigarrow (m, \sigma\ 2)}$, $\boldsymbol{si\ Y = \ln X \rightsquigarrow \mathcal{N}(m, \sigma\ 2)}$. La fonction de densité de probabilité de X est la suivante :

$$f_X(x) = \begin{cases} \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x)-\mu}{\sigma}\right)^2\right), \text{si } x > 0, \\ 0, \text{sinon.} \end{cases}$$

Avec une espérance mathématique : E(X) = E (e^Y) = $e^{(m+\ \sigma 2\ /2\ )}$, et une Variance :

Var (X) = Var (e^Y) = (1− e− σ2) $(e^{2(m+\ \sigma 2\ )}$)

b) Estimation des coefficients de régression :

Une fois que nous avons déterminé la Loi de probabilité, on peut estimer les paramètres du modèle GLM à travers le logiciel Eviews. Les résultats du modèle sont les suivants :

Figure 23 : Estimation des coefficients de régression du modèle de coût moyen des charges attritionnels

Dependent Variable: CHARGES_SINISTRES_ATTRITIONNELS
Method: Generalized Linear Model (Newton-Raphson / Marquardt steps)
Date: 08/23/24 Time: 11:46
Sample: 1 529
Included observations: 529
Family: Normal
Link: Identity
Dispersion computed using Pearson Chi-Square
Convergence achieved after 1 iteration
Coefficient covariance computed using observed Hessian

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
FA1	7.643753	0.674929	11.32527	0.0000
FA2	6.789891	0.631981	10.74382	0.0000
FA3	7.664834	0.796806	9.619445	0.0000
FA4	5.518303	0.354532	15.56502	0.0000
FA5	6.412372	0.393090	16.31274	0.0000
FA6	8.191434	0.889609	9.207906	0.0000
FA7	5.396711	0.498696	10.82164	0.0000
FA8	6.610068	0.302499	21.85155	0.0000
FA10	6.364416	0.148123	42.96724	0.0000
FA11	6.020743	0.177318	33.95447	0.0000
CAPITAUX_ASSURES	0.002488	0.000474	5.251450	0.0000
DUREE	0.187658	0.092877	2.020495	0.0433

Mean dependent var	6.603482	S.D. dependent var	1.844751
Sum squared resid	1622.721	Root MSE	1.751436
Log likelihood	-1047.158	Akaike info criterion	4.004378
Schwarz criterion	4.101263	Hannan-Quinn criter.	4.042304
Deviance	1622.721	Deviance statistic	3.138726
Pearson SSR	1622.721	Pearson statistic	3.138726
Dispersion	3.138726		

Source : élaboré par l'auteur, sortie Eviews

Le modèle GLM peut être exprimé de la manière suivante :

$$\mathbf{G(E(Z/X) = } \widehat{\boldsymbol{\beta_0}} + \widehat{\boldsymbol{\beta_1}}\boldsymbol{X_1} + \widehat{\boldsymbol{\beta_2}}\boldsymbol{X_2} + \ldots + \widehat{\boldsymbol{\beta_p}}\boldsymbol{X_p}$$

Où Z représente les charges des sinistres attritionnels, et les X_i sont les variables explicatives**.**

Ainsi, en tenant compte des résultats de l'estimation des coefficients de régression pour le coût moyen, le modèle devient :

G(E(Z/X) = 0,00248* CAPITAUX_ASSURES+ 0,187*DUREE + 7,64 * FA1 + 6,78 * FA2 + 7,66 * FA3+ 5,51 * FA4+ 6,41* FA5+ 8,19 * FA6+ 5,39*FA7+ 6,61 * FA8 + 6,36 * FA10+ 6,02 * FA11

Cette formule décrit l'impact des variables explicatives, telles que les capitaux assurés, la durée du risque, et les 11 familles d'activités sur le coût moyen des sinistres attritionnels.

Interprétation des résultats :

- Toutes les variables explicatives sont significatives, ce qui signifie qu'elles ont un impact statistiquement significatif sur la variable dépendante (charges des sinistres).
- Les coefficients positifs des variables explicatives indiquent que lorsqu'une variable explicative « Famille d'activité » augmente, la variable dépendante « charges des sinistres » augmentent également.
- On peut estimer les paramètres du modèle GLM par la méthode MCO.

Un R-squared de 0,096 déterminé par la méthode MCO en annexe* montre que seulement 9,6% de la variance de la variable dépendante est expliquée par les variables explicatives du modèle. Cela peut indiquer que d'autres facteurs non inclus dans le modèle jouent un rôle important ou que le modèle pourrait bénéficier de transformations ou d'interactions entre les variables.

- ✓ **Application numérique :**

Une entreprise industrielle, dont l'activité principale provient essentiellement de la fabrication des métaux (FA3), bénéficie d'une couverture de risque d'une durée d'un an, pour une valeur des capitaux assurés de 1 million DT, son cout moyen est de :

$$\mathbf{E(CM) = } e^{(7{,}643+0{,}00248+0{,}1876)} \mathbf{= 2522{,}863\ DT}$$

Une entreprise industrielle dont son activité est la fabrication des papiers et des cartons (FA6), durée de couverture est de deux ans et pour une valeur des capitaux assurées de 1,5 M DT :

$$\mathbf{E(CM) = } e^{(8{,}191+1{,}5*0{,}00248+2*0{,}1876)} \mathbf{= 5270{,}708\ DT}$$

- ❖ En supposant que la durée moyenne de risque est d'une année pour des capitaux assurés de 1 million de DT, le coût moyen des charges attritionnels pour chaque famille d'activité est représenté dans le tableau suivant :

Tableau 23 : calcul de la sévérité des charges attritionnels par famille d'activité

Famille d'activité	Coût moyen en MDT
FA6	4461,47
FA3	2634,99
FA1	2580,02
FA2	1098,49
FA8	917,70
FA5	753,08
FA10	717,82
FA11	509,05

Source : élaboré par l'auteur

Le tableau présente le Coût moyen pour chaque famille d'activité en prenant en compte une durée de risque uniforme et des capitaux assurés identiques pour toutes les familles : De ce fait :

