



المندوبية السامية للتخطيط  
HAUT-COMMISSARIAT AU PLAN

ROYAUME DU MAROC  
\*\_\*\_\*\_\*\_\*  
HAUT COMMISSARIAT AU PLAN  
\*\_\*\_\*\_\*\_\*\_\*\_\*\_\*\_\*\_\*\_\*  
INSTITUT NATIONAL  
DE STATISTIQUE ET D'ECONOMIE APPLIQUEE



**INSEA**

## Projet de Fin d'Etudes

\*\*\*\*\*

### Prise en compte de l'inflation dans l'estimation de la sinistralité des branches longues

Préparé par : *Mme. Fatima Ezzahra DAIZ*

Sous la direction de : *M. Fouad MARRI (INSEA)*  
*Mme. Ghita BOUCHTA (KPMG)*  
*Mme. Julie THILL (KPMG)*

*Soutenu publiquement comme exigence partielle en vue de l'obtention du*

## Diplôme d'Ingénieur d'Etat

Filière : Actuariat-Finance

*Devant le jury composé de :*

- *M. Fouad MARRI (INSEA)*
- *M. Yassine ELQALLI (INSEA)*
- *Mme. Ghita BOUCHTA (KPMG)*



# Résumé

Le processus d'évaluation et de comptabilisation des provisions, essentiel à la solvabilité des compagnies d'assurance non-vie, repose principalement sur des méthodes éprouvées de résolution de triangles de données historiques. L'originalité du secteur de l'assurance tient à l'inversion de son cycle de production : les primes sont en effet perçues avant la survenance des sinistres, obligeant les assureurs à constituer les provisions adéquates pour répondre à leurs engagements futurs.

Les méthodes classiques de provisionnement, pour être efficaces, nécessitent toutefois que certaines conditions soient remplies, notamment celle d'une stabilité de l'inflation. En d'autres termes, l'inflation observée par le passé est présumée constante dans le futur. De ce fait, les dernières évaluations reflètent le contexte actuel de hausse modérée des prix observée en France et supposent implicitement que cette stabilité va se maintenir. Si l'inflation devait augmenter, la méthode actuelle pourrait entraîner un risque de sous-provisionnement, particulièrement marqué pour les branches à développement long, comme la responsabilité civile automobile pour les dommages corporels.

Ce projet vise à étudier l'impact de l'inflation sur les provisions en assurance non-vie et à déterminer si elles sont sous-évaluées ou sur-évaluées. Les méthodes classiques seront utilisées pour établir une référence initiale. Ensuite, un modèle sera proposé pour déterminer les niveaux d'inflation endogènes aux données du triangle, en utilisant la méthode de séparation de Taylor-Verbeek. Ce modèle sera combiné avec la méthode Chain Ladder pour développer un modèle de provisionnement. L'impact d'une augmentation de l'inflation sur les provisions sera évalué, et la sensibilité des résultats sera étudiée en les comparant aux règlements historiques.

## Mots clés :

Provisionnement, Inflation, Taylor, Verbeek, Séparation, Estimation, Maximum de vraisemblance, Indice des prix à la consommation.

# Abstract

The process of valuing and accounting for reserves, essential to the solvency of non-life insurance companies, relies mainly on tried-and-tested methods for resolving triangles of historical data. The originality of the insurance sector lies in the inversion of its production cycle : premiums are in fact collected before claims are made, obliging insurers to set aside adequate provisions to meet their future commitments.

To be effective, however, traditional reserving methods require certain conditions to be met, notably stable inflation. In other words, inflation observed in the past is assumed to remain constant in the future. For this reason, the latest assessments reflect the current context of moderate price rises in France, and implicitly assume that this stability will be maintained. If inflation were to rise, the current method could lead to a risk of under-provisioning, particularly in long-tail lines such as motor third-party liability for bodily injury.

The aim of this project is to study the impact of inflation on non-life insurance reserves, and to determine whether they are undervalued or overvalued. Conventional methods will be used to establish an initial benchmark. Next, a model will be proposed to determine inflation levels endogenous to the triangle data, using the Taylor-Verbeek separation method. This model will be combined with the Chain Ladder method to develop a provisioning model. The impact of an increase in inflation on provisions will be assessed, and the sensitivity of the results will be studied by comparing them with historical settlements.

# Dédicaces

Je dédie ce travail comme un témoignage d'amour et d'affection :

## **À ma mère**

Pour son sacrifice qui n'a pas de prix, son affection et soutien en dépit de toutes les circonstances. Pour son encouragement, ses prières et sa bénédiction qui n'ont cessé de m'être d'un grand secours pour bien mener mes études. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente.

## **À mon frère et sœurs**

Pour leur aide et soutien tout au long de mon parcours de vie.

## **À mes chers ami(e)s**

Pour leur présence et leur aptitude à toujours m'élever l'esprit, et pour leur encouragement et aide dans l'élaboration de ce stage.

## **À mes encadrantes Ghita BOUCHTA et Julie THILL**

Pour leur confiance, leur dévouement à me communiquer toutes les informations possibles, leur accueil et leur encadrement le long de cette période de stage. Merci pour votre orientation, vos conseils et pour avoir pris le soin d'assurer une expérience complète du stage.

# Remerciements

J'adresse avec tout le respect et l'estime que cela se doit de requérir, mes remerciements envers toute personne au sein de KPMG qui a contribué au bon déroulement et à la réalisation de ce mémoire.

Et qu'il me soit permis, au terme de ce travail, d'exprimer ma gratitude et vifs remerciements à mes encadrantes pour ce projet de fin d'études Mme. BOUCHTA Ghita et Mme. THILL Julie. Qu'elles trouvent ici le témoignage de mon estime et de ma profonde reconnaissance pour leur disponibilité, leurs conseils et leur compétence qu'elles ont su me prodiguer tout au long de mon stage malgré leurs occupations extrêmes.

Je remercie également mon encadrant interne M. MARRI Fouad qui m'a honoré d'avoir accepté de m'encadrer ainsi que pour son aide précieuse apportée pendant ce projet.

Je tiens également à remercier M. ELQALLI Yassine, pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

# Table des matières

<b>Résumé Mots clés</b>	<b>2</b>
<b>Abstract</b>	<b>3</b>
<b>Dédicaces</b>	<b>4</b>
<b>Remerciements</b>	<b>5</b>
<b>Liste des abréviations</b>	<b>11</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>13</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>15</b>
<b>Introduction Générale</b>	<b>16</b>
<b>1 Contexte assurantiel en non-vie</b>	<b>17</b>
1.1 Généralités sur l'assurance non-vie . . . . .	17
1.1.1 Définition . . . . .	17
1.1.2 Branches d'assurance non-vie . . . . .	18
1.1.3 Inversion du cycle de production . . . . .	19
1.2 Responsabilité Civile Automobile . . . . .	19
1.2.1 Définition & Cadre réglementaire . . . . .	19

1.2.2	Assurance responsabilité civile . . . . .	20
1.2.3	Assurance responsabilité civile Automobile . . . . .	21
1.2.3.1	Ses garanties . . . . .	21
1.2.3.2	Ses exclusions . . . . .	21
1.2.3.3	Ses limites . . . . .	22
1.2.3.4	Dommmages corporels . . . . .	22
1.2.4	Système d'indemnisation des sinistres corporels . . . . .	23
1.2.4.1	Loi Badinter . . . . .	23
1.2.4.2	Convention IRCA . . . . .	23
1.2.4.3	Nomenclature Dintilhac . . . . .	24
1.2.4.4	Indemnisation en capital ou rentes . . . . .	26
<b>2</b>	<b>Perspectives et calcul de l'inflation</b>	<b>27</b>
2.1	Généralités sur les enjeux de l'inflation . . . . .	27
2.1.1	Définition . . . . .	27
2.1.2	Causes de l'inflation . . . . .	27
2.1.3	Impacts économiques . . . . .	28
2.1.4	Méthodes de régulation . . . . .	28
2.2	Méthodologie de calcul de l'inflation . . . . .	29
2.3	Contexte économique de l'inflation . . . . .	31
2.4	Impact de l'inflation sur les branches longues . . . . .	32
<b>3</b>	<b>Cadre référentiel du provisionnement en assurance non-vie</b>	<b>34</b>
3.1	Les provisions . . . . .	34
3.2	Notations . . . . .	35
3.3	Méthodes classiques de provisionnement . . . . .	37
3.3.1	Méthode Déterministe : Chain Ladder Standard . . . . .	37
3.3.2	Méthode Stochastique : Modèle de Mack . . . . .	38

<b>4</b>	<b>Prise en compte de l'inflation dans le provisionnement</b>	<b>41</b>
4.1	Méthode de séparation Taylor-Verbeek . . . . .	41
4.1.1	Origine et intérêt de la méthode . . . . .	41
4.1.2	Principe de calcul . . . . .	42
4.1.2.1	Notations et hypothèses . . . . .	42
4.1.2.2	Méthodologie de calcul . . . . .	43
4.2	Modélisation de l'inflation future . . . . .	44
4.2.1	Méthode de maximum de vraisemblance . . . . .	44
4.2.2	Méthode de maximum de vraisemblance améliorée . . . . .	46
4.2.3	Estimation des lambdas futures . . . . .	47
4.3	Construction des méthodes basées sur "as-if" . . . . .	48
4.3.1	Première méthode . . . . .	48
4.3.2	Deuxième méthode . . . . .	50
4.3.3	Passage des règlements aux charges . . . . .	51
<b>5</b>	<b>Présentation de la branche et pré-traitement des données</b>	<b>54</b>
5.1	Branche étudiée et spécificités de la base . . . . .	54
5.1.1	Présentation des variables et processus de filtrage . . . . .	54
5.1.2	Statistiques descriptives . . . . .	56
5.1.2.1	Longueur de la branche . . . . .	56
5.1.2.2	Stabilité des données . . . . .	57
5.1.2.3	Gravité des sinistres . . . . .	58
5.2	Construction des triangles . . . . .	58
5.2.1	Triangle des règlements . . . . .	59
5.2.2	Triangle des charges . . . . .	60
5.2.3	Nombre de sinistres . . . . .	61
5.3	Construction des indices de base de l'inflation . . . . .	63
5.3.1	Constitution d'un indice adapté à la branche : IPC* . . . . .	63

5.3.2	Constitution des indices composites . . . . .	65
<b>6</b>	<b>Application des méthodes de provisionnement</b>	<b>68</b>
6.1	Méthodes de provisionnement classiques . . . . .	68
6.1.1	Vérification des hypothèses . . . . .	68
6.1.2	Résultats et analyses . . . . .	70
6.2	Méthode de séparation de Taylor Verbeek . . . . .	72
6.2.1	Estimation des paramètres . . . . .	72
6.2.2	Estimation de l'inflation future . . . . .	73
6.2.2.1	Résultats par régression . . . . .	73
6.2.2.2	Processus Auto Regressive Moving Average : ARMA . . .	75
6.2.2.3	Maximum de vraisemblance . . . . .	77
6.2.3	Backtesting . . . . .	81
6.3	Méthodes As-If . . . . .	84
6.3.1	Première Méthode : . . . . .	84
6.3.2	Deuxième Méthode : . . . . .	86
	<b>Conclusion Générale</b>	<b>89</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>90</b>
	<b>Webographie</b>	<b>91</b>
	<b>Annexes</b>	<b>93</b>
<b>A</b>	<b>Présentation de l'organisme d'accueil</b>	<b>93</b>
A.1	KPMG France . . . . .	93
A.2	KPMG France au Maroc . . . . .	94
A.2.1	Création et objectifs . . . . .	94
A.2.2	Les métiers du cabinet . . . . .	94

A.2.3	Missions du cabinet . . . . .	95
A.2.4	Organisation Advisory Maroc . . . . .	95
A.2.5	Département Actuarial & Analytics . . . . .	95
<b>B</b>	<b>Code R de quelques fonctions utilisées</b>	<b>97</b>
B.1	Code Newton Rhapson . . . . .	97
B.2	Code d'exécution du processus ARMA sur les facteurs exogènes . . . . .	98
<b>C</b>	<b>Résultats prévisions des facteurs exogènes futures</b>	<b>99</b>
<b>D</b>	<b>Régression Linéaire de l'IPC adapté</b>	<b>100</b>

# Liste des abréviations

<b>IARD</b>	Incendie, Accidents et Risques Divers
<b>RC</b>	Responsabilité Civile
<b>IRCA</b>	Indemnisation de Recours Corporel et Automobile
<b>AIPP</b>	Atteinte à l'Intégrité Physique et Psychique
<b>IPC</b>	Indice des Prix à la Consommation
<b>INSEE</b>	Institut National de la Statistique et des Études Économiques
<b>PSAP</b>	Provision Pour Sinistres A Payer
<b>ICT</b>	Indice de Coût de Travail
<b>IC</b>	Indice Composite
<b>ARMA</b>	Auto Regressive Moving Average

# Liste des tableaux

1.1	Table des types de préjudices de la victime directe . . . . .	25
1.2	Table des types de préjudices des victimes indirectes . . . . .	25
3.1	Triangle supérieur de paiements incrémentaux . . . . .	35
3.2	Triangle supérieur de paiements cumulés . . . . .	36
4.1	Triangle supérieur standardisé de paiements . . . . .	43
4.2	Triangle des règlements complet par méthode de séparation de Taylor Verbeek	47
4.3	Triangle incrémental de développement mis en "as-if" vision 2018 . . . . .	49
4.4	Triangle cumulé avec application de Chain Ladder . . . . .	49
4.5	Triangle incrémental avec retrait de l'inflation supérieure et application de l'inflation inférieur . . . . .	49
4.6	Triangle cumulé des règlements mis en "as-if" . . . . .	50
4.7	Triangle incrémental de développement désinflaté en vision 2018 . . . . .	50
4.8	Triangle cumulé avec application de Chain Ladder . . . . .	51
4.9	Triangle incrémental avec réapplication de l'inflation . . . . .	51
4.10	Triangle cumulé des règlements mis en "as-if" . . . . .	51
5.1	Nombre de sinistres déclarés par année de survenance . . . . .	62
5.2	Sous modules de l'indice IPC . . . . .	63
5.3	Taux d'augmentation d'inflation généré par l'indice IPC et IPC* . . . . .	64

5.4	Taux d'augmentation d'inflation généré par l'indice IC <sup>1</sup> et IC <sup>2</sup> . . . . .	66
6.1	L'écart type sur la moyenne du triangle des facteurs de développement . . .	70
6.2	Facteurs de développement avant et après la neutralisation . . . . .	71
6.3	Ultimes, Réserves et Mack SE par un Chain Ladder et Mack Standard Neutralisé . . . . .	71
6.4	Résultats de l'estimation des paramètres de la séparation par Taylor Verbeek	72
6.5	Détermination des coefficients d'estimation des $\lambda_k$ par régression linéaire .	73
6.6	Estimations des $\lambda_k$ futures par régression linéaire . . . . .	74
6.7	Ultimes et réserves obtenus par la séparation de Taylor Verbeek moyennant une régression linéaire . . . . .	75
6.8	Résultat de l'estimation des paramètres constituants de l'équation de $\lambda_k$ .	79
6.9	Résultats d'ultimes par méthode de séparation de Taylor-Verbeek et comparaison avec Chain Ladder . . . . .	80
6.10	Résultats du backtesting sur une année pour la méthode de Taylor Verbeek	83
6.11	Résultats des charges par la première méthode "as-if" et comparaison avec Chain Ladder . . . . .	85
6.12	Résultats d'ultimes des règlements par la deuxième méthode as-if et comparaison avec Chain Ladder . . . . .	86
6.13	Résultats d'ultimes des charges par la deuxième méthode as-if et comparaison avec Chain Ladder . . . . .	87
C.1	Résultats d'estimation des $\lambda_k$ par la méthode de maximum de vraisemblance	99
D.1	Paramètres de régression linéaire des facteurs exogènes en fonction des années100	

# Table des figures

2.1	Pondération des fonctions de consommation dans le panier IPC de 2022 en % . . . . .	30
2.2	Historique inflation base 2015 en France . . . . .	32
4.1	Étapes de mise en as-if des triangles des charges . . . . .	52
5.1	Nombre de sinistres survenus en 2000 et non clos par année de développement . . . . .	56
5.2	Pourcentage du développement aux charges ultimes pour chaque survenance	57
5.3	Nombre de sinistres par année de survenance . . . . .	57
5.4	Répartition de la part des types de la gravité des sinistres . . . . .	58
5.5	Évolution des règlements par année de développement . . . . .	59
5.6	Part des recours par année survenance en % . . . . .	60
5.7	Évolution des charges par année de développement . . . . .	61
5.8	Nombre de sinistres déclarés par année de survenance . . . . .	62
5.9	Évolution des indices IPC et IPC* pour une période entre 2000 et 2018 . . . . .	65
5.10	Évolution de l'indice composite avec des différentes pondérations . . . . .	66
6.1	Année de développement k+1 en fonction de l'année de développement k pour k allant de 0 à 17 . . . . .	69
6.2	Prévisions de la série des $(\lambda_k)_k$ par modèle ARMA(1,1) . . . . .	77

---

6.3	Sortie R de la vérification de l'hypothèse de la moyenne par test Student . . . . .	78
6.4	Sortie R du QQ-Plot de la vérification de l'hypothèse de la normalité des résidus . . . . .	78
6.5	Estimation et évolution des $\lambda_k$ futures par méthode de maximum de vraisemblance améliorée . . . . .	79
6.6	Résultats des règlements par la méthode as-if et comparaison avec Chain Ladder . . . . .	84
A.1	Organisation Advisory KPMG Maroc . . . . .	96
B.1	Code R pour exécuter la méthode Newton-Raphson . . . . .	97
B.2	Code R pour visualiser l'estimation des facteurs exogènes par modèle ARMA . . . . .	98

# Introduction Générale

Dans le monde de l'assurance non-vie, la gestion des risques et la prévision des règlements futurs sont des éléments fondamentaux. C'est particulièrement vrai dans le domaine de l'assurance responsabilité civile automobile, où les coûts peuvent s'accumuler sur une longue période. Pour rendre ces prévisions aussi précises que possible, il est essentiel de tenir compte de facteurs tels que l'inflation.

Les méthodes classiques de provisionnement ne parviennent à exactitude ultime qu'à la condition de la constance de l'inflation. En effet, les prédictions des facteurs de développement postulent que l'inflation historique est stable et qu'elle le demeurera à l'avenir, entraînant alors la possibilité d'un sous ou sur provisionnement. Dans la réalité, la stabilité de l'inflation pourrait ne pas être vérifiée, nous conduisant ainsi à tenir compte de la violation de cette hypothèse et à l'intégrer dans le processus de provisionnement.

Afin de surmonter cette problématique, notre objectif est d'examiner l'impact de l'inflation sur l'estimation des montants finaux. Pour ce faire, nous faisons appel à la méthode de séparation de Taylor, qui vise à isoler les facteurs exogènes des paiements. La tactique de cette méthode génère des facteurs d'inflation à partir des données historiques, mais ne prend pas en compte le calcul de la partie inférieure du triangle de liquidation ou l'estimation des ultimes. Notre étude propose un modèle des paiements qui relie les coefficients de Taylor à un taux d'inflation de référence dont les variations reflètent au mieux les provisions pour la catégorie d'assurance considérée. L'objectif est d'examiner une plage de taux d'inflation, chacun étant basé sur un indice économique, afin de sélectionner le taux qui influence le plus efficacement notre modèle, c'est-à-dire qui a le plus grand impact sur les montants finaux du contrat d'assurance responsabilité civile pour les dommages corporels. Ceci permettra de détecter l'impact de l'effet calendaire inflationniste sur l'incertitude des réserves estimées. Nous élargirons par la suite notre étude à l'examen de l'effet de l'inflation sur la valeur des charges finales à travers l'élaboration de deux modèles.

Pour entamer ce mémoire, le secteur de l'assurance non-vie sera décrit, ainsi que les différents aspects du provisionnement. Ensuite, seront détaillés les modèles de provisionnement qui intègrent l'inflation dans l'estimation de la sinistralité. Finalement, ces techniques seront appliquées à une base de données réelle. Cette démarche permettra d'évaluer les modèles, notamment par comparaison à des valeurs de référence fournies par la méthode Chain Ladder. Des analyses détaillées seront effectuées, permettant ainsi des observations opérationnelles.