- **FA6 (Industries du papier et du carton, industries du cuir et du délainage)** : Cette famille présente les charges les plus élevées, avec un montant de 4461,47 MDT. Cela suggère que ce secteur est particulièrement coûteux en termes de sinistres ou de risques, ce qui peut être dû à la nature des activités ou aux types de sinistres rencontrés.
- **FA3 (Travaux des métaux et industries électriques)** : Avec un coût moyen de 2634,99 MDT, cette famille se place en deuxième position. Bien que les charges soient moins élevées que celles de FA6, elles restent significatives, indiquant un risque substantiel associé à ce secteur.
- **FA1 (Extraction et préparation des minerais et minéraux divers, de combustibles minéraux solides, métallurgie)** : Cette famille se situe en troisième position, avec des charges moyennes mais montrent tout de même une sévérité notable.
- **Les autres familles d'activités** : FA2, FA8, FA5, et FA10 présentent des charges variées, mais en général, elles se situent en dessous de celles des familles FA6, FA3, et FA1.
- **FA11 Services généraux et risques annexes concourant l'exploitation de l'établissement assuré :** Cette famille affiche les charges les plus faibles, ce qui indique qu'elle est moins impactée par les sinistres ou les coûts associés, suggérant un risque moindre ou une gestion plus efficace des sinistres dans ce secteur

4.1.5. Modélisation des charges des sinistres graves :

a) Choisir la loi de probabilité :

Avant de procéder à la modélisation, il est indispensable de déterminer la loi de probabilité des charges des sinistres graves :

Figure 24 : les résultats empiriques du test de loi Log_Normal :

Empirical Distribution Test for CHARGES_SINISTRES_GRAVES
Hypothesis: Normal
Date: 08/23/24 Time: 13:26
Sample: 1 15
Included observations: 15

Method	Value	Adj. Value	Probability
Lilliefors (D)	0.121616	NA	> 0.1
Cramer-von Mises (W2)	0.037834	0.039095	0.6987
Watson (U2)	0.036632	0.037853	0.6699
Anderson-Darling (A2)	0.280984	0.297843	0.5888

Method: Maximum Likelihood - d.f. corrected (Exact Solution)

Parameter	Value	Std. Error	z-Statistic	Prob.
MU	12.42632	0.146586	84.77131	0.0000
SIGMA	0.567727	0.107290	5.291503	0.0000

Log likelihood	-12.29235	Mean dependent var.	12.42632
No. of Coefficients	2	S.D. dependent var.	0.567727

Source : élaboré par l'auteur, sortie Eviews

→ Les charges des sinistres graves suivent la loi Log-Normal de paramètres μ=12,42 et σ=0,56 estimés par la méthode du maximum de vraisemblance. Cette estimation donne un log-vraisemblance de -12,292.

b) Estimation des coefficients de régression :

Les résultats de l'estimation des coefficients de régression montrent que le modèle GLM s'écrit de la façon suivante :

G(E(Z/X)) = 0,0008* CAPITAUX_ASSURES + 0,967* DUREE + 12,37* FA4+ 11,52* FA5+ 12,65 * FA6 + 11,14* FA8 + 11,59 * FA10+ 11,36 * FA11

Figure 25 : Estimation des coefficients de régression du modèle de coût moyen des charges graves

Dependent Variable: CHARGES_SINISTRES_GRAVES
Method: Generalized Linear Model (Newton-Raphson / Marquardt steps)
Date: 08/23/24 Time: 13:05
Sample: 1 15
Included observations: 15
Family: Normal
Link: Identity
Dispersion computed using Pearson Chi-Square
Convergence achieved after 0 iterations
Coefficient covariance computed using observed Hessian

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
FA4	12.37208	0.811996	15.23663	0.0000
FA5	11.52927	0.739394	15.59286	0.0000
FA6	12.65023	0.590681	21.41635	0.0000
FA8	11.14584	0.614990	18.12361	0.0000
FA10	11.59816	0.700444	16.55830	0.0000
FA11	11.36383	0.567709	20.01699	0.0000
CAPITAUX_ASSURES	0.000833	0.001811	0.460028	0.6455
DUREE	0.967126	0.658612	1.468430	0.1420

Mean dependent var	12.42632	S.D. dependent var	0.567727
Sum squared resid	1.582513	Root MSE	0.324809
Log likelihood	-6.132359	Akaike info criterion	1.884315
Schwarz criterion	2.261941	Hannan-Quinn criter.	1.880292
Deviance	1.582513	Deviance statistic	0.226073
Pearson SSR	1.582513	Pearson statistic	0.226073
Dispersion	0.226073		

Source : élaboré par l'auteur, sortie Eviews

Interprétation des résultats :

- Toutes les familles d'activité sont significatives, ce qui signifie qu'elles ont un impact statistiquement significatif sur la variable dépendante (charges des sinistres graves).
- Les résultats obtenus du modèle GLM, les variables "capitaux assurés" et "durée de risque" n'ont pas un effet statistiquement significatif sur la variable dépendante.
- Les coefficients positifs des variables explicatives indiquent que lorsqu'une variable explicative « Famille d'activité » augmente, la variable dépendante « charges des sinistres » augmentent également.

❖ En supposant que la durée moyenne de risque est d'une année pour des capitaux assurés de 1 million de DT, le coût moyen des charges graves pour chaque famille d'activité est représenté dans le tableau suivant :

Tableau 24 : calcul de la sévérité des charges graves par famille d'activité

Famille d'activité	Coût moyen en MDT
Famille6	541 446,75
Famille10	286 931,85
Famille5	267 266,08
Famille11	187 962,92

Source : élaboré par l'auteur

Le tableau montre que, pour une durée de risque constante, la famille d'activité FA6 (Industries du papier et du carton, industries du cuir et du délainage) présente un coût moyen particulièrement élevé, atteignant 541 446,75 MDT. Elle est suivie par les familles FA10, FA5 et FA11, qui enregistrent également des coûts très significatifs.

c) Procédure de sélection des variables :

Figure 26 : Estimation des coefficients de régression du modèle de coût moyen

Dependent Variable: CHARGES_SINISTRES_GRAVES
Method: Generalized Linear Model (Newton-Raphson / Marquardt steps)
Date: 08/23/24 Time: 13:14
Sample: 1 15
Included observations: 15
Family: Normal
Link: Identity
Dispersion computed using Pearson Chi-Square
Convergence achieved after 0 iterations
Coefficient covariance computed using observed Hessian

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
FA4	13.34173	0.488027	27.33810	0.0000
FA5	12.49689	0.345087	36.21370	0.0000
FA6	13.20220	0.488027	27.05218	0.0000
FA8	12.03844	0.244014	49.33513	0.0000
FA10	12.56722	0.244014	51.50212	0.0000
FA11	12.14482	0.281763	43.10303	0.0000

Mean dependent var	12.42632	S.D. dependent var	0.567727
Sum squared resid	2.143535	Root MSE	0.378024
Log likelihood	-7.523315	Akaike info criterion	1.803109
Schwarz criterion	2.086329	Hannan-Quinn criter.	1.800092
Deviance	2.143535	Deviance statistic	0.238171
Pearson SSR	2.143535	Pearson statistic	0.238171
Dispersion	0.238171		

Source : élaboré par l'auteur, sortie Eviews

- Critère de sélection :

Pour cette étape, nous utiliserons le critère AIC pour ajouter et éliminer des variables explicatives les moins significatives, afin de sélectionner le modèle optimal.

Tableau 25 : Tableau de comparaison de AIC :

AIC	AIC *
1,884	1,803

Source : élaboré par l'auteur, sortie Eviews

4.3 Calcul de la prime pure :

Après avoir présenté les deux modèles de fréquence et du coût moyen pour l'assurance incendie, nous allons présenter dans cette partie une synthèse des résultats. Nous savons que la prime pure se calcule selon la formule suivante :

Prime pure= Fréquence X Coût moyen

Avec

Prime pure calculé = prime pure calculé attritionnel + prime pure calculé grave

Pour calculer la prime attritionnelle et la prime pure des sinistres graves, il est nécessaire de répartir la fréquence et la sévérité des sinistres, puis de déterminer leur part relative par rapport au sinistre total.

Le tableau ci-dessous présente le pourcentage de répartition de la fréquence totale entre la fréquence des sinistres graves et la fréquence des sinistres attritionnels.

Tableau 26 : pourcentage de répartition de fréquence des sinistres attritionnels et sinistres graves

	coeff	cte	coeff durée	durée	Fréquence Total	% att	% grave	Fréquence attritionnel	F-grave
FA1	-2,095	2,302	-0,208	365	0,5002	100,00%	0,00%	0,5002	-
FA10	-2,155	2,302	-0,208	365	0,5152	98,94%	1,06%	0,5098	0,0055
FA11	-2,109	2,302	-0,208	365	0,5037	98,98%	1,02%	0,4986	0,0051
FA2	-2,107	2,302	-0,208	365	0,5032	100,00%	0,00%	0,5032	-
FA3	-3,375	2,302	-0,208	365	0,7826	95,65%	4,35%	0,7486	0,0340
FA4	-2,293	2,302	-0,208	365	0,5496	100,00%	0,00%	0,5496	-
FA5	-1,651	2,302	-0,208	365	0,3910	91,67%	8,33%	0,3584	0,0326
FA6	-1,113	2,302	-0,208	365	0,2727	90,91%	9,09%	0,2479	0,0248

Source : élaboré par l'auteur

Après la répartition des fréquences entre les sinistres graves et les sinistres attritionnels, nous procédons au calcul de la prime pure pour chaque catégorie. Ensuite, nous déterminons la prime nette, ce qui nous permet de calculer le taux de prime nette pour chaque famille d'activité. Il est ensuite crucial de comparer ces taux de prime nette avec ceux de GAT-ASSURANCES, afin d'évaluer la compétitivité et l'adéquation de nos primes par rapport aux standards du marché.

Voici les formules utilisées pour le calcul des rubriques de tableau ci-dessous :

- Prime pure Attritionnels (P.Pure Attri) = Sévérité Attri * Fréquence Attri
- Prime pure grave (P.Pure grave)= Sévérité graves * Fréquence Grave
- P.Pure calculé = P.Pure Attritionnels + P.Pure Graves
- Prime nette calculé = Prime pure calculé / (1-0,35) , avec le taux de chargement = 35%
- Taux de prime nette = (Prime nette calculé/ Valeur assurée moyenne/ 8) * 1000

Tableau 27 : calcul de taux de prime nette

Famille	VA moyenne/an	sévérité attri	fré-attri	sévérité grave	fré- grave	PP. attri	PP. grave	PP. calculé	Prime nette	Taux de Prime net	Taux de PP- GAT	Taux de Prime net*
Famille1	491 650,535	2580,02	0,5002			1 290,656		1 290,6557	1 985,6242	0,505	0,533	0,505
Famille10	301 782,565	717,82	0,5098	286 931,8471	0,0055	365,926	1 569,4297	1 935,3558	2 977,4704	1,233	0,686	1,233
Famille11	485 768,573	509,05	0,4986	187 962,9222	0,0051	253,816	966,1868	1 220,0032	1 876,9280	0,483	0,499	0,483
Famille2	765 412,562	1098,49	0,5032		-	552,815	-	552,8146	850,4840	0,139	0,533	0,139
Famille3	368 725,721	2634,99	0,7486			1 972,534	-	1 972,5337	3 034,6673	1,029	1,269	1,029
Famille4	767 111,937	2275,84	0,5496			1 250,769	-	1 250,7690	1 924,2600	0,314	0,806	0,042
Famille5	321 495,535	753,08	0,3584	267 266,0812	0,0326	269,935	8 709,0070	8 978,9417	13 813,7565	5,371	0,693	5,371
Famille6	753 001,855	4461,47	0,2479	541 446,7486	0,0248	1 106,013	13 422,6326	14 528,6453	22 351,7620	3,710	0,856	17,309
Famille7	479 517,145	272,74									0,977	
Famille8	568 515,275	917,70									0,612	
Famille9	304 148,214										0,691	

Source : élaboré par l'auteur

- **Interprétation des résultats :**

Pour la Famille d'activité, FA1 : Extraction et préparation des minerais et minéraux divers ;

Le taux de prime nette de la FA1 est de **0,505 ‰** qui est très proche de taux de prime moyenne de GAT ASSURANCES relative à la famille en question qui est de **0,533‰** (déduit à partir de la base production), on dit que le tarif adapté par GAT ASSURANCES reflète le niveau de risque supporté pour la famille FA1 avec une marge réduite de gain.