# Contexte assurantiel en non-vie

L'assurance est un mécanisme qui offre une protection financière lors de la réalisation d'un risque entraînant une perte financière. Elle se divise en assurance vie et assurance non-vie (ou assurance dommages). L'assurance vie protège financièrement les bénéficiaires en cas de décès de l'assuré et peut inclure une valeur accumulée au fil du temps (épargne/investissement). Les bénéficiaires reçoivent une prestation de décès en cas de décès, et l'assuré peut récupérer la valeur accumulée s'il survit. En revanche, l'assurance non-vie couvre les biens matériels et les responsabilités financières liées à des événements spécifiques tels que des accidents ou des sinistres par des réparations, des remplacements ou une compensation financière.

Le provisionnement est un processus essentiel en assurance non-vie, il vise à évaluer les pertes potentielles liées aux sinistres et à constituer des réserves pour assurer le paiement des indemnités.

Ce mémoire entre dans le cadre de l'assurance non-vie et portera plus précisément sur la prise en compte de l'inflation lors du provisionnement des branches longues. L'objectif de ce chapitre est de définir le contexte général de l'étude ainsi que les spécificités de l'assurance non-vie.

## 1.1 Généralités sur l'assurance non-vie

### 1.1.1 Définition

L'assurance non vie, aussi appelée assurance IARD (Incendie, Accidents et Risques Divers), est définie par « l'ensemble des conventions prudentielles qui ne sont pas liées ou conditionnées directement à la vie de l'assuré ». Généralement, elle englobe l'ensemble des contrats de type IARD .

Elle a pour but de protéger financièrement une personne physique ou morale lors de la

réalisation d'un sinistre sur les biens couverts par le contrat.

En échange de cette protection, une cotisation est versée par l'assuré, dont le prix varie selon plusieurs critères comme le niveau de protection, le risque pris par la compagnie et les caractéristiques du bien assuré.

### 1.1.2 Branches d'assurance non-vie

L'assurance non-vie comprend les branches suivantes :

1. Accidents ;
2. Maladie ;
3. Corps de véhicules terrestres (autres que ferroviaires) ;
4. Corps de véhicules ferroviaires ;
5. Corps de véhicules aériens ;
6. Corps de véhicules maritimes, lacustres et fluviaux ;
7. Marchandises transportées ;
8. Incendie et éléments naturels ;
9. Autres dommages aux biens ;
10. R.C. véhicules terrestres automoteurs ;
11. R.C. véhicules aériens
12. R.C. véhicules maritimes, lacustres et fluviaux ;
13. R.C. générale ;
14. Crédit ;
15. Caution ;
16. Pertes pécuniaires diverses ;
17. Protection juridique ;
18. Assistance.

Ces branches sont regroupées en trois grands types d'assurance, à savoir :

- **Les assurances de biens** (branches 3 à 9, 16 et 17) qui couvrent les préjudices subis par l'assuré en cas de dommage à ses biens.
- **Les assurances de responsabilité ou de dettes** (branches 10 à 13) qui couvrent les conséquences financières de la mise en cause de la responsabilité de l'assuré pour des dommages causés à autrui (Responsabilité Civile - R.C.).
- **Les assurances de personnes** (branches 1 à 2) qui couvrent les préjudices subis par l'assuré en cas d'atteinte à sa personne physique suite à un accident mortel ou à une maladie.

Les assurances de biens évaluent les risques en fonction de la valeur des biens et des facteurs externes, les assurances de responsabilité évaluent les risques en fonction des activités et des historiques de réclamations, tandis que les assurances de personnes évaluent les risques en fonction de la santé et de l'âge de l'assuré.

Ce mémoire portera sur la 10<sup>ème</sup> branche du mémoire, à savoir **Responsabilité civile des véhicules terrestres automoteurs**.

### 1.1.3 Inversion du cycle de production

Le principe d'inversion du cycle dans les assurances est un aspect essentiel de leur fonctionnement. Contrairement à de nombreuses autres industries, les compagnies d'assurance encaissent les primes des assurés avant que les sinistres ne se produisent réellement. Cela signifie que les fonds de l'assureur sont disponibles avant qu'il ne soit tenu de faire des paiements pour régler les sinistres.

Le mécanisme d'inversion du cycle de production nécessite donc une évaluation précise du montant de la prime nécessaire pour couvrir un certain risque. Les assureurs doivent établir des tarifs appropriés qui tiennent compte du niveau de risque associé à chaque police d'assurance.

Dans ce modèle, la constitution de provisions pour sinistres futurs représente un enjeu important pour les assureurs. Étant donné que les sinistres éventuels n'ont pas encore eu lieu lors de la souscription de la police d'assurance, il est impératif pour l'assureur de se doter des ressources financières nécessaires pour s'acquitter de ses engagements contractuels en cas de sinistre ultérieur. Ce mécanisme, connu sous le nom de provisionnement, vise à anticiper et à prévoir les coûts potentiels des sinistres à venir.

## 1.2 Responsabilité Civile Automobile

### 1.2.1 Définition & Cadre réglementaire

La responsabilité civile en droit français désigne l'obligation légale pour une personne de réparer le préjudice qu'elle a causé à autrui. Cette responsabilité peut être engagée en cas de faute, de négligence, de violation d'un contrat, d'un quasi-contrat ou d'une disposition légale.

Le régime de la responsabilité civile diffère selon la nature de la faute commise. Ainsi, on distingue la responsabilité civile contractuelle, qui résulte de la violation d'un contrat, et la responsabilité civile délictuelle, qui résulte d'un acte illicite.

En France, la responsabilité civile peut être engagée par toute personne ayant subi un dommage. Le responsable doit alors indemniser la victime pour les préjudices subis, tels que les dommages corporels, les dommages matériels ou les pertes financières.

D'après le Code Civil français, on en trouve les articles suivants en matière de responsabilité civile :

- **L'article 1240** : *"Tout fait quelconque de l'homme, qui cause à autrui un dommage, oblige celui par la faute duquel il est arrivé, à le réparer."* Cet article énonce le principe de la responsabilité civile qui repose sur le fait qu'une personne qui cause un préjudice à autrui doit réparer ce préjudice. Ainsi, toute personne qui commet une faute ou un acte illicite engage sa responsabilité civile et doit indemniser la victime pour les dommages subis.
- **L'article 1241** : *"Chacun est responsable du dommage qu'il a causé non seulement par son fait, mais encore par sa négligence ou par son imprudence."*
- **L'article 1242** : précise les conditions de la réparation du préjudice. Ainsi, la victime a droit à une indemnisation intégrale de son préjudice, qui comprend les dommages corporels, les dommages matériels et les pertes financières. Le responsable doit également réparer le préjudice moral subi par la victime. En revanche, la réparation ne peut pas être supérieure au préjudice subi par la victime.

## 1.2.2 Assurance responsabilité civile

Il existe différents types de responsabilités civiles en France, en fonction des risques couverts et de l'activité. Il est important de choisir un contrat adapté à sa situation et de vérifier les garanties offertes par le contrat. En effet, on en trouve plusieurs types d'assurance responsabilité civile en fonction des risques et des activités :

- Assurance responsabilité civile professionnelle : destinée aux professionnels pour couvrir les dommages causés à leurs clients dans le cadre de leur activité professionnelle.
- **Assurance responsabilité civile automobile** : obligatoire pour tous les véhicules terrestres à moteur circulant en France, elle couvre les dommages corporels et matériels causés aux tiers en cas d'accident de la route.
- Assurance responsabilité civile locative : destinée aux propriétaires de biens immobiliers loués pour couvrir les dommages causés par les locataires à des tiers.
- Assurance responsabilité civile produits : destinée aux fabricants, distributeurs et importateurs de produits pour couvrir les dommages causés à des tiers par leurs produits défectueux.
- Assurance responsabilité civile chasse : obligatoire pour les chasseurs en France, elle couvre les dommages causés à des tiers lors d'une partie de chasse.

- Assurance responsabilité civile environnementale : destinée aux entreprises pour couvrir les dommages causés à l'environnement et aux tiers par leurs activités.

### 1.2.3 Assurance responsabilité civile Automobile

En juillet 1930, la garantie RC est définie dans le cadre de la loi sur l'assurance automobile mais elle reste facultative.

En vertu de la loi n° 58-208 de 1958, tout propriétaire de véhicule terrestre à moteur est dans l'**obligation** de souscrire une assurance automobile avec la responsabilité civile comme garantie minimale. Cette garantie est la couverture minimale exigée par le Code des Assurances pour protéger les autres usagers de la route.

#### 1.2.3.1 Ses garanties

La responsabilité civile de l'assurance automobile permet de couvrir **les dommages matériels et corporels** causés par le conducteur à des tiers et de verser une indemnisation à un tiers en cas de sinistre dont le conducteur est responsable.

Elle couvre également les dommages causés par le véhicule assuré à des biens publics tels que les routes, les ponts, les panneaux de signalisation, etc.

Cependant, l'assurance responsabilité civile automobile ne couvre pas les dommages causés au conducteur du véhicule assuré, ni les dommages causés aux passagers de ce même véhicule. Il est important de noter que cette assurance ne couvre que les dommages causés à des tiers et non les dommages subis par le véhicule assuré ou son conducteur en cas d'accident. Pour cela, il est recommandé de souscrire à une assurance tous risques qui couvre également les dommages causés au véhicule assuré et à son conducteur.

#### 1.2.3.2 Ses exclusions

Bien que l'assurance responsabilité civile automobile couvre une grande partie des dommages causés à des tiers lors d'un accident de la route, il y a des exclusions à cette couverture qui dépendent de chaque contrat d'assurance qui peut avoir ses propres exclusions.. Voici quelques exemples :

- Les dommages causés intentionnellement par le conducteur du véhicule assuré ne sont pas couverts.
- Les dommages causés lors de la pratique d'une activité professionnelle (comme l'utilisation d'un véhicule pour transporter des marchandises) ne sont pas couverts. Pour cela, il est nécessaire de souscrire une assurance responsabilité

civile professionnelle.

- Les dommages causés à des biens qui ont été confiés au conducteur du véhicule assuré, tels que des véhicules en location, ne sont pas couverts.
- Les dommages causés lors de la participation à des courses ou des compétitions ne sont pas couverts.

### 1.2.3.3 Ses limites

L'assurance responsabilité civile automobile a des limites de couverture en termes de montant de dommages pris en charge par l'assureur. Ces limites sont généralement fixées par la loi et peuvent varier selon le type de dommages causés lors d'un accident.

En France, les limites minimales de couverture pour l'assurance responsabilité civile automobile sont fixées par la loi. Actuellement, elles sont de :

- 1 million d'euros pour les dommages corporels causés à des tiers,
- 100 000 euros pour les dommages matériels causés à des tiers.

Ces montants peuvent varier selon les pays et les contrats d'assurance. Il est donc important de bien vérifier les limites de couverture proposées par son contrat d'assurance avant de souscrire.

### 1.2.3.4 Dommages corporels

L'assurance responsabilité civile automobile couvre tous les dommages corporels subis par des tiers dans un accident de la route causé par le souscripteur du contrat. Cela peut inclure des blessures légères, des blessures graves, des invalidités permanentes, des frais médicaux, des pertes de salaire et d'autres dommages. La garantie s'applique également pour les passagers du véhicule.

En cas de blessure dans un accident de la route, c'est l'assurance du conducteur victime de l'accident qui prendra en charge ses propres dommages corporels. En effet, il devra compter sur sa propre assurance pour couvrir ses propres dommages corporels.

Il est donc important de souscrire une assurance individuelle accident qui peut compléter l'assurance responsabilité civile automobile pour couvrir leurs propres dommages corporels en tant que conducteur responsable ou victime.

Ce type de dommages peuvent engendrer des conséquences importantes et durables pour les victimes et leur entourage. C'est pourquoi les assureurs ont mis en place des dispositifs spécifiques pour prendre en charge ces dommages. En France, les dommages corporels sont indemnisés en fonction de la gravité de l'atteinte à l'intégrité physique de la victime, des conséquences sur sa vie personnelle et professionnelle, ainsi que des préjudices esthétiques et moraux. Les indemnisations peuvent s'étaler sur une longue durée, voire parfois toute la vie de la victime, c'est pourquoi la responsabilité corporelle est considérée comme une branche à développement long.

Elles sont donc souvent versées en plusieurs fois et peuvent être complétées par des indemnités complémentaires (par exemple, par une assurance individuelle accident ou par un fonds d'indemnisation).

## 1.2.4 Système d'indemnisation des sinistres corporels

### 1.2.4.1 Loi Badinter

La loi Badinter est une loi française qui a été promulguée en 1985. Elle a pour objectif de protéger les victimes d'accidents de la circulation en France et de faciliter l'indemnisation de leurs dommages corporels. Elle a été une avancée majeure dans la protection des victimes d'accidents de la circulation en France. Elle a permis de garantir une indemnisation intégrale des préjudices subis par les victimes et d'encourager les assureurs à traiter les demandes d'indemnisation dans les délais impartis. La loi a également permis de renforcer la sécurité routière en rendant obligatoire l'assurance responsabilité civile pour tous les véhicules terrestres à moteur circulant sur le territoire français. Les points fixés par cette loi sont les suivants :

- **La responsabilité du conducteur** : en cas d'accident, le conducteur du véhicule responsable est automatiquement considéré comme responsable des dommages subis par les victimes.
- **L'indemnisation des victimes** : les victimes ont droit à une indemnisation intégrale de leurs préjudices corporels et matériels.
- **Les délais d'indemnisation** : la loi Badinter prévoit des délais stricts pour l'indemnisation des victimes. En cas de retard injustifié, des intérêts peuvent être dus aux victimes.
- **L'assurance obligatoire** : la souscription d'une assurance responsabilité civile pour tous les véhicules terrestres à moteur circulant sur le territoire français devint obligatoire.
- **La garantie du Fonds de Garantie des Assurances Obligatoires de dommages (FGAO)** : Ce fonds a pour mission d'indemniser les victimes d'accidents de la circulation lorsque le responsable de l'accident est inconnu ou non assuré.

### 1.2.4.2 Convention IRCA

La convention IRCA, ou Indemnisation de Recours Corporel et Automobile, a été créée par les assureurs en France pour faciliter l'indemnisation des victimes d'accidents de la route et pour réduire les coûts de gestion pour les assureurs, compte tenu de la grande quantité de déclarations de sinistres qu'ils reçoivent chaque année. Elle permet de régler directement l'assuré sans passer par l'assureur de l'autre parti, garantissant ainsi une indemnisation rapide et minimale pour les victimes, tout en offrant un recours efficace en cas de désaccord ou de litige avec les assureurs.

La convention IRCA s'applique aux petits dommages corporels résultant d'accidents de la circulation impliquant au moins deux véhicules immatriculés en France, dans les DOM (d'outre-mer), ou à Monaco. Elle s'adresse à la victime du dommage corporel, qu'elle soit conductrice ou passagère du véhicule, et se limite à une AIPP (taux d'invalidité) inférieure ou égale à 5%.

La convention IRCA fixe des montants maximums d'indemnisation pour différents types de préjudices subis par la victime, tels que les frais médicaux, les pertes de revenus, les souffrances physiques et morales, ainsi que les préjudices esthétiques et d'agrément. Elle prévoit également des règles spécifiques pour les cas de décès liés à des accidents de la route.

### 1.2.4.3 Nomenclature Dintilhac

La Nomenclature Dintilhac est un outil et un barème de référence utilisé dans le cadre de l'indemnisation des victimes d'accidents médicaux, d'accidents de la route et d'autres types de dommages corporels en France. Elle a été élaborée par la Commission Dintilhac, qui a travaillé sur la réforme de l'indemnisation des victimes entre 2005 et 2007. Cette nomenclature vise à proposer une liste la plus exhaustive possible des préjudices subis par les victimes d'accidents. Elle favorise ainsi une approche globale et complète de la réparation des préjudices, qui prend en considération tous les aspects de la vie de la victime, permettant alors de déterminer le montant de leur l'indemnisation.

La nomenclature Dintilhac répertorie de manière détaillée les différents types de préjudices selon qu'ils concernent la victime directe ou indirecte, qu'ils soient d'ordre économique (patrimonial : dépenses) ou non (extrapatrimonial : dommages subis), et qu'ils soient temporaires ou permanents. Ce guide permet ainsi une évaluation précise des préjudices subis par les victimes. Pour ce faire, on considère l'état de santé de la victime une fois que son état s'est stabilisé et qu'il ne peut plus évoluer, ce que l'on appelle la consolidation. Les préjudices sont répartis en deux catégories, à savoir ceux survenus avant la consolidation et ceux survenus après celle-ci.

## Préjudices de la victime directe

La nomenclature Dintilhac fournit des critères spécifiques pour évaluer chaque type de préjudice, en prenant en compte des éléments tels que la gravité, la durée, l'impact sur la vie quotidienne, et les conséquences sur la qualité de vie de la victime.

	<b>Préjudices Patrimoniaux</b>		<b>Préjudices Extra Patrimoniaux</b>	
<b>Temporaires (avant consolidation)</b>	Dépenses de Santé Actuelles	DSA	Déficits Fonctionnels Temporaires	DFT
	Frais divers		Préjudice Esthétique Temporaire	PET
	Pertes de Gains Professionnels Actuels	PGPA	Souffrances Endurées	SE
<b>Permanents près consolidation</b>	Dépenses de Santé Futures	DSF	Déficits Fonctionnels Permanents	DFP
	Frais de Logement Adapté	FLA	Préjudice d'Agrément	PA
	Frais de Véhicule Adapté	FVA	Préjudices Esthétiques Permanents	PEP
	Assistance Tierce Personne	ATP	Préjudices Sexuels	PS
	Pertes de Gains Professionnels Futures	PGPF	Préjudices d'Etablissement	PEP
	Incidence Professionnelle	IP	Préjudices Permanents Exceptionnels	PPE
	Préjudice Scolaire, Universitaire ou d'études	PSU		
<b>Évolutifs (hors consolidation)</b>			Préjudices pour pathologies évolutives	PEV

TABLE 1.1 – Table des types de préjudices de la victime directe

## Préjudices des victimes indirectes

La nomenclature Dintilhac reconnaît la réalité des souffrances et des préjudices infligés aux membres de l'entourage proche d'une victime d'accident, tels que les parents, les enfants, les amis, les partenaires, les frères et soeurs et les petits-enfants. Ces personnes sont appelées des victimes indirectes ou des victimes par ricochet. Dans le calcul de l'indemnisation, le lien et le degré de proximité entre la victime directe et les victimes indirectes sont pris en compte, tout comme le niveau de gravité de l'accident, y compris le fait qu'il ait entraîné ou non le décès de la victime directe. La nomenclature Dintilhac vise alors à indemniser de manière juste et équitable tous ceux qui ont été touchés par l'accident.

	<b>Préjudices patrimoniaux</b>		<b>Préjudices extra patrimoniaux</b>	
<b>Cas de décès de la victime directe</b>	Frais d'Obsèques	FO	Préjudices d'Accompagnement	PAC
	Frais de Revenus des Proches	PR	Préjudices d'Affection	PAF
	Frais Divers des Proches	FD		
<b>Cas de survie de la victime directe</b>	Frais de Revenus des Proches	PR	Préjudices d'Affection	PAF
	Frais Divers des Proches	FD	Préjudices Extra patrimoniaux Exceptionnels	PEX

TABLE 1.2 – Table des types de préjudices des victimes indirectes

#### 1.2.4.4 Indemnisation en capital ou rentes

Après évaluation du préjudice subi par la victime, celle-ci peut être indemnisée soit en capital, c'est-à-dire en une seule fois, soit en rente, c'est-à-dire de manière périodique. Il n'existe aucune obligation légale quant au choix de la forme de règlement, qui peut être décidé selon les accords conclus entre les parties ou les décisions judiciaires. Cette répartition doit être équitable et justifiée par les circonstances de l'affaire. Il convient de noter que le choix entre une indemnisation en capital ou en rente peut avoir des conséquences importantes pour la victime en termes de gestion financière à long terme. Dans le cas d'un règlement en capital, la victime reçoit une somme d'argent qui correspond à l'estimation du montant nécessaire pour réparer le préjudice subi, en respectant le principe indemnitaire de la responsabilité.

En revanche, si la victime opte pour une indemnisation sous forme de rente, elle reçoit un montant régulier appelé arrérage, soit pour une période temporaire, soit jusqu'à la fin de sa vie (rente viagère). Si la rente est indexée, son montant est révisé périodiquement en fonction de l'indice de référence qui reflète l'évolution du contexte économique en vigueur. En France, les rentes d'indemnisation des dommages corporels peuvent être indexées selon l'article L434-17 du Code de la sécurité sociale. Cette indexation est basée sur l'évolution de l'indice national des prix à la consommation (IPC), qui mesure l'évolution du coût de la vie. Ainsi, chaque année, la rente est réévaluée en fonction de l'augmentation de l'indice des prix.