En effet, cette famille d'activité présente des risques très élevés en matière d'incendie en raison des opérations industrielles lourdes impliquées, de la manipulation de matériaux combustibles et des conditions parfois extrêmes dans lesquelles ces activités se déroulent.

Pour la Famille d'activité, FA2 : Production de matériaux de construction, électronique ;

Le taux de prime net est de **0,139 ‰** qui est largement inférieur à **0,533 ‰,** ainsi, GAT ASSURANCES possède plus de marge de sécurité en tarifiant plus que son historique de sinistralité.

Dans le contexte de l'assurance incendie, cette différence peut s'expliquer par le fait que les sinistres incendie dans ces secteurs d'activité ont été historiquement faibles. La production de matériaux de construction et l'électronique, bien que potentiellement à risque en raison des matières inflammables et des équipements électriques utilisés, semblent bénéficier de mesures de prévention des risques efficaces ou de normes de sécurité élevées, ce qui réduit l'occurrence et la gravité des sinistres.

Pour la Famille d'activité, FA3 : Travaux des métaux, industries électriques ;

Le taux de prime nette calculé est de **1,029 ‰** qui est très proche de taux de prime moyenne de GAT ASSURANCES relative à la famille en question qui est de **1,269 ‰** ; on dit que le taux de prime nette est proche de taux réellement tarifé par l'entreprise de parrainage, alors ce Tarif reflète le niveau de risque supporté par la famille FA3 avec une marge de 19%.

Les travaux des métaux et les industries électriques sont des secteurs caractérisés par une exposition significative aux risques d'incendie. Les opérations de soudage, la manipulation de matériaux conducteurs d'électricité, ainsi que l'utilisation de machines et d'équipements électriques augmentent les probabilités de départs de feu. De plus, les risques sont amplifiés par la nature des activités qui se déroulent souvent dans des environnements industriels où la sécurité doit être rigoureusement contrôlée.

Pour la famille d'activité, FA4 : Industries chimiques et para-chimiques :

Le taux de prime nette calculé est de **0,314 ‰** qui est largement inférieur du taux tarifié par GAT ASSURANCES **0,806 ‰**. Il s'agit d'une activité très risquée, ce qui offre assez de marge pour donner des offres concurrentielles ou de couvrir d'autre familles plus risquées.

Les industries chimiques et para-chimiques sont particulièrement exposées aux risques d'incendie en raison de la manipulation de substances inflammables, toxiques ou réactives, ainsi que des processus de fabrication complexes qui peuvent entraîner des incidents graves. Les réactions chimiques incontrôlées, les fuites de gaz, les explosions et les incendies sont des risques omniprésents dans ces secteurs. De ce fait, les sinistres potentiels peuvent être non

seulement fréquents, mais aussi très coûteux, nécessitant des primes plus élevées pour compenser ces risques.

Pour la famille d'activité, FA5 : Industries textiles :

Le taux de prime nette calculé est de **5,371 ‰,** ce qui est nettement supérieur au taux de prime moyenne de **0,693 ‰** pratiqué par GAT ASSURANCES pour cette catégorie. Cette différence marquée s'explique par une sévérité élevée en termes de charges de sinistres, caractéristique des risques inhérents à cette industrie.

Les industries textiles, malgré leur apparence moins risquée par rapport à d'autres secteurs industriels, sont exposées à des risques d'incendie importants en raison de la nature des matériaux utilisés, tels que les fibres synthétiques et naturelles, qui sont souvent hautement inflammables. De plus, les processus de production impliquant des températures élevées, des produits chimiques, et des machines à haute vitesse augmentent les probabilités de départs de feu. Les sinistres dans ce secteur peuvent donc être non seulement fréquents mais aussi particulièrement coûteux.

Le taux de prime nette élevé reflète cette réalité, en intégrant les coûts anticipés des sinistres en fonction des données historiques. Cependant, GAT ASSURANCES applique un taux de prime nettement inférieur, à 0,693 ‰, en raison de la pression concurrentielle sur le marché. Dans un environnement où plusieurs assureurs se disputent les parts de marché, les compagnies d'assurance peuvent être incitées à réduire leurs tarifs pour rester compétitives, même si cela signifie réduire leurs marges bénéficiaires.

Pour la famille d'activité, FA6 : Industries du papier et du carton :

Le taux de prime nette calculé est de **3,710 ‰,** un chiffre largement supérieur au taux de **0,856 ‰** appliqué par GAT ASSURANCES pour cette catégorie. Cette différence significative reflète une sinistralité élevée associée à cette activité, ainsi que la pression concurrentielle sur le marché.

Les industries du papier et du carton présentent des risques particuliers en matière d'incendie en raison des caractéristiques des matériaux et des processus impliqués. Les produits en papier et en carton sont hautement inflammables, et les opérations de production peuvent inclure des phases de séchage, de compression, et d'utilisation de machines qui augmentent le risque de départs de feu. Les installations de stockage de grandes quantités de papier ou de carton peuvent également constituer un foyer de sinistre important.

Le taux de prime nette calculé de 3,710 ‰ prend en compte ces risques accrus et les charges de sinistres potentielles élevées associées à cette famille d'activité. En revanche, GAT ASSURANCES applique un taux plus bas de 0,856 ‰, ce qui peut s'expliquer par la nécessité de rester compétitif dans un marché où plusieurs assureurs se disputent les contrats.

Ce taux est majoré à **17,309‰** après l'intégration des sinistres atypiques en 2019.

Pour la famille d'activité FA7, dédiée aux industries du bois, le nombre limité de sinistres observés nous a amenés à recourir à la base de production pour établir le tarif. Cette approche est adaptée en raison de la nature relativement stable des risques associés à cette activité.

Pour la famille d'activité FA8 : les industries agroalimentaires : en termes de fréquence elle n'a rien ajouté comme information au modèle Logit Binaire : pas d'estimation de coefficient de régression, ce qui ne ramène pas au calcul de taux de prime net de cette activité.

La famille d'activité 9 : Cette famille n'a pas enregistré de sinistralité, le tarif est donc établi selon l'avis des experts et en tenant compte de la concurrence sur le marché.

La famille d'activité FA10 : Autres Risques d'Entreprises :

Le taux de prime nette calculé est de **1,233 ‰,** bien au-dessus du taux moyen de **0,686 ‰** appliqué par GAT ASSURANCES. Cette différence est principalement due à la forte hétérogénéité de cette famille, qui regroupe une variété d'activités avec des niveaux de risque très divers. En raison de cette diversité, il est difficile de fixer un taux uniforme qui reflète adéquatement les risques spécifiques. De plus, la pression concurrentielle sur le marché peut amener GAT ASSURANCES à offrir des primes plus compétitives, ce qui explique pourquoi le taux moyen observé est inférieur à celui calculé. Ainsi, la différence souligne la complexité de la tarification pour des familles d'activités aussi variées et indique que des ajustements peuvent être nécessaires pour mieux aligner les primes avec les risques réels tout en restant compétitif sur le marché.

La famille d'activité FA11 : Services généraux et risques annexes concourant l'exploitation de l'établissement assuré :

Le taux de prime nette calculé est de **0,483 ‰,** ce qui est très proche du taux moyen appliqué par GAT ASSURANCES, qui est de **0,499 ‰.** Cette proximité indique que le taux de prime nette calculé est quasiment aligné avec celui pratiqué par l'assureur. Cela reflète une évaluation précise du niveau de risque associé à cette famille d'activités, suggérant que les méthodes de tarification utilisées par GAT ASSURANCES sont bien adaptées pour couvrir les risques spécifiques liés aux services généraux et aux risques annexes. La faible différence entre les deux taux indique que le modèle utilisé pour calculer la prime nette est efficace pour estimer les besoins de couverture, et que les ajustements tarifaires appliqués par GAT ASSURANCES correspondent de manière adéquate au risque réel. Cette concordance entre le taux calculé et le taux moyen suggère également une stabilité dans la tarification pour cette catégorie, renforçant la confiance dans les méthodes de calcul et les pratiques tarifaires de l'assureur**.**

4.4 Analyse comparative des taux de prime pure :

Après avoir déterminé le taux de prime pure pour chaque famille d'activité de GAT ASSURANCES, il est nécessaire de suivre les étapes suivantes :

1. **Déterminer le taux de prime par activité** : Identifier le taux de prime applicable pour chaque activité spécifique de l'assuré.
2. **Comparer les taux de prime du marché** : Analyser et comparer les taux de prime servis par les autres acteurs du marché avec ceux déterminés par GAT ASSURANCES.

Cette approche permet d'évaluer la compétitivité des tarifs de GAT ASSURANCES par rapport à ceux du marché.

Le tableau ci-dessous montre les résultats obtenus de la détermination du taux de prime par activité en comparaison avec le taux servi dans le marché.

Tableau 28 : Les taux de prime pure par activité

Famille	Activité assuré	Taux de prime ‰	Référentiel de Tarification
Famille1	Extraction et préparation de minéraux et minerais divers	**0,523**	**0,500**
Famille2	Fabrication des produits en béton	**0,917**	**0,440**
	Industrie des céramiques, briqueteries et tuileries	**0,767**	**0,660**
Famille3	Ateliers de réparation de carrosseries et de réparation mécanique des véhicules	**1,437**	**1,050**
	Travaux des métaux par changement de forme du métal	**0,579**	**0,550**
	Bijouterie, joaillerie, orfèvrerie	**0,775**	**0,630**
Famille4	Industrie pharmaceutique et cosmétique	**0,675**	**0,630**
Famille5	Broderies mécaniques, fabrication mécanique de dentelles, fabrication de gazes et tulles	**0,711**	**1,260**
Famille6	Transformation de papiers et cartons	**0,698**	**0,900**
	Fabrication d'articles en cuir	**1,671**	**1,650**
	Fabrication d'articles chaussants	**0,839**	**1,050**
Famille7	Travail mécanique du bois	**0,973**	**1,080**
	Travail du bois avec emploi d'un petit outillage à main	**2,264**	**1,260**
Famille8	Fabrication de pâtes alimentaires	**1,233**	**0,800**
	Sucreries et raffineries de sucre	**0,494**	**0,720**
	Boulangeries et pâtisseries industrielles	**0,626**	**0,86**
	Distilleries d'alcool et d'eaux-de-vie	**0,881**	**0,720**
Famille10	Dépôts	**1,128**	
	Dépôts, commerce de gros et commerces de détail de matériaux de construction	**0,997**	**0,9**
	Dépôts, commerces de gros et commerces de détail d'alimentation générale ;	**1,206**	**0,68**
	Dépôts, commerces de gros et de détail de quincaillerie	**0,585**	**0,9**
	Hôtel, résidences hôtelières	**0,450**	**0,32**
	Etablissements scolaires ; centres de formation et d'enseignement ;	**0,366**	**0,32**
	Théâtres et plus généralement, établissements comportant un espace scénique	**0,597**	**0,72**
Famille11	Sociétés de Services	**0,499**	0,9
	Services informatiques	**0,656**	0,9

Source : élaboré par l'auteur

➢ **Interprétation des résultats :**

À partir de ce tableau, trois types de résultats peuvent être obtenus :

- **Le taux de prime de GAT ASSURANCES > le Taux servis dans le marché** :

C'est-à-dire que GAT ASSURANCES adopte **une politique de tarification prudente**, visant à limiter les risques ; en fixant un taux de prime supérieur au marché, elle pourrait chercher à se protéger contre des pertes potentielles en raison d'une évaluation stricte du risque, ou simplement choisir de ne pas prendre de risques supplémentaires. Cela reflète une stratégie de gestion du risque plus conservatrice, privilégiant la stabilité financière et la protection contre des sinistres imprévus.