Il convient de noter que cette indexation ne s'applique pas aux sommes versées en capital pour l'indemnisation d'un préjudice corporel, mais seulement aux rentes versées à titre de compensation. De plus, celles-ci peuvent également être révisées en cas d'évolution de l'état de santé de la victime, ou si un élément nouveau vient modifier la situation qui avait été prise en compte pour la fixation de la rente. Ce mémoire se concentre sur l'impact de l'inflation donc dans le contexte des rentes qui sont les plus impactées par cette dernière à cause de la revalorisation.

# Perspectives et calcul de l'inflation

Ce chapitre a pour objectif d'étudier l'inflation et son impact sur la sinistralité. Nous allons donc nous intéresser aux différents indices pouvant représenter l'inflation, notamment celle impactant les sinistres corporels et étudier leur évolutions grâce à une compréhension des fondements théoriques et les mécanismes de calcul de l'inflation. L'indice d'inflation utilisé sera détaillé afin de mesurer et suivre les variations des prix.

## **2.1 Généralités sur les enjeux de l'inflation**

### **2.1.1 Définition**

Selon l'Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE) en France, l'inflation se définit comme une "hausse durable et générale des prix". Cela signifie que les prix des biens et des services augmentent régulièrement et sur une période de temps relativement longue, ce qui réduit la valeur de la monnaie. Cette hausse des prix est considérée comme "générale" lorsqu'elle concerne une grande partie des biens et des services, plutôt qu'une seule catégorie de produits.

### **2.1.2 Causes de l'inflation**

Les causes de l'inflation peuvent varier selon les circonstances économiques et les politiques monétaires mises en place, mais elles sont généralement liées à une augmentation de la demande globale par rapport à l'offre disponible en raison de la croissance économique, de l'augmentation des revenus, ou de politiques de relance économique qui encouragent la consommation.

1. Une diminution de l'offre de biens et de services, causée par des problèmes de

production, une baisse de la productivité, ou des perturbations dans la chaîne d'approvisionnement.

2. Des coûts de production plus élevés, tels que l'augmentation des coûts des matières premières, des salaires, des impôts, ou des taux d'intérêt.
3. Des politiques monétaires expansionnistes, telles que l'augmentation de la masse monétaire, des taux d'intérêt bas, ou des programmes de rachat d'actifs par la banque centrale.

En général, les causes de l'inflation peuvent également inclure des facteurs structurels tels que les changements démographiques, les changements technologiques, les tendances mondiales du commerce et les cycles économiques. Les chocs externes, tels que les guerres, les catastrophes naturelles ou les perturbations du marché pétrolier, peuvent également contribuer à l'inflation en augmentant les coûts de production ou en perturbant l'offre de biens et de services.

### 2.1.3 Impacts économiques

La définition de l'INSEE met l'accent sur l'aspect durable de l'inflation, ce qui signifie que les prix continuent d'augmenter dans le temps, ce qui peut avoir des conséquences économiques importantes, notamment sur le pouvoir d'achat des consommateurs et les coûts de production pour les entreprises. Il est donc important pour les gouvernements et les banques centrales de surveiller de près l'évolution des prix et de prendre des mesures pour maintenir une inflation faible et stable.

### 2.1.4 Méthodes de régulation

En France, la régulation de l'inflation repose principalement sur la politique monétaire menée par la Banque de France, qui a pour objectif de maintenir la stabilité des prix. Pour cela, elle peut ajuster le taux d'intérêt directeur pour influencer le coût du crédit et la demande de prêts. Elle peut également mener des opérations sur le marché ouvert pour influencer l'offre de liquidités dans l'économie. La régulation macroprudentielle est une autre méthode de régulation de l'inflation qui vise à limiter les risques systémiques dans le système financier. Elle peut inclure des mesures telles que des limites sur les ratios de prêt, des exigences de fonds propres plus élevées, ou la surveillance des marchés financiers. Enfin, le gouvernement peut utiliser la politique fiscale pour réguler l'inflation. Cela peut inclure l'augmentation ou la diminution des impôts et des dépenses publiques pour stimuler ou freiner l'activité économique. Cependant, cette méthode est considérée comme moins efficace et plus difficile à mettre en œuvre politiquement car elle présente des limitations en termes de délais d'effet, d'effets indirects et de contraintes politiques.

Dans l'ensemble, la régulation de l'inflation en France repose sur un ensemble de méthodes complémentaires visant à assurer la stabilité des prix, la stabilité financière et

la croissance économique.

## 2.2 Méthodologie de calcul de l'inflation

L'IPC (Indice des Prix à la Consommation) est l'un des principaux indices utilisés pour mesurer l'inflation. En effet, l'IPC est un indicateur statistique qui permet de quantifier la variation moyenne des prix d'un panier de biens et services représentatif de la consommation des ménages au fil du temps. Il s'agit donc d'un outil essentiel dans le calcul de l'inflation.

L'inflation, quant à elle, représente la hausse générale et durable des prix des biens et services sur une période donnée. Elle est souvent exprimée en pourcentage et est utilisée pour évaluer l'évolution du pouvoir d'achat de la monnaie et son impact sur l'économie.

Ainsi, le calcul de l'inflation est étroitement lié à l'IPC car ce dernier fournit une mesure précise et standardisée de l'évolution des prix à la consommation. L'IPC est calculé régulièrement en recueillant les prix d'un panier de biens et services spécifique et en comparant ces prix avec une période de référence. La différence entre deux périodes permet de déterminer la variation des prix et donc l'inflation : lorsque l'IPC augmente, cela signifie que le coût moyen du panier de biens et services a augmenté par rapport à la période de référence, indiquant ainsi une inflation. Au contraire si l'IPC diminue, cela suggère une désinflation, c'est-à-dire une baisse générale des prix.

En France, l'IPC est calculé à l'aide d'une méthode appelée "méthode de Laspeyres modifiée". Cette méthode est utilisée pour mesurer l'inflation en suivant l'évolution des prix d'un panier de biens et de services représentatif des habitudes de consommation des ménages français.

Chaque élément dans le panier est pondéré en fonction de sa part dans les dépenses totales des ménages. Les poids sont basés sur les résultats de l'Enquête Budget de Famille. En utilisant la formule d'agrégation de Laspeyres on a :

$$I_{i,j}(\text{produit}) = \sum_{ag} \pi_j^{\text{produit}}(ag) I_{i,j}(\text{produit}, ag)$$

Avec :

- $I_{i,j}(\text{produit})$  : l'indice correspondant au produit pour le mois  $i$  de l'année  $j$ .
- $I_{i,j}(\text{produit}, ag)$  : l'indice de l'agglomération correspondant au produit pour le mois  $i$  de l'année  $j$ .
- $\pi_j^{\text{produit}}(ag)$  correspond à la part de dépense en valeur de l'agglomération, pour le produit l'année  $j$ .

Avec  $\forall produit, \sum_{ag} \pi_j^{produit}(ag) = 1$

En effet, il est courant de prendre en compte les variations des prix non seulement au niveau national, mais également au niveau régional ou local. Dans ce cas, "l'indice de l'agglomération" peut se référer à l'indice spécifique calculé pour une agglomération urbaine ou une zone géographique spécifique. Cela permet de fournir des données plus détaillées sur l'évolution des prix à l'échelle locale.

En appliquant la même méthodologie, il est possible de décomposer l'IPC en France jusqu'à un niveau plus granulaire, en incluant des catégories spécifiques du panier moyen dans le calcul. On pondère chaque  $I_{i,j}(produit)$  par la part des dépenses du produit sur le total des produits du poste en question.

$$I_{i,j}(poste) = \sum_{produit} \pi_j^{poste}(produit) I_{i,j}(produit)$$

Avec  $\forall poste, \sum_{produit} \pi_j^{poste}(produit) = 1$

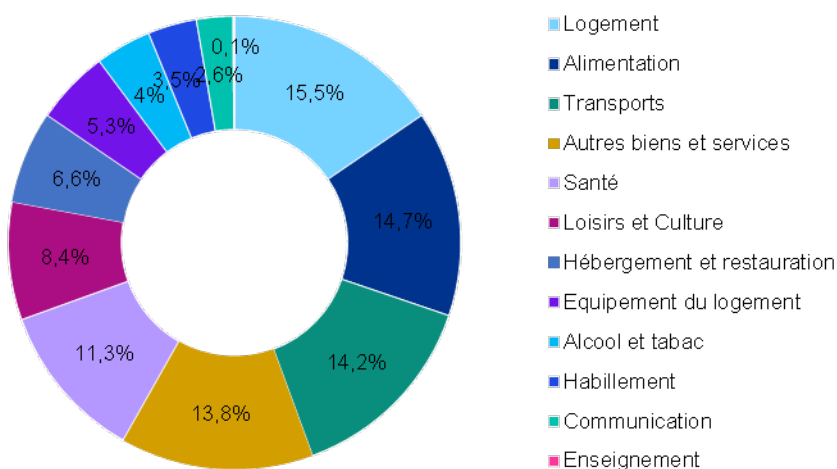


FIGURE 2.1 – Pondération des fonctions de consommation dans le panier IPC de 2022 en %

Source : INSEE

Grâce à cette pondération des différentes catégories, qui reflètent leur importance dans les dépenses de consommation moyennes de la population étudiée, il est possible de calculer l'IPC.

On a alors :

$$I_{i,j} = \sum_{poste} \pi_j(produit) I_{i,j}(poste)$$

On définit alors le taux d'inflation  $i_{t,s}$ , qui s'écrit formellement, avec  $IPC_t$ , la valeur de l'IPC en date  $t$  :

$$i_{t,s} = \frac{IPC_{t+s} - IPC_t}{IPC_t}$$

Il est important de noter que l'IPC est un indicateur qui mesure l'inflation du point de vue des consommateurs et de la variation des prix des biens et services qu'ils achètent. Il ne prend pas en compte certains facteurs économiques plus larges, tels que les variations des prix des actifs financiers, les fluctuations des taux de change ou les changements structurels de l'économie. Cependant, il reste un indicateur clé pour évaluer l'inflation et est largement utilisé par les décideurs économiques, les gouvernements, les banques centrales et les acteurs du marché pour prendre des décisions et analyser l'économie.

## 2.3 Contexte économique de l'inflation

Au cours des années précédentes, l'inflation en France a connu une variation relativement stable, avec des taux d'inflation annuels oscillant entre 0,5% et 1,5%. Ceci a donc permis aux économistes de prévoir et d'estimer avec une certaine précision les tendances inflationnistes. En effet, l'inflation en France a généralement maintenu une variation relativement stable. Par exemple, en 2017, l'inflation en France était de 1,0%, suivie d'une légère augmentation à 1,8% en 2018, principalement en raison de la hausse des prix de l'énergie. En 2019, l'inflation a légèrement ralenti pour atteindre 1,1%, reflétant une croissance économique modérée. Les modèles économiques et les méthodes d'analyse des données historiques ont été utilisés pour prédire les mouvements futurs de l'inflation.

Cependant, en 2022, l'inflation en France a connu un changement majeur et inattendu, enregistrant une augmentation significative des niveaux d'inflation. Selon les données de l'INSEE, l'inflation en France est passée de 1,8% en 2021 à 5,5% en 2022 (base 2015). Plusieurs facteurs ont contribué à cette évolution soudaine. Tout d'abord, la reprise économique post-pandémie a créé une demande accrue de biens et services, ce qui a entraîné une augmentation des prix. Les mesures de relance économique mises en place pour soutenir les entreprises et les ménages ont également injecté une quantité importante de liquidités dans l'économie, stimulant ainsi la demande et alimentant l'inflation. Les perturbations dans la chaîne d'approvisionnement mondiale ont également joué un rôle dans la hausse des prix en 2022. Les pénuries de matières premières, les problèmes logistiques et les coûts de transport élevés ont entraîné des hausses de prix dans divers secteurs, ce qui a eu un impact direct sur les consommateurs.

Cette évolution de l'inflation en France en 2022 a pris de court de nombreux observateurs et a nécessité une réévaluation des prévisions antérieures. Les autorités économiques ont dû prendre des mesures pour gérer cette hausse soudaine des prix et s'adapter à ses effets néfastes sur l'économie.

Dans l'ensemble, ce changement inattendu dans l'inflation en France en 2022 souligne la complexité et l'incertitude entourant la prédiction de l'évolution des prix. Les facteurs économiques, géopolitiques et conjoncturels peuvent tous contribuer à des variations soudaines et significatives de l'inflation, ce qui nécessite une surveillance constante et une adaptation des politiques économiques pour maintenir la stabilité des prix et favoriser une croissance durable.

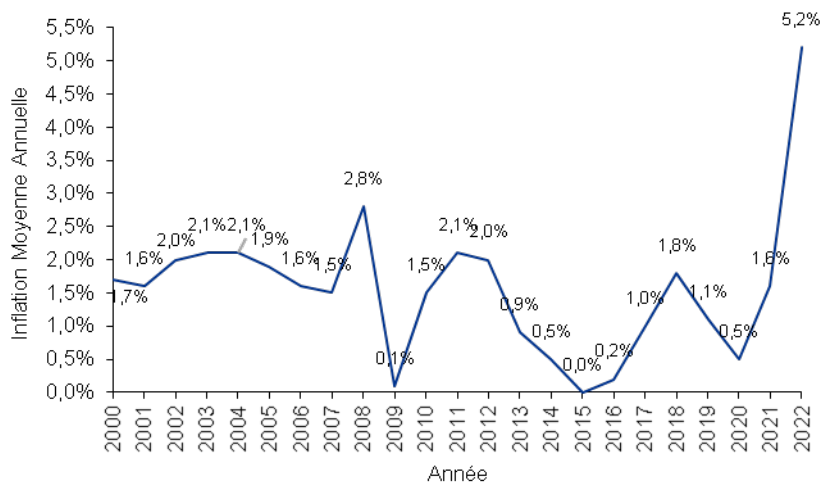


FIGURE 2.2 – Historique inflation base 2015 en France  
Source : INSEE

## 2.4 Impact de l'inflation sur les branches longues

L'étude des branches longues, en particulier des sinistres corporels, dans le cadre de l'assurance responsabilité civile automobile est cruciale pour évaluer l'effet de l'inflation sur l'estimation de la sinistralité. En effet, les branches courtes, telles que les dommages matériels, sont caractérisées par des sinistres réglés rapidement et des coûts relativement stables, ce qui réduit leur sensibilité à l'inflation.

En revanche, les branches longues, comme les sinistres corporels, sont caractérisées par des sinistres à règlement prolongé et des coûts qui peuvent évoluer sur une plus longue période. Ils impliquent souvent des pertes financières à long terme pour les victimes, telles que des dommages corporels permanents, des incapacités de travail prolongées ou une invalidité permanente.

L'inflation a un impact direct sur les coûts liés aux sinistres corporels. Les frais médicaux, les coûts de réadaptation, les salaires perdus et les indemnités pour préjudices corporels sont des éléments clés de l'estimation des coûts des sinistres corporels. L'inflation

peut entraîner une augmentation des tarifs médicaux, des honoraires des professionnels de la santé, des coûts des médicaments et des frais d'hospitalisation. Ces augmentations de coûts doivent être prises en compte lors de l'estimation des sinistres corporels afin de garantir que les indemnisations accordées aux victimes sont adéquates pour couvrir les dépenses réelles et pour tenir compte de l'impact de l'inflation.

En outre, il est important de noter que les règlements et les charges liés aux sinistres corporels dans l'assurance responsabilité civile automobile sont souvent soumis à une revalorisation périodique. Cela signifie que les indemnisations et les montants alloués aux victimes sont ajustés en fonction de l'inflation pour tenir compte de l'augmentation des coûts au fil du temps. Ces revalorisations périodiques visent à garantir que les victimes sont justement indemnisées et que les montants alloués reflètent les coûts réels. L'inflation est un facteur clé pris en compte lors de ces revalorisations périodiques. Les organismes de réglementation et les compagnies d'assurance utilisent des indices d'inflation appropriés pour ajuster les montants des indemnisations et des charges afin de maintenir leur pouvoir d'achat au fil du temps. Cela permet de garantir que les victimes sont protégées contre les effets de l'inflation et que les indemnisations demeurent adéquates dans un environnement économique en évolution et contribue à maintenir l'équité et la pertinence des indemnisations.

En choisissant d'étudier l'effet de l'inflation sur l'estimation des sinistres corporels dans l'assurance responsabilité civile automobile, on reconnaît l'importance de comprendre comment les coûts des sinistres peuvent être influencés par les variations de l'inflation. Une estimation précise de l'inflation dans le contexte des sinistres corporels permet aux compagnies d'assurance de fixer des primes adéquates pour couvrir les coûts croissants des sinistres, d'assurer une indemnisation juste pour les victimes et de maintenir la stabilité financière à long terme.

# Cadre référentiel du provisionnement en assurance non-vie

Dans ce chapitre, l'exposition de certaines méthodes classiques de provisionnement sera abordée. Parmi celles-ci, la méthode de Chain Ladder sera présentée, étant probablement la méthode la plus courante en raison de sa simplicité d'application. En plus de la méthode de Chain Ladder, une approche stochastique de cette dernière, Mack, sera également présentée, offrant la possibilité d'estimer l'erreur de prédiction associée aux montants de provisions.

## 3.1 Les provisions

Du fait de l'inversion du cycle de production, les assureurs doivent anticiper les paiements qu'ils auront à effectuer. C'est ce que l'on appelle les provisions. Il est donc nécessaire de mettre en place des méthodes de provisionnement permettant de s'approcher au mieux de la réalité.

Dans le domaine de l'assurance, les provisions jouent un rôle essentiel. Ainsi, la méthode de calcul des provisions revêt une grande importance. Nous nous intéressons ici aux provisions relatives aux sinistres à payer, l'un des postes de provisionnement les plus importants.

Les provisions pour sinistres peuvent être catégorisées en deux types. La première concerne les sinistres déclarés à la compagnie mais dont le règlement n'est pas encore complet au moment de l'inventaire. Ces sinistres concernent principalement les branches d'assurance dites "longues". Dans cette catégorie, les sinistres sont provisionnés individuellement, en examinant chaque dossier pour déterminer le montant restant à payer.

La deuxième catégorie regroupe les sinistres survenus avant l'inventaire mais qui n'ont pas encore été déclarés à la compagnie. Étant donné que les risques assurables doivent être aléatoires, il est impossible de prévoir à l'avance le montant exact de ces sinistres.

## 3.2 Notations

Les méthodes classiques de provisionnement reposent toutes sur l'utilisation de triangles qui reflètent la dynamique des sinistres. Ces méthodes offrent une vision globale des sinistres. Par la suite, nous procéderons à la pré-détermination des notations à utiliser :

- $i$  correspond à l'indice des années de survenance tel que  $i = 0, \dots, n$  ;
- $j$  correspond à l'indice des années de développement tel que  $j = 0, \dots, n$  ;
- $Z_{i,j}$  : paiement incrémental. Ça correspond au montant des sinistres survenus l'année  $i$  et payés après  $j$  années de développement.
- $C_{i,j}$  : montant cumulé. Il correspond aux paiement cumulés des sinistres survenus l'année  $i$ , en  $j$  année de développement.

Avec :

$$C_{i,j} = \sum_{k=1}^j Z_{i,k}$$

Selon les notations précédentes, on peut représenter la sinistralité par des triangles cumulés ou décumulés présentés ci-dessous :

	Année de développement							
Année de survenance	0	1	2	...	...	...	...	n
0	$Z_{0,0}$	$Z_{0,1}$	$Z_{0,2}$	...	...	...	...	$Z_{0,n}$
1	$Z_{1,0}$	$Z_{1,1}$	$Z_{1,2}$	...	...	...		$Z_{1,n}$
.	.	.	...	...				
.	.	.						
.	.							
n	$Z_{n,0}$							

TABLE 3.1 – Triangle supérieur de paiements incrémentaux

Année de survenance	Année de développement						
	0	1	2	...	...	...	n
0	$C_{0,0}$	$C_{0,1}$	$C_{0,2}$	...	...	...	$C_{0,n}$
1	$C_{1,0}$	$C_{1,1}$	$C_{1,2}$	...	...	...	$C_{1,n-1}$
.	.	.	...	...			
.	.	.					
.	.						
n	$C_{n,0}$						

TABLE 3.2 – Triangle supérieur de paiements cumulés

De cette façon, le triangle de provisionnement peut être lu de différentes manières : par **ligne**, par **colonne** ou par **diagonale** :

- Chaque ligne correspond à une année de survenance donnée ;
- Chaque colonne correspond à une année de développement donnée et renseigne sur la durée du sinistre dans le temps ;
- Chaque diagonale correspond aux montants pour une année calendaire donnée

Les méthodes classiques de provisionnement reposent sur l'utilisation de ces tableaux afin d'estimer la valeur finale de la charge ultime ou des règlements finaux, pour chaque période d'exercice  $i$ .

Le triangle supérieur du tableau représente les données observées et réalisées jusqu'à présent. Il indique les montants réels de la variable pour chaque combinaison de période et de niveau de développement.

L'objectif des méthodes de provisionnement est de prédire les montants futurs de la variable,  $\hat{C}_{i,j}$ , en utilisant les informations fournies par le triangle supérieur. Cela implique de développer le triangle supérieur vers le bas, en extrapolant les montants observés dans les périodes précédentes pour estimer les montants futurs. En développant le triangle supérieur, on peut estimer la valeur de la dernière colonne du tableau, qui correspond à la charge ultime de l'exercice  $i$ . Cela représente les montants finaux attendus pour chaque période d'exercice, une fois que toutes les réclamations ou les règlements auront été traités. On notera  $U_i$  tel que  $U_i = C_{i,n}$ . On devient en mesure de calculer la provision de chaque année  $i$  qu'on notera  $R_i$  tel que :

$$R_i = U_i - C_{i,n-i}$$

On obtient finalement la réserve totale :

$$\hat{R} = \sum_{i=0}^n \hat{R}_i = \sum_{i=0}^n U_i - C_{i,n-i}$$

## 3.3 Méthodes classiques de provisionnement

### 3.3.1 Méthode Déterministe : Chain Ladder Standard

L'évaluation de la provision pour sinistres à payer (PSAP) à partir des données observées a donné lieu à de nombreuses méthodes déterministes, qui permettent de prévoir la provision dans certaines conditions spécifiques. L'approche repose sur l'utilisation de triangles de paiements ou de charges pour estimer les charges ultimes et les règlements finaux. Les triangles représentent les paiements de sinistres par période de survenance et de règlement. La méthode du "Chain Ladder" est utilisée pour projeter les montants futurs en se basant sur les données passées et les tendances observées. Cela permet d'estimer les montants finaux attendus pour chaque période d'exercice.

Cette méthode de provisionnement suppose que le délai entre la survenance d'un sinistre et son règlement reste stable. Elles ne tiennent pas compte des aléas, ne prenant donc pas en considération l'incertitude ou la variabilité des événements futurs et considèrent qu'il est possible de trouver des relations totalement déterministes pour modéliser le flux des sinistres.

Cependant, il est important de noter que ces méthodes déterministes reposent sur certaines hypothèses telles que l'absence d'inflation, l'absence de changement dans la structure du portefeuille ou des garanties des contrats, et une période d'observation suffisamment longue. Dans ces conditions, les méthodes déterministes peuvent constituer un premier outil intéressant pour estimer la charge finale.

**La méthode de la Chain Ladder** est une approche classique et largement utilisée dans le provisionnement en assurance non-vie. Elle est appréciée pour sa simplicité de mise en œuvre et sa facilité d'interprétation des résultats. Son principe repose sur l'utilisation d'un facteur de développement, noté  $\lambda_j$ , qui est supposé dépendre uniquement de l'année de développement  $j$ .

Cependant, il convient de noter que cette méthode repose sur certaines hypothèses simplificatrices :

$H1 : \forall i, i' \in \llbracket 0; n \rrbracket$  avec  $i \neq i' : \{C_{i,0}, \dots, C_{i,n}\}$  et  $\{C_{i',0}, \dots, C_{i',n}\}$  sont indépendants.

$H2 : \forall j \in \llbracket 0; n \rrbracket, \exists \lambda_j$  tel que  $\forall i \in \llbracket 0; n \rrbracket :$

$$C_{i,j+1} = \lambda_j \cdot C_{i,j}$$

Ce facteur de développement est utilisé pour projeter les paiements futurs en se basant sur les paiements passés. L'idée fondamentale est que les paiements de sinistres se développent au fil du temps de manière cohérente, et ce facteur de développement permet de quantifier cette évolution. En multipliant les paiements observés d'une année donnée  $C_{i,j}$  par le facteur de développement correspondant  $\lambda_j$ , on obtient ainsi une estimation des paiements de l'année suivante  $C_{i,\hat{j}+1}$ . L'estimation des  $\lambda_j$  est donnée par :

$$\hat{\lambda}_j = \frac{\sum_{k=0}^{n-j-1} C_{k,j+1}}{\sum_{k=0}^{n-j-1} C_{k,j}} \text{ Avec } j \in \llbracket 0; n-1 \rrbracket$$

La méthode du Chain Ladder permet également de calculer des réserves pour les années ultérieures en utilisant les facteurs de développement moyens calculés à partir des données historiques. Ainsi, elle permet d'estimer le triangle inférieur de paiements, qui représente la distribution des paiements de sinistres par période de survenance et de règlement.

$$\forall i, j \in \llbracket 0; n \rrbracket, C_{i,j} = C_{i,n-i} \cdot \prod_{k=n-i}^{j-1} \lambda_k$$

$$\forall i \in \llbracket 0; n \rrbracket, \hat{R}_i = \hat{C}_{i,n} - C_{i,n-i}$$

Le montant total des réserves :

$$\hat{R} = \sum_{i=0}^n \hat{R}_i = \sum_{i=0}^n \hat{C}_{i,n} - C_{i,n-i}$$

Cependant, il est important de souligner certaines **limites** de cette méthode :

1. L'appuie sur l'hypothèse forte de la similarité de la cadence de développement future à celle du passé, ce qui est souvent difficile à respecter en pratique. En effet, certains phénomènes qui influent sur le portefeuille à un moment donné ne se reproduisent pas nécessairement par la suite et peuvent influencer le cours de développement pour chaque année de survenance. Par exemple :
  - Possibilité d'un subventionnement d'un saut en paiement d'une année de développement à une autre ;
  - Changement de la gestion stratégique des sinistres ;
  - Changements dans le profil de risque des assurés.
2. Cette méthode semble plus fiable pour les branches d'activité où les risques sont homogènes, car elle repose sur l'expérience passée des années les plus anciennes d'origine ;
3. Elle ne prend pas en considération la loi que peut suivre les coûts de sinistres et leurs fréquences ;
4. Non distribution d'une précision des estimations dû au trait déterministe de la méthode.

### 3.3.2 Méthode Stochastique : Modèle de Mack

Il existe un large éventail de méthodes stochastiques disponibles pour estimer les PSAP. Au fil du temps, il est devenu essentiel de recourir à ces méthodes en complément des méthodes déterministes, afin de mesurer l'incertitude inhérente aux résultats obtenus et d'éviter les limitations des méthodes déterministes.

La nécessité de quantifier l'incertitude des résultats a favorisé le développement de nouvelles méthodes dites stochastiques, qui considèrent les données de règlement des sinistres comme des variables aléatoires réelles. Les approches probabilistes tiennent compte des incertitudes et des variations aléatoires dans les calculs des charges ultimes ou des règlements finaux, contrairement aux approches déterministes qui utilisent des valeurs fixes. Elles permettent ainsi de prendre en compte les fluctuations et les risques associés aux données et aux processus étudiés, offrant une perspective plus réaliste et robuste.

Les méthodes stochastiques permettent non seulement d'estimer la variabilité des réserves, mais également d'obtenir des estimations du montant des provisions en moyenne. De plus, certaines de ces méthodes permettent de déterminer la distribution des provisions, offrant ainsi une vision approfondie du risque.

Ainsi, les méthodes stochastiques fournissent des outils essentiels pour estimer les PSAP en prenant en compte l'incertitude, la variabilité et la distribution des données, offrant ainsi une perspective plus complète et précise de la gestion des risques.

**Thomas Mack** propose en 1993 une version stochastique de la méthode Chain Ladder pour améliorer la précision de l'estimation du montant, en fournissant une appréciation de la qualité de l'estimation, qui manque dans le résultat déterministe. Cette approche permet de quantifier l'erreur d'estimation associée au triangle inférieur tout en maintenant les mêmes estimations que celles de la méthode Chain Ladder.

### Hypothèses :

Elle repose sur les trois hypothèses suivantes :

$H1$  : Indépendance des années de survenance tel que  $\forall i \neq i'; \{C_{i,0}, \dots, C_{i,n}\}, \{C_{i',0}, \dots, C_{i',n}\}$  sont indépendants ;

$H2$  :  $\forall j \in \llbracket 0; n-1 \rrbracket, \exists \lambda_j$  tel que  $\forall i \in \llbracket 0; n \rrbracket$  :

$$E[C_{i,j+1} | C_{i,0}, \dots, C_{i,j}] = \lambda_j \cdot C_{i,j}$$

$H3$  :  $\forall j \in \llbracket 0; n-1 \rrbracket, \exists \sigma_j^2$ , tel que  $\forall i \in \llbracket 0; n \rrbracket$  :

$$\text{Var}[C_{i,j+1} | C_{i,0}, \dots, C_{i,j}] = \sigma_j^2 \cdot C_{i,j}.$$

Mack a alors démontré que, sous les hypothèses  $H1$  et  $H2$ , le modèle stochastique génère les mêmes réserves que le modèle de Chain Ladder présenté. Sous les hypothèses  $H1$  et  $H2$ , les estimateurs standards de Chain Ladder, sans biais et non corrélés sont les suivants :

$$\hat{\lambda}_j = \frac{\sum_{k=0}^{n-j-1} C_{k,j+1}}{\sum_{k=0}^{n-j-1} C_{k,j}} \text{ Avec } j \in \llbracket 0; n-1 \rrbracket$$

### Calcul de l'erreur d'estimation :

La méthode de Mack présente l'avantage de permettre le calcul de l'erreur moyenne de prédiction à partir des estimateurs  $\lambda_j$ .

Cela permet d'étudier la distance moyenne entre l'estimateur  $\hat{C}_{i,n}$  et la vraie valeur  $C_{i,n}$ . L'erreur quadratique moyenne, également connue sous le nom de **Mean Squared Error (MSE)**, du montant des provisions pour l'année  $i$ , est définie par :

$$\text{mse}(\hat{R}_{i,n}) = E[(\hat{R}_{i,n} - R_{i,n})^2 | \mathbf{F}_i]$$

où  $\mathbf{F}_i$  est l'ensemble des points définis par :  $\mathbf{F}_i = \{C_{i,j} | i + j \leq n\}$ .

L'estimation de cette erreur d'après Mack :

$$\text{mse}(\hat{R}_{i,n}) = \hat{C}_{i,n}^2 \cdot \sum_{k=n-i}^{n-1} \frac{\hat{\sigma}_k^2}{\hat{\lambda}_k^2} \left( \frac{1}{\hat{C}_{i,k}} + \frac{1}{\sum_{j=0}^{n-k} C_{j,k}} \right)$$

L'estimation de  $\sigma_j^2$ , sans biais, d'après Mack :

$$\forall j \in \{0, \dots, n-2\}; \hat{\sigma}_j^2 = \frac{1}{n-j-1} \sum_{i=0}^{n-1} C_{i,j} \left( \frac{C_{i,j+1}}{C_{i,j}} - \hat{\lambda}_j \right)^2$$

$$\hat{\sigma}_{n-1}^2 = \min\left(\frac{\hat{\sigma}_{n-2}^4}{\hat{\sigma}_{n-3}^2}, \min\{\hat{\sigma}_{n-3}^2, \hat{\sigma}_{n-2}^2\}\right)$$

Cette valeur est estimée de manière que :  $\frac{\hat{\sigma}_{n-3}^2}{\hat{\sigma}_{n-2}^2} = \frac{\hat{\sigma}_{n-2}^2}{\hat{\sigma}_{n-1}^2}$

### Estimation d'un intervalle de confiance

Grâce au modèle de Mack, il est possible d'estimer la moyenne de la variable aléatoire  $R_i$  par  $\hat{R}_i$ , ainsi que l'écart type de  $R_i$  par  $\hat{se}(\hat{R}_i) = \sqrt{\hat{mse}(\hat{R}_i)}$

En appliquant une distribution normale en cas de la présence d'un nombre suffisamment important de données, un intervalle de confiance à 95% sur les réserves estimées est mis en place :

$$[\hat{R}_i - 1,96\hat{se}(\hat{R}_i), \hat{R}_i + 1,96\hat{se}(\hat{R}_i)]$$

# Prise en compte de l'inflation dans le provisionnement

Ce chapitre examine l'impact de l'inflation sur les ultimes. Nous utilisons un modèle qui intègre les indices d'inflation dans notre analyse. Nous appliquons d'abord la méthode de séparation de Taylor sur les règlements pour extrapoler les facteurs d'inflation. Ensuite, nous utilisons le modèle de Meunier et Lagrange pour identifier l'indice de prix sectoriel le plus approprié à notre contrat.

Enfin, nous déterminons un facteur d'inflation futur qui sera pris en compte dans nos projections. Ensuite, la méthode du "*as-if*" est appliquée pour obtenir un résultat de provisionnement.

## 4.1 Méthode de séparation Taylor-Verbeek

### 4.1.1 Origine et intérêt de la méthode

La méthode présentée dans cette section est dérivée des travaux de Taylor (1977), qui à son tour s'est inspiré de la méthode développée par Verbeek (1972). Verbeek a conçu un modèle pour évaluer l'évolution du nombre de sinistres, tandis que Taylor a généralisé cette méthode en l'adaptant aux montants des sinistres.

L'intérêt majeur de cette technique réside dans le calcul des provisions pour les sinistres dans un triangle de données, qui est généralement soumis à une inflation inconnue et potentiellement variable au fil des exercices calendaires. Cette méthode permet alors le retraitement de l'inflation passée. En effet, notre étude tient compte de la durée de vie des branches d'assurance non-vie. Au cours de cette période, les montants versés pour les indemnités sont affectés par l'inflation, ce qui signifie qu'un euro versé en 2000 ne peut

être directement comparé à un euro versé en 2018. Les modèles doivent donc prendre en considération ce phénomène.

Lorsque deux sinistres identiques surviennent à des périodes différentes, leur charge initiale diffère en raison de l'inflation, mais cette information est connue. En revanche, leur évolution, simulée à l'aide de facteurs de développement, reste la même. Les facteurs de développement représentent l'aggravation relative du sinistre : si la charge du premier sinistre double la deuxième année, le deuxième sinistre aura un facteur de développement identique. Ainsi, l'utilisation des facteurs de développement permet d'intégrer l'inflation sans nécessiter un traitement séparé. Il est donc essentiel de prendre en compte l'inflation dans l'analyse.

## 4.1.2 Principe de calcul

Les méthodes de provisionnement traditionnelles ne tiennent généralement pas compte des facteurs externes tels que l'inflation, bien qu'ils puissent avoir un impact significatif sur les règlements et entraîner une sous- ou sur-provision. Dans cette section, notre objectif est d'isoler spécifiquement l'influence de l'inflation sur le montant des provisions. Nous nous concentrons sur la séparation des effets de l'année de survenance des sinistres, de l'année de développement et de l'année calendaire. L'objectif est de comprendre comment chacun de ces éléments interagit avec l'inflation et affecte les montants de provisions requis. En prenant en compte ces facteurs distincts, nous cherchons à améliorer notre capacité à anticiper et à ajuster les provisions en fonction des variations de l'inflation.

### 4.1.2.1 Notations et hypothèses

Taylor propose la modélisation suivante des montants décumulés et normalisés  $s_{i,j}$  :

$$s_{i,j} = \frac{C_{i,j} - C_{i,j-1}}{n_i}$$

En travaillant avec des montants standardisés  $s_{i,j}$ , on exclue l'impact de l'inflation lié à la fréquence des sinistres.

L'hypothèse sur laquelle repose la méthode de "séparation" est la suivante :

$$s_{i,j} = \rho_j \cdot \lambda_{i+j} \quad \forall i, j \in \llbracket 0, n \rrbracket$$

Avec :

$n_i$  : nombre de sinistres survenue l'année  $i$ , supposé constant.

$\rho_j$  : l'effet lié à l'année de développement  $j$  du règlement, qui se manifeste à travers les colonnes du triangle de développement. Il correspond à la part moyenne des sinistres payée lors de la  $j^{\text{ème}}$  année de développement.

$\lambda_{i+j}$  : l'effet lié à l'année calendaire  $i + j$  qui est observé le long de la diagonale  $i + j + 1$  du triangle de développement. Cet effet correspond aux facteurs exogènes, qui, dans notre cas, traduisent l'influence de l'inflation.

On obtient alors le triangle standardisé des  $s_{i,j}$  suivant :

Année de survenance	Année de développement								
	0	1	...	j	...	n-i	...	n-1	n
0	$\rho_0 \lambda_0$	$\rho_1 \lambda_1$	...	$\rho_j \lambda_j$	...	$\rho_{n-i} \lambda_{n-i}$	...	$\rho_{n-1} \lambda_{n-1}$	$\rho_n \lambda_n$
1	$\rho_0 \lambda_1$	$\rho_1 \lambda_2$	...	$\rho_j \lambda_{j+1}$	...	$\rho_{n-i} \lambda_{n-i-1}$	...	$\rho_{n-1} \lambda_n$	
.	...	...	...	...	...	...	...		
i	$\rho_0 \lambda_i$	$\rho_1 \lambda_{i+1}$	...	$\rho_j \lambda_{i+j}$	...	$\rho_{n-i} \lambda_n$			
.	...	...	...	...	...				
n-j	$\rho_0 \lambda_{n-j}$	$\rho_1 \lambda_{n-j+1}$	...	$\rho_j \lambda_n$					
.	...	...	...						
n-1	$\rho_0 \lambda_{n-1}$	$\rho_1 \lambda_n$							
n	$\rho_0 \lambda_n$								

TABLE 4.1 – Triangle supérieur standardisé de paiements

#### Hypothèses :

- $\rho_j$  et  $\lambda_{i+j}$  sont indépendants et constants ;
- $\sum_{j=0}^n r_j = 1$  (\*)

#### 4.1.2.2 Méthodologie de calcul

On procède ensuite à l'estimation des paramètres du modèle. Pour cela, on pose

$d_k$  : la  $k + 1$ ème diagonale tel que :

$$d_k = \lambda_k \sum_{j=0}^k r_j (**)$$

$v_j$  : la somme de la colonne contenant  $r_j$ , c'est à dire la  $k$ ème colonne tel que :

$$v_j = \rho_j \sum_{k=j}^n \lambda_k (***)$$

On obtient alors :

— De (\*) & (\*\*):

$$d_n = \lambda_n \sum_{j=0}^n r_j = \lambda_n \quad (1)$$

— De (\*\*\*) :

$$\rho_n = \frac{v_n}{\lambda_n} \quad (2)$$

Grâce à une récursion backward de Taylor-Verbeek, on est en mesure d'obtenir les estimateurs suivants :

$$\hat{\lambda}_k = \frac{d_k}{1 - \sum_{j=k+1}^n \rho_j} \quad (3)$$

$$\hat{\rho}_k = \frac{v_k}{\sum_{i=k}^n \lambda_i} \quad (4)$$

Grâce à cette méthode, il est possible de représenter sous un nouvel angle les données du triangle supérieur en utilisant le tableau 2.1. Cependant, il convient de noter que cette approche ne permet pas de compléter la partie inférieure du triangle ni de procéder à une estimation des provisions requises. En effet, d'une part, cette méthode aboutît à une estimation totale du paramètre  $\rho_j$ , mais d'autre part, le paramètre d'inflation  $\lambda_k$  est estimé partiellement, donnant alors un historique de ce paramètre.

## 4.2 Modélisation de l'inflation future

Une fois que l'on a réalisé les étapes précédentes, on obtient les coefficients  $\lambda_k$  qui intègrent l'effet de l'inflation pour les paiements déjà effectués et connus. Cependant, afin d'estimer les réserves nécessaires, il est important d'obtenir une projection de ces coefficients pour pouvoir simuler les paiements futurs. La littérature ne spécifie aucune méthode particulière, mais une approche courante consiste à effectuer une **régression linéaire** des coefficients  $\lambda_k$ , ce qui permet d'extrapoler linéairement ces valeurs, ou grâce à des prévisions moyennant le processus d'ARIMA.

Cependant, pour cette partie, on se concentre également sur l'examen du modèle développé par LAGRANGE et MEUNIER [2014] pour représenter les facteurs d'inflation dérivés de la méthode de Taylor. Les deux premiers paragraphes sont consacrés à la présentation et à l'amélioration de ce modèle.