- **Le taux de prime de GAT ASSURANCES < le Taux servis dans le marché** :

Cela peut s'expliquer par :

Une stratégie concurrentielle où GAT ASSURANCES pourrait fixer des taux de prime plus bas pour attirer de nouveaux clients ou pour conserver sa clientèle existante dans un marché compétitif.

Le positionnement sur le marché : En fixant des primes inférieures, GAT ASSURANCES pourrait chercher à se positionner comme un acteur compétitif, cherchant à gagner des parts de marché face à des concurrents plus établis.

- **Le taux de prime de GAT ASSURANCES est proche au taux du marché :**

Cela montre que GAT ASSURANCES s'aligne sur les tendances du marché pour rester compétitive, tout en maintenant un équilibre entre la gestion du risque et la rentabilité.

Conclusion :

En résumé, ce chapitre propose une synthèse de la situation actuelle du marché tunisien de l'assurance incendie, en mettant l'accent sur la tarification de la garantie de base : incendie, chute de foudre, et explosion. Ensuite, nous avons accordé une attention particulière à l'entreprise parrainant GAT ASSURANCES, dont **ces données** ont été utilisées pour une analyse empirique intégrant la méthodologie de travail et les statistiques descriptives. Cette démarche a permis de modéliser la fréquence et la sévérité des sinistres, aboutissant ainsi au calcul du taux de prime nette.

En effet, l'objectif principal de ce chapitre est de modéliser la prime pure de la garantie de base de l'assurance incendie pour chaque famille d'activité, en se basant sur les données historiques couvrant une période de huit ans, de 2016 à 2022, et de la comparer aux primes offertes sur le marché. Pour ce faire, nous avons employé le logiciel Eviews pour modéliser les coûts moyens des sinistres à l'aide d'un modèle GLM, ainsi que la fréquence des sinistres avec un modèle Logit binaire.

En se référant au modèle multiplicatif, nous avons mis en évidence des éléments clés de la tarification de la garantie de base de l'assurance incendie. Ce modèle a permis de répartir les charges des sinistres différemment entre les variables explicatives.

De plus, l'analyse a révélé que d'autres facteurs, tels que les moyens de prévention mis en place et la surface assurée du bâtiment, jouent également un rôle significatif dans l'explication des variations des charges des sinistres. En effet, la présence de dispositifs de prévention, tels que les systèmes de détection incendie, les équipements de protection ou les mesures de sécurité, peut réduire la fréquence et la gravité des sinistres, contribuant ainsi à des charges plus faibles. Quant à la surface assurée, plus elle est grande, plus les risques associés augmentent, entraînant souvent des charges plus élevées en cas de sinistre. Ces deux éléments montrent que les caractéristiques spécifiques de chaque bâtiment, ainsi que les efforts de gestion du risque, influencent directement le montant des charges supportées par l'assureur, et sont donc des variables essentielles à intégrer dans les modèles de tarification et de gestion des risques.

L'apport de ce mémoire réside dans une approche novatrice pour la modélisation des primes d'assurance incendie, ainsi que dans la première analyse approfondie des données au sein de la compagnie. Ce travail permet une évaluation plus précise des risques et une tarification plus juste, offrant des insights précieux pour améliorer les pratiques de tarification.

À la fin de ce chapitre, nous avons présenté deux tableaux distincts. Le premier tableau résume les taux de prime nette obtenus à partir de la modélisation des charges des sinistres et les compare aux taux des primes réellement offerts par GAT ASSURANCES. Le second tableau compare les taux des primes obtenus pour chaque activité avec les taux proposés sur le marché des assurances. Cette présentation permet de mieux apprécier notre positionnement tarifaire et d'évaluer la compétitivité de nos offres.

Pour conclure, la prime pure calculée doit être majorée par les frais de gestion et les chargements afin d'obtenir la prime commerciale. De plus, l'assurance incendie étant fortement **réassurée**, il est essentiel d'inclure le coût de la réassurance dans le calcul de la prime commerciale afin de couvrir l'ensemble des charges associées.

CONCLUSION GENERALE

L'assurance incendie occupe une place centrale dans la protection des biens, qu'il s'agisse de bâtiments, de stocks, ou d'autres actifs matériels. Face aux risques imprévisibles que représentent les incendies, cette assurance constitue un mécanisme essentiel permettant de transférer les conséquences financières des sinistres. En couvrant les dommages matériels causés par le feu, l'assurance incendie assure une sécurité financière aux propriétaires et aux entreprises, tout en contribuant à la stabilité économique globale.

Cependant, le secteur de l'assurance incendie en Tunisie est confronté à des défis importants, tels que l'évolution des risques liés aux changements climatiques, la densification urbaine, et la modernisation des infrastructures. Ces facteurs nécessitent une adaptation continue des offres d'assurance et des modèles de tarification pour rester pertinents et efficaces. Le choix de la méthode de tarification devient alors une étape primordiale pour garantir une évaluation précise des risques et des primes. Dans ce projet de mémoire, nous nous sommes basés sur le calcul de deux grandeurs essentielles, à savoir la « fréquence » et le « coût moyen » des sinistres, afin de mieux comprendre et modéliser les risques associés à l'assurance incendie. L'objectif est de démontrer l'apport des modèles statistiques et actuariels dans la tarification des contrats d'assurance incendie, en mettant en évidence leur capacité à affiner les estimations et à offrir des solutions tarifaires adaptées aux réalités du marché.

Pour ce faire, nous avons commencé dans un premier chapitre par présenter les concepts fondamentaux de l'assurance incendie, suivi d'une exploration de ses spécificités. Ensuite, nous avons abordé la méthode de calcul de la prime pure, pour ensuite examiner les travaux empiriques sur les modèles de tarification.