### 4.2.1 Méthode de maximum de vraisemblance

Notre objectif est d'isoler la composante d'inflation des coefficients  $\lambda_k$ . Pour ce faire, nous nous appuyons sur le modèle développé par LAGRANGE et MEUNIER. Selon ce modèle, nous supposons que les facteurs d'inflation  $\lambda_k$ , pour tout  $k \in \{1, \dots, n\}$ , peuvent être exprimés de la manière suivante :

$$\lambda_k = \lambda_0(1 + \alpha i_0) \dots (1 + \alpha i_{k-1}) + \gamma_k$$

On note par :

$(i_k)_{k=1, \dots, n}$  : taux d'inflation entre les années  $k$  et  $k + 1$  ;

$(\gamma_k)_{k=1, \dots, n}$  : le risque spécifique associé à l'année calendaire  $k$  ;

$\alpha$  : paramètre à estimer et strictement positif.

On effectue une décomposition des facteurs exogènes  $\lambda_k$  en deux composantes distinctes : une composante inflation, modélisée de manière polynomiale, et une composante spécifique propre au portefeuille d'assurance. La forme choisie pour la composante inflation est délibérément simplifiée pour faciliter l'analyse. De plus, on suppose que les paramètres  $\gamma_k$  sont indépendantes et **identiquement distribuées** et

**suivent une loi**  $\mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$ . L'espérance et la variance du risque spécifique sont supposées indépendantes de l'année calendaire  $k$ .

L'objectif principal est d'estimer le paramètre  $\alpha$ , qui demeure inconnu dans ce cadre de recherche.

La fonction de vraisemblance de  $(\gamma_k)_{k=1, \dots, n}$  se présente comme suit :

$$\mathcal{L}(\mu, \sigma^2, \gamma_1, \dots, \gamma_n) = \prod_{k=1}^n \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(\gamma_k - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

On obtient une fonction log de la vraisemblance écrite sous la forme :

$$\ln(\mathcal{L}(\mu, \sigma^2, \gamma_1, \dots, \gamma_n)) = l(\mu, \sigma^2, \gamma_1, \dots, \gamma_n) = -\frac{n}{2} (\ln(2\pi) + \ln(\sigma^2)) - \sum_{k=1}^n \left(\frac{(\gamma_k - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

On procède par remplacer les  $\gamma_k$  par leur écriture en fonction des  $\lambda_k$  et de  $\alpha$  :

$$l(\alpha, \mu, \sigma^2, \lambda_1, \dots, \lambda_n) = -\frac{n}{2} (\ln(2\pi) + \ln(\sigma^2)) - \sum_{k=1}^n \left(\frac{(\lambda_k - \lambda_0 \prod_{j=0}^{k-1} (1 + \alpha i_j) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

Avant de procéder à l'estimation des paramètres  $\alpha$ ,  $\mu$  et  $\sigma$  par la méthode du maximum de vraisemblance, il est crucial de vérifier l'identifiabilité du système, c'est à dire sa capacité de déterminer de manière unique les valeurs des paramètres du modèle.

Pour tout ensemble de  $n$  valeurs  $(\lambda_1, \dots, \lambda_n)$ , il est important de noter qu'au minimum, deux triplets  $(\alpha_1 = 0, \mu_1 = 0, \sigma_1^2 = \sigma^2)$  et  $(\alpha_2 = \frac{-1}{i_1}, \mu_2 = -\lambda_0, \sigma_2^2 = \sigma^2)$  satisfont les conditions suivantes :

$$l(\alpha_1, \mu_1, \sigma_1^2, \lambda_1, \dots, \lambda_n) = l(\alpha_2, \mu_2, \sigma_2^2, \lambda_1, \dots, \lambda_n)$$

Dans ce cadre, afin de garantir l'identifiabilité du modèle, une contrainte supplémentaire est appliquée sur le paramètre  $\mu$ . Par conséquent, nous définissons la contrainte suivante :

$$\mu = 0$$

L'estimation des paramètres  $\alpha$  et  $\sigma$  est réalisée en calculant les racines des dérivées partielles du logarithme de la vraisemblance par rapport à ces variables. En utilisant ces dérivées partielles, nous sommes en mesure de déterminer les valeurs optimales pour  $\alpha$  et  $\sigma$ , ce qui est essentiel pour obtenir une estimation précise des paramètres du modèle.

On note la fonction  $\phi$  afin de faciliter l'écriture :

$$\phi_k(\alpha) = \prod_{j=0}^k (1 + \alpha i_j) \quad \forall k \in \llbracket 0, n \rrbracket$$

Or,  $\forall k \in \llbracket 0, n \rrbracket$ ,  $\phi$  est dérivable sur  $\mathbb{R}$ , donc :

$$\phi'_0(\alpha) = i_0$$

$$\forall k \in \llbracket 1, n \rrbracket, \phi'_k(\alpha) = \phi'_{k-1}(\alpha) (1 + \alpha i_k) + \phi_{k-1}(\alpha) i_k$$

Les dérivées partielles de  $l$  par rapport à  $\alpha$  et  $\sigma$  se présentent alors comme suit :

$$\frac{\partial l(\alpha, \sigma^2, \lambda_1, \dots, \lambda_n)}{\partial \alpha} = \sum_{k=1}^n \frac{(\lambda_k - \lambda_0 \phi_{k-1}(\alpha))}{\sigma^2} \lambda_0 \phi'_{k-1}(\alpha) \quad (*)$$

$$\frac{\partial l(\alpha, \sigma^2, \lambda_1, \dots, \lambda_n)}{\partial \sigma^2} = -\frac{n}{2\sigma^2} + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n \left( \frac{\lambda_k - \lambda_0 \phi_{k-1}(\alpha)}{\sigma^2} \right)^2 \quad (**)$$

Après la détermination de la valeur de  $\alpha$ , racine de la fonction (\*), grâce au logiciel R où l'on appliquera la méthode de Newton-Raphson, on obtient la formule suivante de  $\sigma^2$  :

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (\lambda_k - \lambda_0 \phi_{k-1}(\hat{\alpha}))^2$$

## 4.2.2 Méthode de maximum de vraisemblance améliorée

Nous apportons des modifications au modèle afin de mieux ajuster l'évolution des facteurs d'inflation, qui sont maintenant exprimés, pour tout  $k \in \{1, \dots, n\}$ , sous la forme suivante :

$$\lambda_k = \beta \lambda_0 (1 + \alpha i_0) \dots (1 + \alpha i_{k-1}) + \gamma_k$$

$\gamma_k$  s'écrit alors en fonction de  $\lambda_k$ ,  $i_k$  et du paramètre  $\beta$  :

$$\gamma_k = \lambda_k - \beta \lambda_0 \phi_{k-1}(\alpha)$$

Avec  $\beta$  est une constante à estimer strictement positive. Les autres paramètres ont les mêmes caractéristiques que celles citées dans le paragraphe précédent.

La fonction log-vraisemblance se réécrit :

$$l(\alpha, \beta, \mu, \sigma^2, \lambda_1, \dots, \lambda_n) = -\frac{n}{2} (\ln(2\pi) + \ln(\sigma^2)) - \sum_{k=1}^n \left( \frac{(\lambda_k - \beta \lambda_0 \phi_{k-1}(\alpha) - \mu)^2}{2\sigma^2} \right)$$

En reprenant la contrainte précédente  $\mu = 0$  pour assurer l'identifiabilité du modèle, notre objectif est de déterminer les estimateurs du maximum de vraisemblance pour les paramètres  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\sigma^2$  :

$$\frac{\partial l(\alpha, \beta, \sigma^2, \lambda_1, \dots, \lambda_n)}{\partial \alpha} = \sum_{k=1}^n \frac{(\lambda_k - \beta \lambda_0 \phi_{k-1}(\alpha))}{\sigma^2} \beta \lambda_0 \phi'_{k-1}(\alpha)$$

$$\frac{\partial l(\alpha, \beta, \sigma^2, \lambda_1, \dots, \lambda_n)}{\partial \beta} = \sum_{k=1}^n \frac{(\lambda_k - \beta \lambda_0 \phi_{k-1}(\alpha))}{\sigma^2} \lambda_0 \phi_{k-1}(\alpha)$$

$$\frac{\partial l(\alpha, \beta, \sigma^2, \lambda_1, \dots, \lambda_n)}{\partial \sigma^2} = -\frac{n}{2\sigma^2} + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n \left( \frac{\lambda_k - \beta \lambda_0 \phi_{k-1}(\alpha)}{\sigma^2} \right)^2$$

Les estimateurs du maximum de vraisemblance  $\hat{\beta}$  et  $\hat{\sigma}^2$  s'écrivent en fonction de  $\hat{\alpha}$  :

$$\hat{\beta} = \frac{\sum_{k=1}^n \lambda_k}{\lambda_0 \sum_{k=1}^n \phi_{k-1}(\hat{\alpha})}$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (\lambda_k - \hat{\beta} \lambda_0 \phi_{k-1}(\hat{\alpha}))^2$$

De la même manière que pour le premier modèle, nous utilisons l'algorithme de Newton-Raphson pour estimer  $\hat{\alpha}$ . Ensuite, nous procédons à l'estimation de  $\hat{\beta}$  et  $\hat{\sigma}$ .

### 4.2.3 Estimation des lambdas futures

La méthode de séparation arithmétique de Taylor, utilisée sur le triangle supérieur, permet d'identifier les cadences de règlement par année de développement  $\rho_j$  pour chaque année  $j$  allant de 0 à  $n$ , ainsi que les facteurs d'inflation  $\lambda_k$  pour chaque exercice calendaire  $k$  allant de 0 à  $n$ .

Cependant, cette méthode présente une limite : elle ne permet pas d'estimer la partie inférieure du triangle. Dans cette partie, notre objectif est donc d'estimer les facteurs d'inflation futurs  $\lambda_k$  pour les années  $k$  allant de  $n+1$  à  $2n$ . Ces estimations nous permettront de compléter la partie inférieure du triangle. En d'autres termes, en estimant les valeurs futures de la série, nous pourrions déterminer les coefficients de Taylor à venir  $\lambda_k$  pour les années  $n+1$  à  $2n$ , et ainsi compléter la partie inférieure du triangle de liquidation en maintenant des rythmes de règlement constants.

$$\lambda_k = \hat{\beta}\lambda_0 (1 + \hat{\alpha}i_1) \dots (1 + \hat{\alpha}i_{n-1}) (1 + \hat{\alpha}i_n) \dots (1 + \hat{\alpha}i_{k-1}) + \gamma_k \quad (***)$$

Année de survenance	Année de développement								
	0	1	...	j	...	n-i	...	n-1	n
0	$\rho_0\lambda_0$	$\rho_1\lambda_1$	...	$\rho_j\lambda_j$	...	$\rho_{n-i}\lambda_{n-i}$	...	$\rho_{n-1}\lambda_{n-1}$	$\rho_n\lambda_n$
1	$\rho_0\lambda_1$	$\rho_1\lambda_2$	...	$\rho_j\lambda_{j+1}$	...	$\rho_{n-i}\lambda_{n-i-1}$	...	$\rho_{n-1}\lambda_n$	$\rho_n\lambda_{n+1}$
.	...	...	...	...	...	...	...	...	.
i	$\rho_0\lambda_i$	$\rho_1\lambda_{i+1}$	...	$\rho_j\lambda_{i+j}$	...	$\rho_{n-i}\lambda_n$	...	...	$\rho_n\lambda_{n+i}$
.	...	...	...	...	...	...	...	...	.
n-j	$\rho_0\lambda_{n-j}$	$\rho_1\lambda_{n-j+1}$	...	$\rho_j\lambda_n$	...	...	...	...	$\rho_n\lambda_{2n-j}$
.	...	...	...	...	...	...	...	...	.
n-1	$\rho_0\lambda_{n-1}$	$\rho_1\lambda_n$	...	...	...	...	...	...	$\rho_n\lambda_{2n-1}$
n	$\rho_0\lambda_n$	$\rho_1\lambda_{n+1}$	...	$\rho_j\lambda_{n+j}$	...	$\rho_{n-i}\lambda_{2n-i}$	...	$\rho_{n-1}\lambda_{2n-1}$	$\rho_n\lambda_{2n}$

TABLE 4.2 – Triangle des règlements complet par méthode de séparation de Taylor Verbeek

#### Modélisation des flux futurs avec intégration de l'inflation cristallisée

La dernière étape de cette méthode réside dans la détermination du paramètre inflation  $(i_k)_{k=n, \dots, 2n-1}$ . On procède par la méthode de cristallisation qui consiste à supposer une inflation constante, supprimant alors la volatilité de l'indice. On prend alors une inflation future  $i^*$  égale à la moyenne arithmétique de l'inflation historique  $i_j$  pour  $j \in \llbracket 0, n-1 \rrbracket$ . On note donc :

$$i^* = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^{n-1} i_j$$

Le modèle (\*\*\*) devient alors :

$$\lambda_k = \hat{\beta}\lambda_0 \phi_{n-1}(\hat{\alpha}) \prod_{j=n}^{k-1} (1 + \hat{\alpha}i^*)^{j-n+1} + \gamma_k$$

On obtient finalement une estimation des  $\hat{\lambda}_k$  pour  $k \in \llbracket n, 2n-1 \rrbracket$ , complétant en dernier lieu le triangle de provisionnement conçu par la méthode de Taylor-Verbeek.

Cette méthode nous délivre comme résultat l'objectif de l'étude : une estimation des ultimes.

Cependant, la méthode de Verbeek a été conçue à considérer l'inflation lors du provisionnement des paiements uniquement, il est envisagé d'élaborer deux approches reposant sur le concept du "as-if", permettant ainsi d'estimer les charges ultimes en prenant en compte l'inflation. En effet, étant donné la nature à long terme de la branche concernée, il est impératif de mener une analyse sur les charges plutôt que sur les paiements.

### 4.3 Construction des méthodes basées sur "as-if"

La méthode de Chain-Ladder est utilisée en actuariat pour estimer les réserves de sinistres. Elle se base sur les montants réels des règlements de sinistres, c'est-à-dire les montants ajustés pour tenir compte de l'inflation. Cependant, si les montants des sinistres ne sont pas corrigés de l'inflation, les facteurs de développement utilisés dans la méthode peuvent ne pas refléter le véritable niveau de développement des règlements de sinistres. Afin de corriger les montants des règlements de sinistres de l'inflation, il est nécessaire de travailler avec le triangle des règlements de sinistres incrémentaux.

#### 4.3.1 Première méthode

##### Principe de calcul

La méthode consiste à multiplier chaque diagonale du triangle de règlements incrémentaux par les taux d'inflation futurs jusqu'à une année donnée  $k$ . Ces **coefficients multiplicatifs, appelés  $I_n$** , sont utilisés pour mettre le triangle en vision 2018 les montants des règlements de sinistres et donc les ajuster à leur valeur "as-if", c'est-à-dire corrigée de l'inflation. On note alors par  $I_k$  la formule suivante :

$$I_k = \prod_{h=k}^{n-1} (1 + i_h)$$

Avec  $i_k$  : le taux d'inflation entre les années  $k$  et  $k+1$ .

En utilisant ces taux d'inflation future, on peut estimer les montants de règlements de sinistres corrigés de l'inflation pour les années futures jusqu'à l'année  $n$ .

Les étapes du calcul se font de la façon suivante : On procède par retraitement de l'inflation du triangle des règlements incrémentaux, on obtient le tableau 4.3 présenté ci-dessous.

Année de survenance	Année de développement					
	0	1	...	n-2	n-1	n
0	$Z_{0,0} * I_0$	$Z_{0,1} * I_1$	...	$Z_{0,n-2} * I_{n-1}$	$Z_{0,n-1} * I_n$	$Z_{0,n}$
1	$Z_{1,0} * I_1$	$Z_{1,1} * I_2$	...	$Z_{1,n-2} * I_n$	$Z_{1,n-1}$	
.	.	.	...			
.	.	.				
n-2	$Z_{n-2,0} * I_{n-1}$	$Z_{n-2,1} * I_n$				
n-1	$Z_{n-1,0} * I_n$	$Z_{n-1,1}$				
n	$Z_{n,0}$					

TABLE 4.3 – Triangle incrémental de développement mis en "as-if" vision 2018

Après cumulation du triangle, on applique ensuite un Chain Ladder, suivi par une décumulation.

Année de survenance	Année de développement					
	0	1	...	n-2	n-1	n
0	$C_{0,0}$	$C_{0,1}$	...	$C_{0,n-2}$	$C_{0,n-1}$	$C_{0,n}$
1	$C_{1,0}$	$C_{1,1}$	...	$C_{1,n-2}$	$C_{1,n-1}$	$\hat{C}_{1,n}$
.	.	.	...			.
.	.	.				.
n-2	$C_{n-2,0}$	$C_{n-2,1}$				$\hat{C}_{n-2,n}$
n-1	$C_{n-1,0}$	$C_{n-1,1}$				$\hat{C}_{n-1,n}$
n	$C_{n,0}$	$\hat{C}_{n,1}$	...	$\hat{C}_{n,n-2}$	$\hat{C}_{n,n-1}$	$\hat{C}_{n,n}$

TABLE 4.4 – Triangle cumulé avec application de Chain Ladder

Le tableau 4.5 parvient à nous montrer l'étape du retraitement de l'inflation de la partie supérieure et son application sur la partie inférieure du triangle.

Année de survenance	Année de développement				
	0	1	...	n-1	n
0	$Z'_{0,0}/I_0$	$Z'_{0,1}/I_1$	...	$Z'_{0,n-1}/I_n$	$Z'_{0,n}$
1	$Z'_{1,0}/I_1$	$Z'_{1,1}/I_2$	...	$Z'_{1,n-1}$	$Z'_{1,n} * I_{n+1}$
.	.	.	...		.
.	.	.			.
n-1	$Z'_{n-1,0}/I_n$	$Z'_{n-1,1}$			$Z'_{n-1,n} * I_{2n-1}$
n	$Z'_{n,0}$	$Z'_{n,1} * I_n$	...	$Z'_{n,n-1} * I_{2n-1}$	$Z'_{n,n} * I_{2n}$

TABLE 4.5 – Triangle incrémental avec retrait de l'inflation supérieure et application de l'inflation inférieure

Au final, le tableau 4.6 nous délivre un résultat cumulé final des règlements.

Année de survenance	Année de développement					
	0	1	...	n-2	n-1	n
0	$C'_{0,0}$	$C'_{0,1}$	...	$C'_{0,n-2}$	$C'_{0,n-1}$	$C'_{0,n}$
1	$C'_{1,0}$	$C'_{1,1}$	...	$C'_{1,n-2}$	$C'_{1,n-1}$	$\hat{C}'_{1,n}$
.	.	.	...			.
.	.	.				.
n-2	$C'_{n-2,0}$	$C'_{n-2,1}$				$\hat{C}'_{n-2,n}$
n-1	$C'_{n-1,0}$	$C'_{n-1,1}$				$\hat{C}'_{n-1,n}$
n	$C'_{n,0}$	$\hat{C}'_{n,1}$	...	$\hat{C}'_{n,n-2}$	$\hat{C}'_{n,n-1}$	$\hat{C}'_{n,n}$

TABLE 4.6 – Triangle cumulé des règlements mis en "as-if"

Pour l'estimation de l'inflation future, une régression linéaire est adoptée où l'inflation dépend des années de survenance.

### 4.3.2 Deuxième méthode

La deuxième méthode par du même principe que la première, mais avec quelques modifications.

Cette méthode consiste à désinflater par rapport à 2018, où l'on multiplie le triangle des paiements incrémentaux par le coefficient :

$$\forall h \in \llbracket 0, ; n - 1 \rrbracket, J_h = \frac{1}{(1 + j_h)}$$

Où  $j_h$  correspond à l'inflation de l'année calendaire par rapport à 2018.

Pour l'estimation des  $J_h$  tel que  $h \in \llbracket n; 2n \rrbracket$ , une régression linéaire des différents indices de prix discutés au préalable dépendamment du temps est aussi adoptée.