Dans le deuxième chapitre, nous avons exploré le marché tunisien de l'assurance incendie et identifié ses principaux acteurs. Nous avons également procédé à une analyse des données disponibles, en menant des études statistiques et une analyse empirique pour mieux comprendre la composition du portefeuille de GAT ASSURANCES et évaluer le risque spécifique que nous souhaitons traiter.

Ce projet de fin d'études adopte une méthodologie de tarification fondée sur l'analyse de la sinistralité des assurés pour le calcul de la prime pure. Une analyse préliminaire du portefeuille nécessite de distinguer les sinistres attritionnels des sinistres graves, en raison de leur grande hétérogénéité en termes de fréquence et de sévérité. Pour ce faire, nous avons développé une technique permettant de fixer un seuil de gravité en s'appuyant sur la théorie des valeurs extrêmes. En s'appuyant sur cette analyse préliminaire, la méthodologie de tarification repose sur le principe « Coût*Fréquence », où le coût moyen est estimé à l'aide d'un modèle linéaire généralisé (GLM) et la fréquence à l'aide d'un modèle Logit binaire. La loi de distribution choisie pour les charges des sinistres attritionnels et des charges graves est la loi Log-Normal. Ce choix de distribution a été validé par une analyse graphique des données permettant de confirmer leur adéquation aux observations.

Après avoir modélisé les sinistres attritionnels et graves, nous avons calculé la prime pure en additionnant les primes pures attritionnels et les primes pures graves pour la garantie de base de l'assurance incendie : Cette démarche nous a permis de déterminer le taux de prime nette pour chaque famille d'activité. Nous avons ensuite comparé ces taux aux taux moyens actuellement proposés par GAT ASSURANCES, puis aux taux pratiqués dans le marché. Cette analyse nous a offert une vision claire du positionnement tarifaire de GAT ASSURANCES et nous a permis d'évaluer la compétitivité de ses offres.

L'apport de ce mémoire réside dans une modélisation innovante des primes d'assurance incendie, prenant en compte des variables telles que les capitaux assurés et la durée de risque. Ce travail est le premier du genre réalisé au sein de la compagnie de parrainage, marquant une avancée significative dans la gestion des données complexes liées à l'assurance incendie. Il propose une analyse comparative des taux de prime nette calculés par rapport à ceux de « GAT Assurances », permettant une meilleure compréhension des dynamiques du marché tunisien**.** De plus, l'utilisation de modèles avancés comme les GLM et le Logit ordonné optimise la répartition des charges des sinistres en fonction des familles d'activités. Le traitement des données a été complexe, mais a permis d'atteindre des résultats significatifs. En somme, ce travail contribue à une **évaluation plus précise des risques** et à une **tarification plus juste**, en combinant une méthodologie rigoureuse avec une analyse comparative des données du marché.

Les résultats obtenus sont satisfaisants, mais pourraient être optimisés par des études supplémentaires, telles que :

- **Extension de la période d'analyse** : En élargissant l'analyse à une période de dix ans, la base de données devient plus robuste et inclut des événements exceptionnels ou récurrents, ce qui améliore la fiabilité des modélisations et permet d'identifier des tendances à long terme.
- **Intégration de variables explicatives supplémentaires** : L'ajout de nouvelles variables telles que les moyens de prévention, la nature de l'assuré (propriétaire ou locataire), et la surface assurée enrichirait les modèles. Cela permettrait de mieux capturer la diversité des facteurs influençant la fréquence et les charges des sinistres.
- **Segmentation plus fine des familles d'activités** : En subdivisant certaines catégories d'activités en sous-groupes plus homogènes, on pourrait mieux ajuster les primes et améliorer la précision des modèles de tarification, en tenant compte des spécificités propres à chaque activité.
- **L'adoption de logiciels plus performants** permettrait d'identifier avec précision les lois de distribution adaptées aux données, améliorant ainsi la modélisation des risques et la tarification. Ces outils faciliteraient l'analyse de grands volumes de données et l'automatisation des processus statistiques.

BIBLIOGRAPHIE :

❖ Articles et ouvrages :

- Buhlman, H. and STRAUB, E. (1970), Versicherung Mathematiker 70, 111-133.
- Charpentier A. et Denuit M. : Mathématiques de l'assurance non vie, tome 1, Tarification et Provisionnement, 2009
- Charpentier A. & Denuit M. : Mathématiques de l'assurance non vie, tome 2, Tarification et Provisionnement, 2009
- Cohen, A., Dupin, G., & Levi, C. (1985) Tarification de l'incendie des risques industriels français par la méthode de la crédibilité.
- Deshayes, P. Pilotage technique de la sinistralité Incendie d'un produit Habitation par modélisation de la prime pure extrême, 2021 ;
- Douville C. (2004), Tarification des risques industriels par le modèle de crédibilité
- Fouquet, B. Détection des sinistres incendie graves des contrats multirisques habitation, 2020 ;
- Frédéric, M, Développement durable, assurance et environnement, Edition Economica, Paris 1999, p :20.
- Hexamer, Charles A. Fire Insurance Rates and Schedule Rating, Septembre 1905 ;
- Jerome, Y, Manuel international de l'assurance, Edition Economica, Paris 1998, p: 01.
- J. A. Nelder and R. W. M. (1972) Wedderburn : Source : Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General), Vol. pp. 370-384 ;
- Khouadja, A. Modélisation de la prime pure par garantie d'une assurance multirisque professionnelle ;
- Lacour, J. L'ARGUS : Assurance incendie. Préface de J. Lamson, 1987 ;
- Latrasse,M, Paris : L'Argus (2002)| Droit, technique, pratique, ISSN 1274-9982
- Laroche P. (2016). Les assurances dommages aux biens de l'entreprise.
- Latrasse, M, Comstant E & Cuilbault F, Les grands principes de l'assurance, Edition l'Argus, 5ème édition, Paris 2002 p : 49.
- Thérond P.E. (2008). Théorie de la crédibilité, Chapitre 4 ;
- Toesca, R.Tarification de la garantie incendie en Dommages aux biens-Entreprises, 2019 ;
- Zalila , H. (2015), Modélisation des risques et tarification en assurance incendie ;

❖ Cours et Rapports :