Année de survenance	Année de développement					
	0	1	...	n-2	n-1	n
0	$Z_{0,0} * J_0$	$Z_{0,1} * J_1$	...	$Z_{0,n-2} * J_{n-1}$	$Z_{0,n-1} * J_n$	$Z_{0,n}$
1	$Z_{1,0} * J_1$	$Z_{1,1} * J_2$	...	$Z_{1,n-2} * J_n$	$Z_{1,n-1}$	
.	.	.	...			
.	.	.				
n-2	$Z_{n-2,0} * J_{n-1}$	$Z_{n-2,1} * J_n$				
n-1	$Z_{n-1,0} * J_n$	$Z_{n-1,1}$				
n	$Z_{n,0}$					

TABLE 4.7 – Triangle incrémental de développement désinflaté en vision 2018

Année de survenance	Année de développement					
	0	1	...	n-2	n-1	n
0	$C_{0,0}$	$C_{0,1}$	...	$C_{0,n-2}$	$C_{0,n-1}$	$C_{0,n}$
1	$C_{1,0}$	$C_{1,1}$	...	$C_{1,n-2}$	$C_{1,n-1}$	$\hat{C}_{1,n}$
.	.	.	...			.
.	.	.				.
n-2	$C_{n-2,0}$	$C_{n-2,1}$				$\hat{C}_{n-2,n}$
n-1	$C_{n-1,0}$	$C_{n-1,1}$				$\hat{C}_{n-1,n}$
n	$C_{n,0}$	$\hat{C}_{n,1}$	...	$\hat{C}_{n,n-2}$	$\hat{C}_{n,n-1}$	$\hat{C}_{n,n}$

TABLE 4.8 – Triangle cumulé avec application de Chain Ladder

Année de survenance	Année de développement				
	0	1	...	n-1	n
0	$Z'_{0,0}/J_0$	$Z'_{0,1}/J_1$	...	$Z'_{0,n-1}/J_n$	$Z'_{0,n}$
1	$Z'_{1,0}/J_1$	$Z'_{1,1}/J_2$	...	$Z'_{1,n-1}$	$Z'_{1,n}/J_{n+1}$
.	.	.	...		.
.	.	.			.
n-1	$Z'_{n-1,0}/J_n$	$Z'_{n-1,1}$			$Z'_{n-1,n}/J_{2n-1}$
n	$Z'_{n,0}$	$Z'_{n,1}/J_n$	...	$Z'_{n,n-1}/J_{2n-1}$	$Z'_{n,n}/J_{2n}$

TABLE 4.9 – Triangle incrémental avec réapplication de l'inflation

Année de survenance	Année de développement					
	0	1	...	n-2	n-1	n
0	$C'_{0,0}$	$C'_{0,1}$	...	$C'_{0,n-2}$	$C'_{0,n-1}$	$C'_{0,n}$
1	$C'_{1,0}$	$C'_{1,1}$	...	$C'_{1,n-2}$	$C'_{1,n-1}$	$\hat{C}'_{1,n}$
.	.	.	...			.
.	.	.				.
n-2	$C'_{n-2,0}$	$C'_{n-2,1}$				$\hat{C}'_{n-2,n}$
n-1	$C'_{n-1,0}$	$C'_{n-1,1}$				$\hat{C}'_{n-1,n}$
n	$C'_{n,0}$	$\hat{C}'_{n,1}$	...	$\hat{C}'_{n,n-2}$	$\hat{C}'_{n,n-1}$	$\hat{C}'_{n,n}$

TABLE 4.10 – Triangle cumulé des règlements mis en "as-if"

### 4.3.3 Passage des règlements aux charges

Il sera donc tenté de répondre à la problématique en étudiant l'impact de l'inflation sur les charges qui reflètent le vrai cours de développement pour le produit branche longue dont il est question.

À cette fin, nous adoptons une approche consistant à élaborer un triangle des charges par la méthode du "as-if", c'est-à-dire en déduisant l'inflation dans la partie supérieure.

Pour cela, on adopte un processus pour chacune des méthodes mentionnées précédemment :

### Méthode 1 :

Afin d'obtenir un triangle de charges mis en "as-if", on procède par les étapes suivantes : On note  $R_{i,j}$  les provisions d/d (dossier / dossier) par année de survenance et de développement et  $C_{i,j}$  les règlements de sinistres cumulés. Le triangle de charges peut s'écrire de la manière suivante :

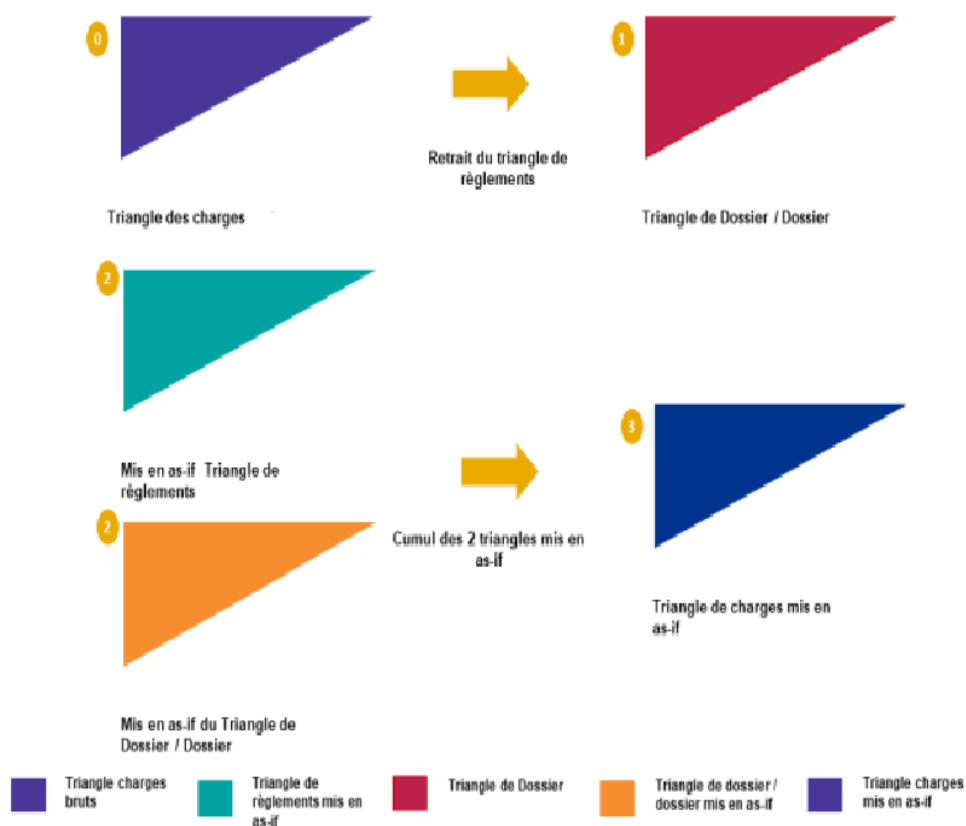


FIGURE 4.1 – Étapes de mise en as-if des triangles des charges

Pour prendre en compte les hypothèses d'inflation futures et obtenir les estimations des charges ultimes et des provisions, il est nécessaire d'utiliser le triangle de règlements. Le processus de prise en compte de l'inflation future sur les triangles de règlements est similaire à la méthode de mise en as-if. Toutefois, l'application de cette méthode aux triangles de charges est difficile car la part des règlements dans les estimations futures des charges est inconnue.

Voici les étapes à suivre :

1. Une fois que le triangle de charges est mis en as-if, les estimations des charges par année de survenance peuvent être obtenues en utilisant la méthode du Chain-Ladder. Cela permet d'estimer les montants des provisions pour sinistres à payer (PSAP) par survenance.
2. Ensuite, la méthode du Chain-Ladder doit être appliquée aux triangles de règlements mis en as-if. Cela permet d'estimer les PSAP pour les règlements.
3. Le ratio PSAP sur le triangle de charges / PSAP calculées pour chaque survenance est ensuite évalué. Ce ratio est ensuite appliqué aux PSAP issus du Chain-Ladder pour les règlements en as-if.
4. Enfin, les paiements effectués à la dernière année calendaire sont ajoutés à ce résultat afin d'obtenir la charge ultime.

Ces étapes permettent de prendre en compte l'inflation future et d'obtenir des estimations plus précises des charges ultimes et des provisions.

### **Méthode 2 :**

Pour la deuxième méthode, on procède par une décumulation du triangle des charges et on applique directement la méthode du "as-if" afin d'obtenir un triangle supérieur de charges adapté.

Grâce à l'application de la méthode Chain Ladder, où nous neutralisons les facteurs de développement aberrants, nous sommes en mesure d'obtenir des valeurs finales pour les charges.

Ensuite, nous nous efforçons de traduire le processus de développement des valeurs finales sans inflation en valeurs finales avec inflation pour les paiements correspondant au développement des charges finales sans inflation obtenues précédemment. La relation entre ces deux types de valeurs peut donc être formulée de la manière suivante :

$$\text{Ultimes Charges Finaux} = \text{Ultimes Charges as-if} * \frac{\text{Ultimes Règlements Finaux}}{\text{Ultimes Règlements as-if}}$$

# Présentation de la branche et pré-traitement des données

L'objectif de ce chapitre est de présenter la base de données, les retraitements effectués pour la construction des données nécessaires aux calculs et les analyses menées. Nos analyses porteront principalement sur la branche étudiée de ce mémoire : la Responsabilité Civile Corporelle Automobile.

Des statistiques descriptives seront fournies pour mieux comprendre les données. La construction des triangles sera abordée, notamment le triangle des règlements, le triangle des charges et le triangle du nombre de sinistres, afin d'analyser l'évolution des paiements, des coûts et du volume de sinistres. Enfin, des indices de base de l'inflation seront construits, qui joueront un rôle essentiel dans les analyses ultérieures.

## **5.1 Branche étudiée et spécificités de la base**

### **5.1.1 Présentation des variables et processus de filtrage**

Nos travaux ont été menés à partir d'une base de données d'un assureur en France qui couvre notamment la garantie Responsabilité Civile Corporelle Automobile.

La base contient de nombreuses variables qualitatives et quantitatives permettant de définir chaque sinistre à l'aide des caractéristiques précises (numéro du sinistres, montants du sinistres, dates, ...).

Ainsi, les principales variables décrivant la catégorie des sinistres sont les suivantes :

- Numéro du contrat ;
- Numéro du sinistre ;
- Libellé triangle (RC Matérielle / RC Corporelle / Dommages)
- Nature du sinistre Global & Individuel pour chaque année (Corporel / Matériel)
- Code de la garantie sinistrée (automobile / non-automobile)
- Libellé litige (Contentieux / Amiable), donnant une idée sur les frais judiciaires ;
- État du sinistre pour chaque année (En cours/ Clos sans suite / Clos avec suite / Annulé).

Les variables relatives aux dates des sinistres sont les suivantes :

- Date de survenance (2000 à 2018) ;
- Date d'ouverture ;
- Date de réouverture (en cas de réouverture du sinistre) ;
- Date de clôture.

Enfin, les principales variables relatives aux montants de sinistres sont détaillées ci-dessous :

- Frais payés des sinistres ;
- Règlements des sinistres ;
- Recours encaissés ;
- Réserves dossier/dossier ;
- Charges dossier/dossier.

Certaines variables n'ont pas fait l'objet de notre étude comme le code postal, le département, la famille du produit, le code de l'entreprise.

Afin d'obtenir les données nécessaires à la construction des triangles de la Responsabilité Corporelle Automobile, un filtre a été appliqué sur plusieurs variables telles que la nature du triangle, la nature du sinistre et la nature du montant (règlement, recours, provisions ou charge) afin d'extraire l'aspect corporel de la base.

Un second filtre a été appliqué pour ne retenir que les sinistres qui ne sont pas annulés et qui ont fait l'objet de règlements.

On met en place une série de contrôles pour s'assurer de la cohérence des données. En effet, on détermine grâce à un premier contrôle pour valider l'égalité entre les montants des frais payés, règlements et recours encaissés. Un deuxième contrôle est réalisé afin d'étudier l'égalité des charges et de la somme des règlements et les réserves. Après l'effectuation de ses tests, une troisième filtration des sinistres qui ne vérifient pas ces égalités se présente alors nécessaire.

L'ensemble des filtres appliqués permettent de réduire les observations de la base de moitié et de concentrer nos analyses sur le type de sinistres souhaité pour la construction des triangles qui serviront de base à nos projections.

## 5.1.2 Statistiques descriptives

Des statistiques descriptives ont été réalisées afin d'analyser la sinistralité sous-jacente et d'affiner nos projections.

### 5.1.2.1 Longueur de la branche

La branche relative aux dommages corporels de l'assurance automobile est connue pour sa longue durée, en raison de sinistres qui s'étendent sur plusieurs années. Le long déroulement de la branche est attesté par les données de notre base, mettant en évidence le nombre de sinistres initiés en 2000 et toujours en cours chaque année, tel que démontré dans le graphique ci-dessous. En effet, 2000 est l'année où l'assurance peut confirmer la clôture de tous les sinistres. Il est constaté qu'une fraction significative de sinistres demeure ouverte sur de nombreuses années. Par exemple, 4,37 % des sinistres initiés en 2000 sont toujours en cours après 6 années de développement, ce qui correspond aux anticipations pour cette branche.

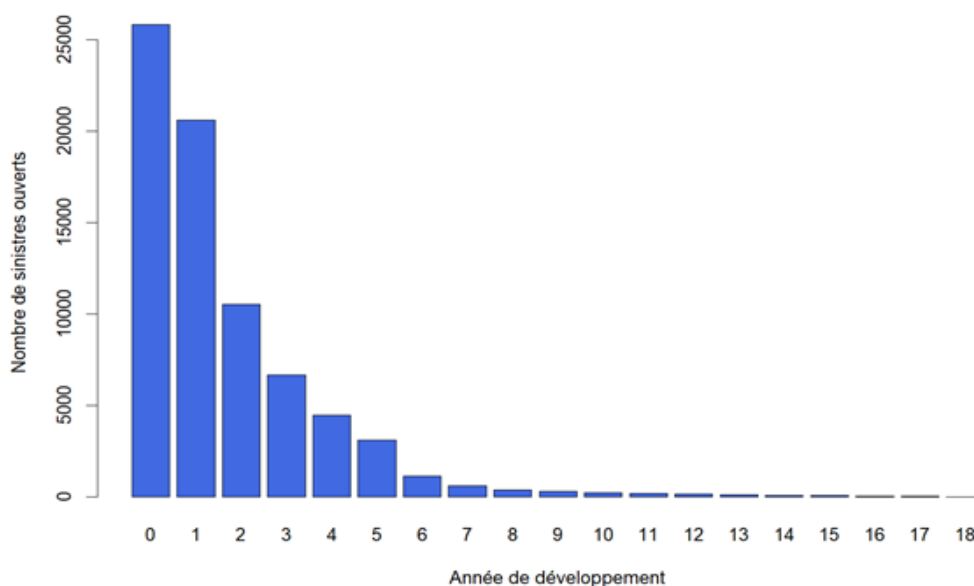


FIGURE 5.1 – Nombre de sinistres survenus en 2000 et non clos par année de développement

Le graphe présenté ci-dessous démontre la caractéristique du long déroulement de la branche. En effet, les ultimes s'approchent de leur valeur total jusqu'après un développement de 180 mois.

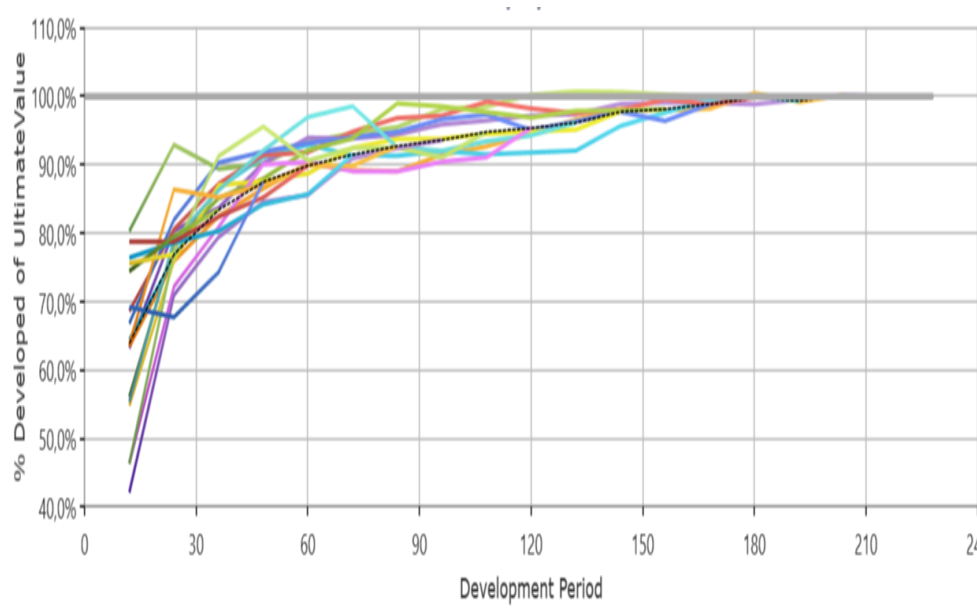


FIGURE 5.2 – Pourcentage du développement aux charges ultimes pour chaque survenance

### 5.1.2.2 Stabilité des données

L'examen visuel du portefeuille permet de constater une certaine homogénéité autour de la moyenne, établie à 21 600. Aucune valeur ne semble radicalement déconnectée des autres. Bien que l'on remarque un décalage pour les années 2000, 2001 et 2018, celui-ci ne paraît pas suffisamment prononcé pour contester cette observation.

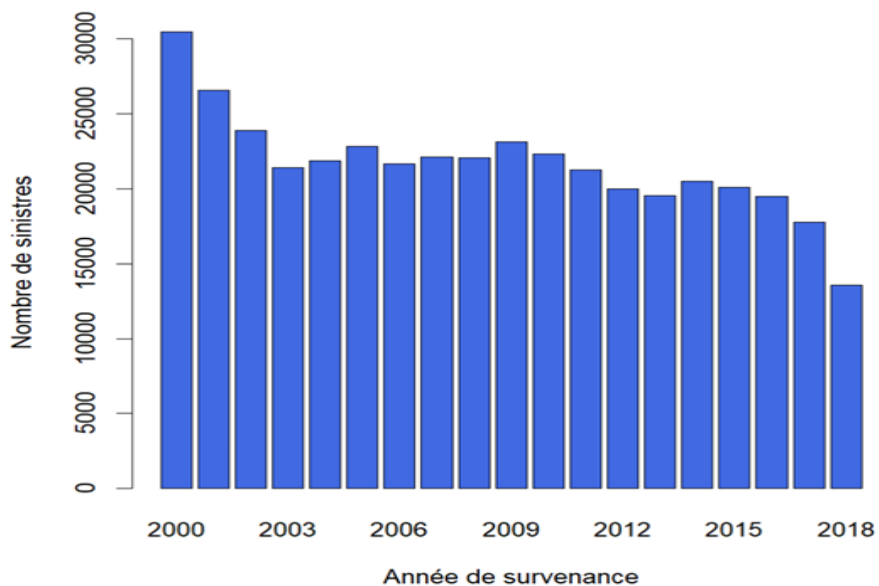


FIGURE 5.3 – Nombre de sinistres par année de survenance

### 5.1.2.3 Gravité des sinistres

Pour cette garantie, trois tranches de gravité des sinistres sont identifiées dans la base de données : le type Normal, ne dépassant pas 15 000 euros, le type Grave et le type Spécial. Par conséquent, il est essentiel d'analyser les proportions de chaque type afin de guider la décision concernant la procédure de séparation des triangles. La figure suivante représente la répartition de chaque type au sein de cette base de données.

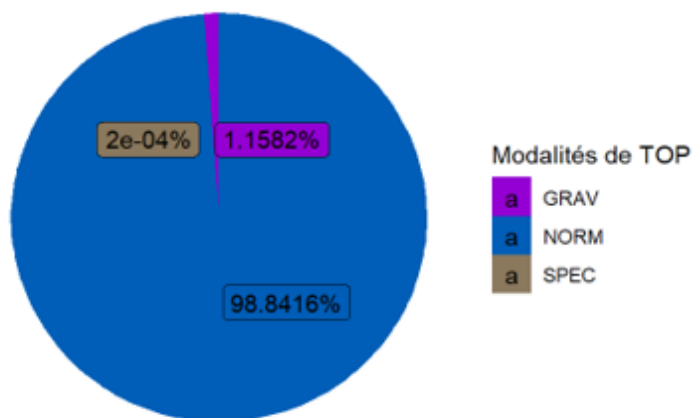


FIGURE 5.4 – Répartition de la part des types de la gravité des sinistres

Nous pouvons observer que les sinistres graves ou spéciaux représentent une partie non significative de la sinistralité globale. Nous avons donc conclu que c'était pas nécessaire de séparer les triangles par tranches de gravité.