- Cours d'assurance incendie, Jenhani Fedi ;
- Cours Entreprise d'assurance, Zouari Mohamed ;
- Comité Général des Assurances, Rapport annuel 2021.
- Fédération Tunisienne des sociétés d'Assurances, Rapport annuels 2022.
- Rapport annuel GAT ASSURANCES 2021.
- Rapport annuel GAT ASSURANCES 2022
- Référentiel de Tarification en assurance incendie, Tome 2, Tarification Analytique, Tunis Ré, (2019) ;
- Traité d'assurance : Incendie risques d'entreprises, Tome 1,2 et 3 ;

❖ Thèses et mémoires :

- Bel Abria I. : Tarification en Assurance Maladie Collective Synthèse théorique avec application sur des données du GAT, IFID, 2020
- Ben Boubaker S : La tarification de l'assurance automobile, vers l'hypothèse de la libéralisation des tarifs avec application sur des données du GAT, IFID,2022
- Khayat H, Tarification du risque incendie en Tunisie : Entre réformes et concurrence, application sur des données de GAT ASSURANCES, IFID, 2013
- Mekri Z, Les difficultés d'application du Traité d'Assurance Incendie Risques d'Entreprises TAIRE en Algérie

❖ Site web :

- Site web du Fédération Tunisienne des Sociétés d'Assurance : www.ftusa.tn
- Site web de Comité Général des Assurances : www.cga.tn
- Site Web du Groupe des assurances en Tunisie : www.gat.com.tn
- Site web conseil du marché financier Tunisien : www.cmf.tn

❖ Texte réglementaire :

- Code des Assurances Tunisien

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Test de significativité des variables explicatives par rapport aux charges attritionnels 88
Annexe 2 : Test de significativité des variables explicatives par rapport aux charges graves : 89
Annexe 3 : Estimation des coefficients de régression par le modèle logit ordonnée 90

ANNEXES

Annexe 1 : Test de significativité des variables explicatives par rapport aux charges attritionnels

Dependent Variable: CHARGES_SINISTRES_ATTRITIONNELS
Method: Least Squares
Date: 08/23/24 Time: 11:47
Sample: 1 529
Included observations: 529

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
FA1	7.643753	0.674929	11.32527	0.0000
FA2	6.789891	0.631981	10.74382	0.0000
FA3	7.664834	0.796806	9.619445	0.0000
FA4	5.518303	0.354532	15.56502	0.0000
FA5	6.412372	0.393090	16.31274	0.0000
FA6	8.191434	0.889609	9.207906	0.0000
FA7	5.396711	0.498696	10.82164	0.0000
FA8	6.610068	0.302499	21.85155	0.0000
FA10	6.364416	0.148123	42.96724	0.0000
FA11	6.020743	0.177318	33.95447	0.0000
CAPITAUX_ASSURES	0.002488	0.000474	5.251450	0.0000
DUREE	0.187658	0.092877	2.020495	0.0438

R-squared	0.096903	Mean dependent var	6.603482
Adjusted R-squared	0.077688	S.D. dependent var	1.844751
S.E. of regression	1.771645	Akaike info criterion	4.004117
Sum squared resid	1622.721	Schwarz criterion	4.101002
Log likelihood	-1047.089	Hannan-Quinn criter.	4.042042
Durbin-Watson stat	1.816203		

Annexe 2 : Test de significativité des variables explicatives par rapport aux charges graves :

Dependent Variable: CHARGES_SINISTRES_GRAVES
Method: Least Squares
Date: 08/23/24 Time: 13:08
Sample: 1 15
Included observations: 15

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
FA4	12.37208	0.811996	15.23663	0.0000
FA5	11.52927	0.739394	15.59286	0.0000
FA6	12.65023	0.590681	21.41635	0.0000
FA8	11.14584	0.614990	18.12361	0.0000
FA10	11.59816	0.700444	16.55830	0.0000
FA11	11.36383	0.567709	20.01699	0.0000
CAPITAUX_ASSURES	0.000833	0.001811	0.460028	0.6594
DUREE	0.967126	0.658612	1.468430	0.1854

R-squared	0.649296	Mean dependent var	12.42632
Adjusted R-squared	0.298592	S.D. dependent var	0.567727
S.E. of regression	0.475472	Akaike info criterion	1.655508
Sum squared resid	1.582513	Schwarz criterion	2.033135
Log likelihood	-4.416309	Hannan-Quinn criter.	1.651485
Durbin-Watson stat	2.008783		

Annexe 3 : Estimation des coefficients de régression par le modèle Logit ordonnée

Dependent Variable: Z
Method: ML - Ordered Logit (Newton-Raphson / Marquardt steps)
Date: 07/18/24 Time: 10:58
Sample: 1 846
Included observations: 846
Number of ordered indicator values: 4
Convergence achieved after 11 iterations
Coefficient covariance computed using observed Hessian

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
FA1	-2.715539	0.661799	-4.103270	0.0000
FA2	-2.726959	0.661829	-4.120335	0.0000
FA3	-3.916328	0.674489	-5.806364	0.0000
FA4	-2.907247	0.568361	-5.115141	0.0000
FA5	-2.157103	0.556081	-3.879120	0.0001
FA6	1.172300	0.903527	1.297471	0.1945
FA7	-2.270616	0.704963	-3.220900	0.0013
FA10	-2.743384	0.450797	-6.085633	0.0000
FA11	-2.709256	0.462940	-5.852288	0.0000
DUREE_DE_RISQUE/365	-0.208061	0.069276	-3.003383	0.0027
Limit Points				
LIMIT_1:C(11)	-2.895380	0.449132	-6.446611	0.0000
LIMIT_2:C(12)	1.378351	0.403133	3.419098	0.0006
LIMIT_3:C(13)	3.091687	0.611413	5.056625	0.0000

Pseudo R-squared	0.072796	Akaike info criterion	1.507567
Schwarz criterion	1.580412	Log likelihood	-624.7010
Hannan-Quinn criter.	1.535477	Restr. log likelihood	-673.7469
LR statistic	98.09190	Avg. log likelihood	-0.738417
Prob(LR statistic)	0.000000		