## 5.2 Construction des triangles

Les triangles ont été construits suite à l'analyse de la base de données et du choix des variables pertinentes pour notre étude. Nous avons ainsi constitué les triangles suivants :

- Règlements bruts de recours ;
- Recours encaissés ;
- Règlements nets de recours (par différence des règlements et des recours) ;
- Charges nettes de recours.

L'ensemble des triangles couvrent les 19 années de survénance.

Il est ainsi possible de disposer d'un triangle des règlements, d'un triangle de charges et le nombre de sinistres déclarés pour examiner les effets de l'inflation sur les méthodes de provisionnement.

### 5.2.1 Triangle des règlements

Tout d'abord, il est à noter la présence d'un triangle de règlements. Ce dernier renferme les règlements cumulés, classés par année de survenance et de développement des sinistres, sur une base temporelle de 19 ans. En d'autres termes, ce triangle est constitué de 19 lignes et 19 colonnes. L'objectif consiste à compléter la partie inférieure de ce triangle, tout en intégrant l'impact de l'inflation future.

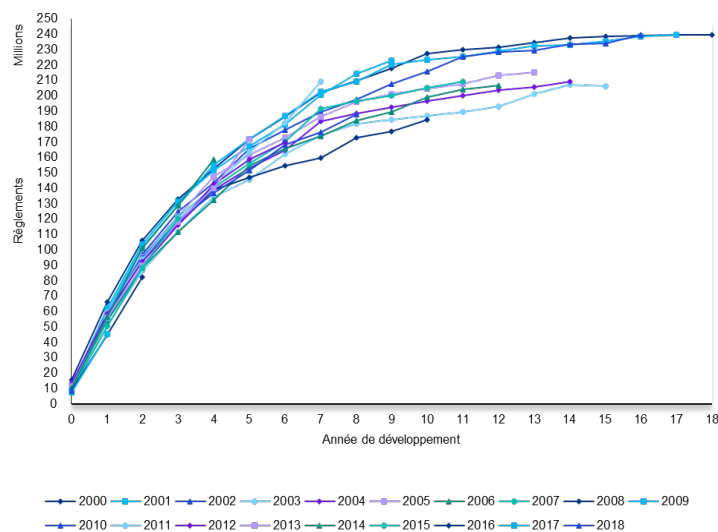


FIGURE 5.5 – Évolution des règlements par année de développement

Il est possible d'observer une réduction des versements cumulés au cours de certaines années de développement, notamment pour l'année de survenance 2003 lors de la 14ème année de développement, où ces règlements sont moindres en comparaison à ceux des années de développement précédentes. Par ailleurs, un retrait dans l'accumulation des versements se manifeste. Ce phénomène devient ainsi apparent dès l'atteinte des dernières années de développement par les sinistres. Cette situation pourrait être expliquée par l'incidence des "recours" sur les sinistres indemnisés.

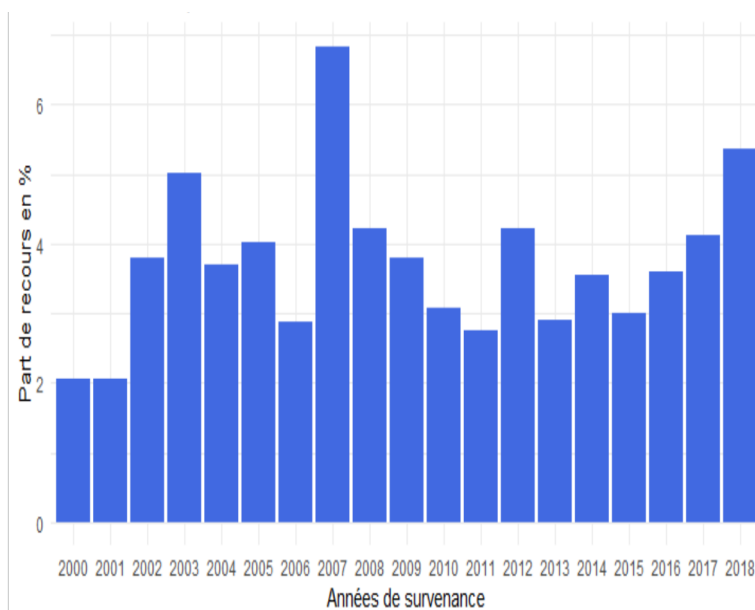


FIGURE 5.6 – Part des recours par année survenance en %

Ce graphique valide par conséquent l'argumentation antérieure. En réalité, les années de survenance 2003, 2007 et 2008 témoignent d'une décroissance substantielle au niveau du processus d'indemnisation des sinistres, ce qui équivaut à une contribution majeure des recours durant ces années de survenance.

Quant à la part prépondérante des recours en l'an 2018, elle pourrait être attribuée à une modeste accumulation de paiements, qui résulte d'une période de développement réduite.

On constate que la part maximale des contributions issues des recours par rapport à l'ensemble des règlements ne dépasse pas 7%, une proportion insignifiante. Par conséquent, dans la continuation du mémoire, nous aborderons l'utilisation des règlements et charges nets, en excluant les recours.

## 5.2.2 Triangle des charges

Le deuxième triangle dont il est question est le triangle des charges. Ce triangle permet d'adopter le point de vue du gestionnaire de sinistres, dont le rôle comprend l'enregistrement, l'analyse et le règlement des sinistres. En effet, le gestionnaire, en fonction des informations à sa disposition, réévalue le montant de la charge ultime associée à un sinistre. À un moment donné  $t$ , la charge ultime est composée des règlements déjà effectués et des estimations des règlements à venir, présentés sous forme de provision pour chaque dossier.

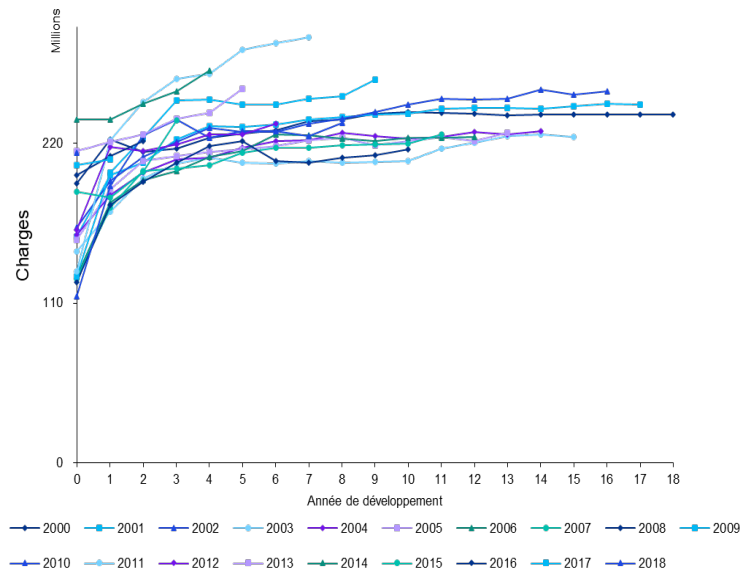


FIGURE 5.7 – Évolution des charges par année de développement

Cette figure démontre dans son contenu une indépendance entre les années de survenance. En effet, on retrouve un non-alignement dans le développement des sinistres pour chaque année de survenance. De plus, il est important de noter que, tout comme pour le triangle de règlements, il existe des années où les estimations des montants de charges peuvent diminuer. Cela peut être dû à diverses raisons, comme un ajustement des prévisions basé sur des informations plus récentes ou précises, ou encore des évolutions dans le traitement des sinistres.

### 5.2.3 Nombre de sinistres

Nous avons à notre disposition un vecteur quantifiant les sinistres déclarés par année d'occurrence, dont les valeurs respectives sont répertoriées dans le tableau ci-dessous. Cet élément vectoriel se révèle être d'une importance capitale pour notre recherche, principalement au sein de la méthode Taylor-Verbeek qui fait appel à des règlements incrémentaux normalisés.

Survenance	Nombre de sinistres déclarés
2001	26546
2002	23878
2003	21406
2004	21883
2005	22829
2006	21641
2007	22093
2008	22053
2009	23153
2010	22299
2011	21247
2012	19987
2013	19554
2014	20509
2015	20087
2016	19486
2017	17744
2018	13561

TABLE 5.1 – Nombre de sinistres déclarés par année de survenance

L'illustration met en lumière la progression de ce vecteur au fil des ans. Une première observation porte sur la tendance générale. La ligne en pointillés traduit cette tendance d'évolution. Il se dégage ainsi une inclination à la hausse du nombre de sinistres, qui fluctue autour de cette ligne indicative.

Nombre de sinistres

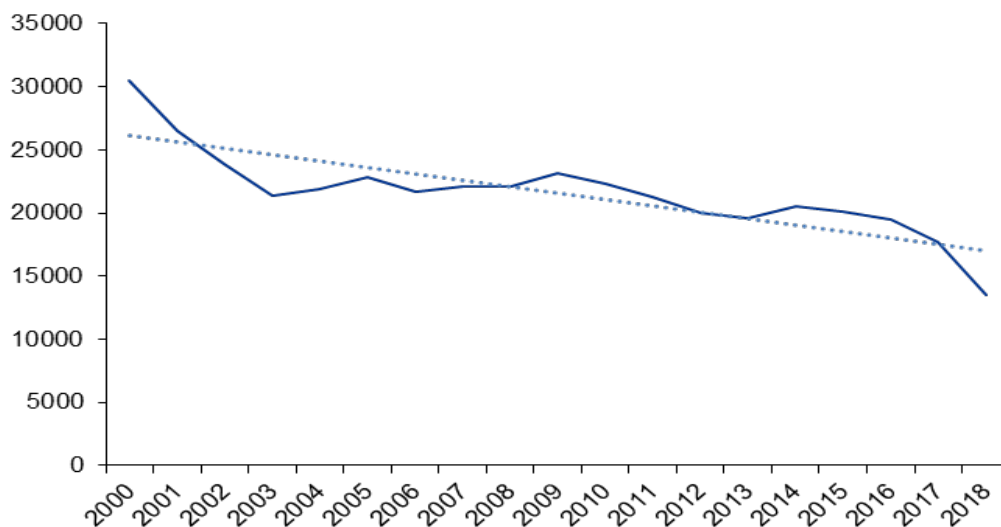


FIGURE 5.8 – Nombre de sinistres déclarés par année de survenance

## 5.3 Construction des indices de base de l'inflation

### 5.3.1 Constitution d'un indice adapté à la branche : IPC\*

L'IPC en France est un indicateur économique qui mesure les variations des prix des biens et services consommés par les ménages. Il couvre de nombreux sous-modules tels que l'alimentation, le logement, les transports, la santé, l'éducation, etc., afin de fournir une image globale de l'inflation et de l'évolution du coût de la vie pour les consommateurs.

Cependant, en ce qui concerne l'assurance responsabilité civile automobile, il existe une spécificité liée aux dommages corporels, qui nécessitent une évaluation distincte. Les dommages corporels résultant d'accidents par un automobile peuvent entraîner des coûts médicaux élevés, des pertes de revenus et des répercussions sur la qualité de vie des victimes. Par conséquent, afin de mieux refléter les coûts liés aux dommages corporels dans le contexte de l'assurance automobile, il est envisagé de créer un indice spécifique adapté à cette branche. Cela permettrait aux assureurs et aux autorités de disposer d'un outil plus précis pour évaluer les risques et établir les primes d'assurance, en prenant en compte les caractéristiques particulières des dommages corporels dans les accidents.

Pour cela, on procède vers la construction d'un indice adapté à la branche qui intéresse notre cadre d'étude, qu'on notera *IPC\**.

Code	Libellé
01	Produits alimentaires et boissons non alcoolisées
02	Boissons alcoolisées, tabac stupéfiants
03	Articles d'habillement et chaussures
04	Logement, eau, gaz, électricité et autres combustibles
05	Meubles, articles de ménage et entretien courant du foyer
06	Santé
07	Transports
08	Communications
09	Loisirs et culture
10	Enseignement
11	Restaurants et hôtels
12	Biens et services divers

TABLE 5.2 – Sous modules de l'indice IPC

Les frais de l'assureur en dommages corporels pour une assurance responsabilité civile automobile couvrent une gamme d'éléments. Pour cela, on opte pour la construction de l'IPC\* le choix des sous modules suivants pour différentes raisons :

- **Logement, eau, gaz, électricité et autres combustibles** : On sélectionne que la partie logement du module. En effet, Le logement est pris en compte car les accidents de la route peuvent entraîner des dommages nécessitant des modifications ou des adaptations du logement pour les victimes ayant subi des

- blessures graves, par exemple des travaux de réaménagement pour rendre le domicile accessible aux personnes handicapées ;
- **Santé** : secteur clé car les dommages corporels peuvent entraîner des coûts médicaux élevés, y compris les frais d'hospitalisation, les consultations médicales, les médicaments, les thérapies et les traitements nécessaires à la réhabilitation et à la guérison des victimes ;
  - **Transports** : Les transports sont pris en compte car les dommages corporels peuvent entraîner des dépenses supplémentaires liées aux déplacements pour les soins médicaux, tels que les frais de transport en ambulance, les déplacements réguliers chez les médecins spécialistes, les séances de réadaptation physique, ...
  - **Enseignement** : Les blessures corporelles peuvent avoir un impact sur l'éducation et nécessiter des adaptations spéciales ou des services d'enseignement supplémentaires pour les victimes qui doivent poursuivre leur scolarité malgré leurs limitations ;
  - **Biens et services** : Les dommages corporels peuvent influencer les dépenses des victimes dans leur vie quotidienne, par exemple l'achat de produits d'assistance, d'équipements médicaux spécialisés, de vêtements adaptés, ...

On met en place alors un tableau disposant des données nécessaires pour l'effectuation des méthodes de provisionnement qu'on abordera ensuite et qui dépendent du taux d'inflation  $i_k$  qui représente l'augmentation d'inflation entre l'année  $k$  et  $k+1$ .

Année	IPC	$i_k$	IPC*	$i_k$
2000	79,90	1,63%	73,39	1,42%
2001	81,20	1,97%	74,43	2,23%
2002	82,80	2,05%	76,09	2,59%
2003	84,50	2,13%	78,07	1,74%
2004	86,30	1,85%	79,43	1,69%
2005	87,90	1,63%	80,77	1,81%
2006	89,33	1,49%	82,23	1,69%
2007	90,66	2,81%	83,62	1,89%
2008	93,21	0,09%	85,20	2,20%
2009	93,29	1,52%	87,07	1,40%
2010	94,71	2,11%	88,29	1,29%
2011	96,71	1,95%	89,43	1,58%
2012	98,60	0,87%	90,84	0,85%
2013	99,46	0,50%	91,61	1,17%
2014	99,96	0,04%	92,67	0,71%
2015	100,00	0,18%	93,33	0,05%
2016	100,18	1,04%	93,38	1,06%
2017	101,22	1,85%	94,37	0,74%
2018	103,09		95,07	

TABLE 5.3 – Taux d'augmentation d'inflation généré par l'indice IPC et IPC\*

Source IPC : INSEE

Une analyse comparative entre l'évolution de l'indice standard IPC et l'IPC adapté démontre effectivement, grâce à la figure ci-dessous, une diminution moyenne des valeurs de 8,21%, avec un cours de développement similaire.

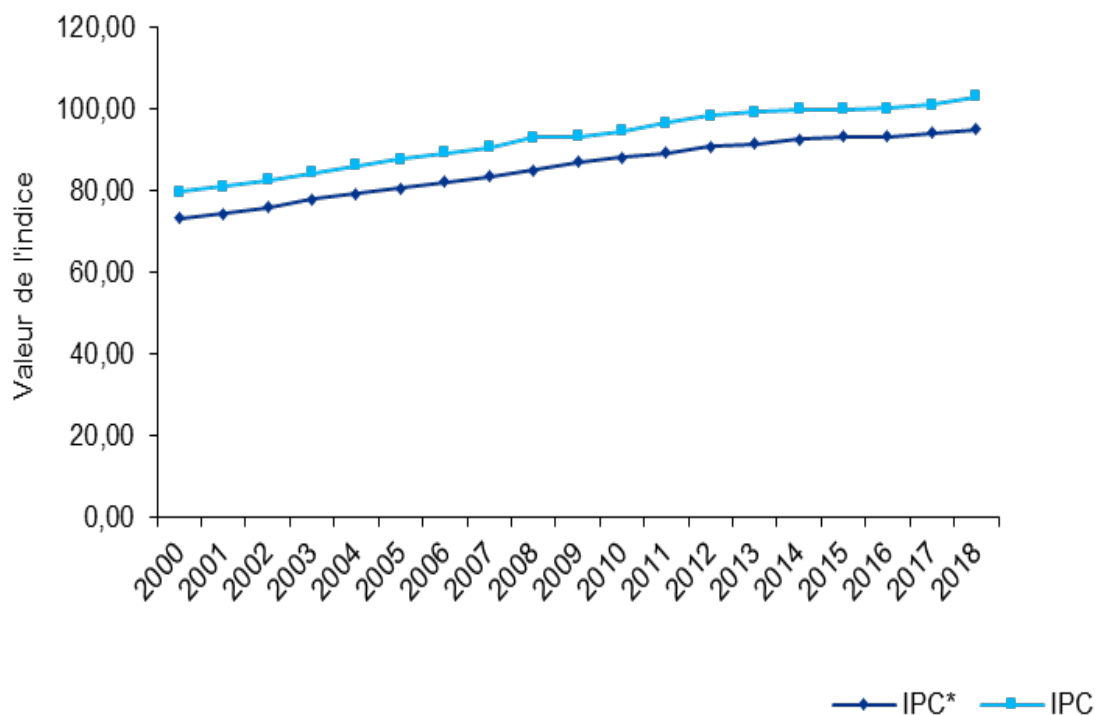


FIGURE 5.9 – Évolution des indices IPC et IPC\* pour une période entre 2000 et 2018

### 5.3.2 Constitution des indices composites

Dans la couverture de l'assureur aux victimes, il y a les indemnités versées aux victimes pour compenser les pertes de revenus subies en raison de l'incapacité temporaire ou permanente de travailler. Ces indemnités peuvent inclure des remboursements pour les salaires perdus, les avantages sociaux manqués et les opportunités de carrière réduites. Pour aborder cette problématique de manière appropriée, il est envisagé de créer un nouvel indice appelé indice composite (IC). Ce nouvel indice sera élaboré en fusionnant l'indice des prix à la consommation (IPC) et l'Indice du Coût de Travail (ICT). Par le biais de pondérations spécifiques, cet indice composite sera construit afin de fournir une évaluation précise des coûts liés aux pertes de revenus. On note alors :

$$IC_t^1 = \frac{1}{2}IPC^* + \frac{1}{2}ICT$$

$$IC_t^2 = \frac{3}{4}IPC^* + \frac{1}{4}ICT$$

On obtient le tableau de données contenant la valeur des deux indices ainsi que le taux

d'augmentation d'inflation qui leur ai associé :

Année	IC <sup>1</sup>	$i_k$	IC <sup>2</sup>	$i_k$
2000	69,52	2,75%	67,60	2,76%
2001	71,43	2,49%	69,47	3,63%
2002	73,21	2,28%	71,99	2,33%
2003	74,88	2,30%	73,67	2,00%
2004	76,61	2,01%	75,15	2,29%
2005	78,15	2,15%	76,86	2,63%
2006	79,83	2,35%	78,88	2,89%
2007	81,70	2,74%	81,17	3,81%
2008	83,94	1,66%	84,26	1,43%
2009	85,33	1,73%	85,46	1,27%
2010	86,81	1,77%	86,55	2,13%
2011	88,35	1,71%	88,40	2,13%
2012	89,85	1,54%	90,28	1,51%
2013	91,24	1,19%	91,64	1,52%
2014	92,32	1,37%	93,04	1,57%
2015	93,59	0,90%	94,50	1,08%
2016	94,43	0,65%	95,52	1,24%
2017	95,04	1,33%	96,70	1,60%
2018	96,31		98,25	

TABLE 5.4 – Taux d'augmentation d'inflation généré par l'indice IC<sup>1</sup> et IC<sup>2</sup>

L'évolution de ces indices se présente comme suit :

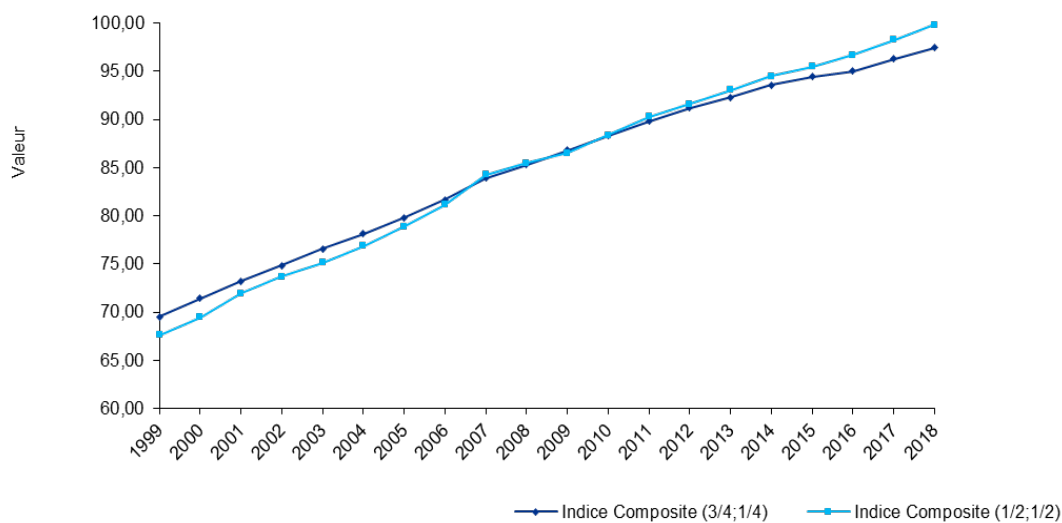


FIGURE 5.10 – Évolution de l'indice composite avec des différentes pondérations

Bien que les deux indices composites montrent une tendance à la hausse, l'indice Composite  $(1/2;1/2)$  a tendance à être plus élevé et à augmenter à un rythme légèrement plus rapide que l'indice Composite  $(3/4;1/4)$ . Cela suggère que l'approche équilibrée de l'indice Composite  $(1/2;1/2)$ , qui donne une importance égale à chaque mesure, pourrait être plus sensible aux améliorations dans l'ensemble des mesures sous-jacentes.

# Application des méthodes de provisionnement

Dans ce chapitre, les méthodes expliquées antérieurement seront mises en pratique immédiatement après la vérification des hypothèses de base. Les résultats obtenus seront ensuite présentés et discutés en détail.

## 6.1 Méthodes de provisionnement classiques

### 6.1.1 Vérification des hypothèses

Comme stipulé dans le chapitre 3, la méthode de la "Chain Ladder" repose sur un certain nombre d'hypothèses qui doivent être vérifiées avant d'appliquer la méthode. Une étape préliminaire consiste à vérifier la première hypothèse, qui suppose la linéarité du triangle de règlements nets de recours.

La première hypothèse de la méthode Chain Ladder a ainsi été vérifiée. En effet, chaque année de développement démontre une certaine linéarité avec les autres, suggérant un niveau stable de dépendance. Concernant la seizième année de développement, bien qu'elle affiche une configuration quelque peu atypique qui pourrait susciter des interrogations, une analyse plus approfondie des fluctuations observées révèle néanmoins une linéarité entre la 15<sup>ème</sup> et la 16<sup>ème</sup> année de développement. Par conséquent, même cette apparente exception semble finalement s'inscrire dans la tendance générale de linéarité interannuelle.

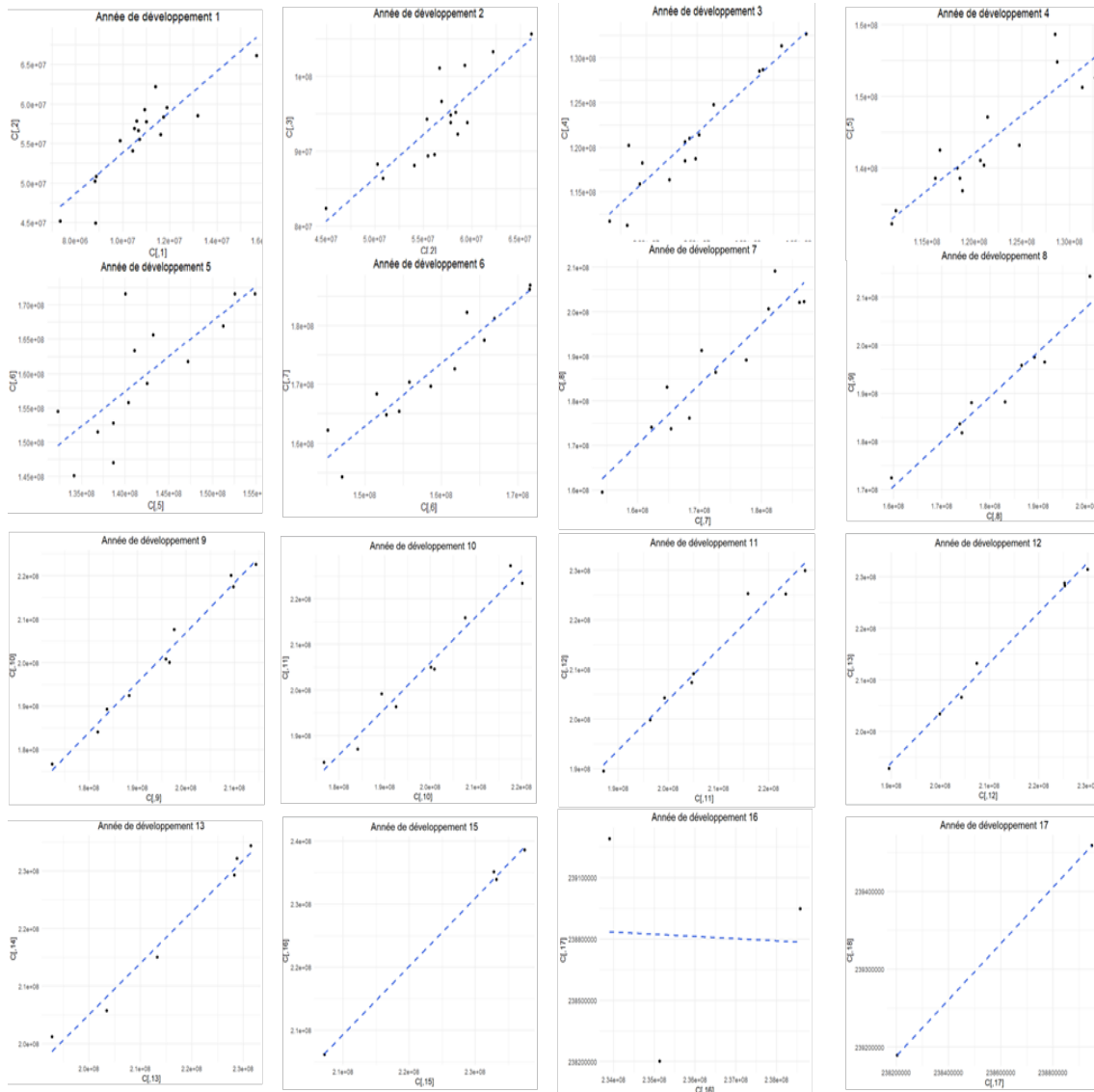


FIGURE 6.1 – Année de développement  $k+1$  en fonction de l'année de développement  $k$  pour  $k$  allant de 0 à 17

Concernant la deuxième hypothèse dictant l'indépendance des années de survivance, le calcul du coefficient écart type divisé par la moyenne des facteurs de développement pour chaque année de développement est effectué afin d'étudier la volatilité.

<b>Année de développement</b>	0	1	2	3	4	5	6
<b>Écart type/Moyenne</b>	8,48%	4,35%	2,08%	2,33%	3,58%	1,81%	2,98%
<b>Année de développement</b>	7	8	9	10	11	12	13
<b>Écart type/Moyenne</b>	1,60%	1,22%	1,31%	1,03%	0,61%	1,26%	0,84%
<b>Année de développement</b>	14	15	16	17			
<b>Écart type/Moyenne</b>	0,53%	0,87%	0,10%	0,00%			

TABLE 6.1 – L'écart type sur la moyenne du triangle des facteurs de développement

Pour tout  $j \in \{0, 17\}$ , on constate un coefficient maximal d'environ 8,5%, qui demeure toujours inférieur à 10%. Ainsi, l'hypothèse est validée car les facteurs sont relativement stables et les coefficients de variation sont inférieurs à 10%. De plus, la première hypothèse concernant l'indépendance des années de survenance est supposée vérifiée.

### 6.1.2 Résultats et analyses

L'ensemble du processus débute par l'utilisation de l'outil interne de provisionnement de KPMG, un outil spécialement conçu pour effectuer les calculs précis nécessaires pour la méthode Chain Ladder. Cette méthode actuarielle est largement reconnue pour sa capacité à estimer avec précision les provisions pour sinistres à payer. Parallèlement à l'exécution des calculs, l'outil permet une analyse approfondie de la sinistralité, un élément essentiel pour comprendre les risques associés et déterminer les provisions appropriées.

La prochaine étape est l'analyse graphique de la sinistralité, qui implique l'étude du développement vers l'ultime par année de survenance et l'examen attentif des facteurs de développement. Cette analyse graphique offre une visualisation plus claire des tendances, permettant de mieux identifier les modèles de sinistralité et de comprendre les dynamiques sous-jacentes. Une fois que l'analyse graphique est terminée, les facteurs de développement jugés aberrants sont neutralisés. Cette étape vise à s'assurer que les résultats ne sont pas biaisés par des valeurs atypiques ou des données erronées qui pourraient fausser l'évaluation des risques. Le processus de cette neutralisation prend en considération le développement des cours des 5 dernières années, tout en veillant à ne pas biaiser le Best-Estimate et en préservant l'aspect de la moyenne du coefficient.

L'étape suivante est le calcul du coefficient moyen, une valeur dérivée de la moyenne pondérée des coefficients retenus, et pondérée par le volume. Ce coefficient moyen joue un rôle crucial dans l'estimation précise des provisions nécessaires.

<b>Année de développement</b>	0	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Moyenne Simple</b>	5,181	1,663	1,281	1,183	1,123	1,085	1,085	1,049	1,032
<b>Moyenne Pondérée</b>	5,181	1,654	1,276	1,183	1,119	1,085	1,085	1,051	1,034
<b>Année de développement</b>	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<b>Moyenne Simple CL</b>	1,030	1,019	1,016	1,015	1,015	1,003	1,012	1,003	1,000
<b>Moyenne Pondérée</b>	1,030	1,019	1,016	1,010	1,015	1,006	1,007	1,003	1,000

TABLE 6.2 – Facteurs de développement avant et après la neutralisation

Ensuite, vient la projection des triangles complets. Cette étape utilise les coefficients déterminés plus tôt pour compléter les triangles de sinistralité, une représentation graphique utilisée en actuariat pour estimer les provisions pour sinistres à payer.

Enfin, le processus se conclut par la présentation des ultimes et des réserves. C'est à cette étape que sont dévoilés les résultats finaux de l'analyse, mettant en évidence les besoins en provisions et le niveau de risque qui y est associé. En résumé, chaque étape du processus s'inscrit dans un effort constant pour évaluer avec précision le risque et déterminer les provisions nécessaires.

<b>Année de survenance</b>	<b>Réserves</b>	<b>Ultimes</b>	<b>Mack SE</b>
<b>2000</b>	0	167 673 005	0
<b>2001</b>	27 297	167 471 691	0
<b>2002</b>	325 845	167 969 107	0
<b>2003</b>	1 463 505	146 412 815	353 659
<b>2004</b>	1 803 307	148 838 904	1 608 393
<b>2005</b>	3 538 518	155 601 919	2 320 216
<b>2006</b>	4 969 893	151 755 338	3 143 186
<b>2007</b>	6 774 849	156 114 283	3 709 730
<b>2008</b>	8 844 996	141 567 770	4 160 776
<b>2009</b>	12 512 067	173 736 330	4 894 438
<b>2010</b>	15 257 219	153 465 679	5 745 148
<b>2011</b>	19 162 087	173 830 888	6 962 415
<b>2012</b>	25 106 842	154 678 399	6 388 502
<b>2013</b>	31 155 915	164 641 203	7 410 294
<b>2014</b>	41 820 894	170 846 666	9 378 519
<b>2015</b>	52 484 951	159 107 284	9 387 697
<b>2016</b>	64 522 333	149 826 453	10 374 271
<b>2017</b>	76 350 867	140 712 302	12 017 619
<b>2018</b>	74 931 518	112 785 012	29 780 085

TABLE 6.3 – Ultimes, Réserves et Mack SE par un Chain Ladder et Mack Standard Neutralisé

Finalement, nous utiliserons ces résultats comme référence pour effectuer des comparaisons avec les autres modèles.

## 6.2 Méthode de séparation de Taylor Verbeek

### 6.2.1 Estimation des paramètres

Au sein de cette section, la procédure d'acquisition des paiements standardisés est alignée sur l'outil d'inventaire non-vie, qui segmente le triangle des règlements incrimementaux bruts de recours en le divisant par le triangle correspondant du nombre de sinistres. Les résultats d'ultimes ainsi obtenus sont ensuite comparés à ceux générés par la méthode Chain Ladder, notre méthode de référence.

L'application de l'algorithme récursif de Verbeek-Taylor conduit aux valeurs de  $\rho_j$  et  $\lambda_k$  suivantes :

	$\rho$ (en %)	$\lambda$
<b>0</b>	5,04	7 152
<b>1</b>	20,97	5 570
<b>2</b>	17,05	5 788
<b>3</b>	11,94	6 152
<b>4</b>	9,83	6 257
<b>5</b>	7,64	6 768
<b>6</b>	5,76	6 389
<b>7</b>	6,15	6 949
<b>8</b>	3,75	6 480
<b>9</b>	2,46	6 975
<b>10</b>	2,41	7 003
<b>11</b>	1,62	7 237
<b>12</b>	1,33	6 792
<b>13</b>	1,30	6 614
<b>14</b>	1,28	6 993
<b>15</b>	0,24	6 486
<b>16</b>	0,98	8 589
<b>17</b>	0,23	7 487
<b>18</b>	0,02	9 199

TABLE 6.4 – Résultats de l'estimation des paramètres de la séparation par Taylor Verbeek

Il est clair que la part des paiements  $\rho_j$  tend à diminuer avec le temps, ce qui est typique dans le développement des pertes en assurance. En effet, ces estimations s'accordent parfaitement avec les caractéristiques propres de la branche où une détérioration du paramètre est observée au cours des dernières années de

développement, témoignant ainsi de la durée et la tendance de clôture de la branche. Il est remarquable que les années de développement 1, 2 et 3 se distinguent par un fort engagement de l'assurance dans le règlement des sinistres. Cela pourrait être dû à plusieurs facteurs, notamment le règlement des sinistres majeurs dans les premières années, et la diminution générale des incertitudes au fil du temps. Cependant, il y a une certaine volatilité dans les données, avec un léger pic à la 2<sup>ème</sup> et 7<sup>ème</sup> année. Cela pourrait être dû à des fluctuations dans la nature des sinistres.

En ce qui concerne l'effet d'année calendrier  $\lambda_k$ , les valeurs semblent augmenter globalement avec le temps, mais avec une certaine volatilité. Le pic à la 16<sup>ème</sup> et 18<sup>ème</sup> année pourrait indiquer un événement ou un changement spécifique qui a provoqué une hausse des coûts pendant cette période. En effet, en 2018, le taux d'inflation a augmenté de 1,8%, expliquant alors cette augmentation calendaire.

## 6.2.2 Estimation de l'inflation future

Afin de compléter le reste du triangle de provisionnement des règlements nets, on se trouve dans la nécessité de l'estimation de l'inflation future.

### 6.2.2.1 Résultats par régression

	Temps	Intercept
<b>m</b>	<b>106,6</b>	<b>-207192,6</b>
<b>se</b>	26,7	53648,6
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0,484</b>	637,6
<b>R<sup>2</sup> multiple</b>	15,924	17

TABLE 6.5 – Détermination des coefficients d'estimation des  $\lambda_k$  par régression linéaire

Année Calendaire	Lambda(j)
19	7 954
20	8 061
21	8 167
22	8 274
23	8 380
24	8 487
25	8 593
26	8 700
27	8 807
28	8 913
29	9 020
30	9 126
31	9 233
32	9 339
33	9 446
34	9 553
35	9 659
36	9 766

TABLE 6.6 – Estimations des  $\lambda_k$  futures par régression linéaire

On effectue une prévisions des  $\lambda_k$ , paramètre désignant l'effet de l'inflation, par régression linéaire simple. On retient un  $R^2$  égale à 48,4% qui inférieur à 50%, indiquant alors que le modèle de régression explique moins de la moitié de la variance de la variable dépendante. En d'autres termes, il y a une proportion importante de la variance qui reste inexpliquée par le modèle.

On obtient donc les ultimes et réserves suivants issus d'une prévision par régression linéaire :

Année de survenance	Reserves	Ultimes
2000	0	167 673 005
2001	27 297	167 471 691
2002	325 845	167 969 107
2003	1 463 505	146 412 815
2004	1 803 307	148 838 904
2005	3 538 518	155 601 919
2006	4 969 893	151 755 338
2007	6 774 849	156 114 283
2008	8 844 996	141 567 770
2009	12 512 067	173 736 330
2010	15 257 219	153 465 679
2011	19 162 087	173 830 888
2012	25 106 842	154 678 399
2013	31 155 915	164 641 203
2014	41 820 894	170 846 666
2015	52 484 951	159 107 284
2016	64 522 333	149 826 453
2017	76 350 867	140 712 302
2018	74 931 518	112 785 012

TABLE 6.7 – Ultimes et réserves obtenus par la séparation de Taylor Verbeek moyennant une régression linéaire

### 6.2.2.2 Processus Auto Regressive Moving Average : ARMA

Pour pallier le problème de non-stationnarité des  $\lambda_k$ , nous décidons de travailler sur la série différenciée  $(\Delta\lambda_k)_{k=2,\dots,n}$  où  $\Delta\lambda_k$  est donné par :

$$\Delta\lambda_k = \lambda_k - \lambda_{k-1} \forall k \in \{1, \dots, n\}$$

La série  $(\Delta\lambda_k)_{k=1,\dots,n}$  est bien stationnaire d'après le test de stationnarité cité précédemment. Nous construisons un processus ARMA basé sur la série  $(\Delta\lambda_k)_{k=1,\dots,n}$ . Nous devons pour cela modifier l'équation (\*) et supposer que le coefficient  $\alpha$  n'est plus constant au cours du temps. (\*) se réécrit alors :

$$\lambda_k = \lambda_0 (1 + \alpha_0 i_0) \dots (1 + \alpha_{k-1} i_{k-1}) + \gamma_k \forall k \in \{1, \dots, n\}$$

Pour  $k$  dans  $\{1, \dots, n\}$ , nous avons donc, en utilisant l'égalité (1) :

$$\begin{aligned} \Delta\lambda_k &= \lambda_0 (1 + \alpha_0 i_0) \dots (1 + \alpha_{k-1} i_{k-1}) + \gamma_k - [\lambda_0 (1 + \alpha_0 i_0) \dots (1 + \alpha_{k-2} i_{k-2}) + \gamma_{k-1}] \\ &= \lambda_0 (1 + \alpha_0 i_0) \dots (1 + \alpha_{k-2} i_{k-2}) (1 + \alpha_{k-1} i_{k-1} - 1) + \gamma_k - \gamma_{k-1} \end{aligned}$$

En notant  $\tilde{\gamma}_k = \gamma_k - \gamma_{k-1}$ , nous obtenons :

$$\Delta\lambda_k = \lambda_0 (1 + \alpha_0 i_0) \dots (1 + \alpha_{k-2} i_{k-2}) \alpha_{k-1} i_{k-1} + \tilde{\gamma}_k$$

De la même façon, nous obtenons :

$$\Delta\lambda_{k+1} = \lambda_0 (1 + \alpha_0 i_0) \dots (1 + \alpha_{k-1} i_{k-1}) \alpha_k i_k + \tilde{\gamma}_{k+1}$$

En utilisant les équations (2) et (3), nous pouvons écrire la série des  $(\Delta\lambda_k)_{k=1,\dots,n}$  sous la forme :

$$\Delta\lambda_{k+1} = (1 + \alpha_{k-1} i_{k-1}) \frac{\alpha_k i_k}{\alpha_{k-1} i_{k-1}} \Delta\lambda_k + \epsilon_{k+1}$$

où les  $\epsilon_k$  sont les nouveaux résidus de l'équation. S'étant assuré de la stationnarité des  $(\Delta\lambda_k)_{k=1,\dots,n}$ , nous pouvons construire un processus ARMA à partir de cette série. Nous estimons l'équation suivante :

$$\Delta\lambda_{k+1} = \beta \Delta\lambda_k + \epsilon_{k+1}$$

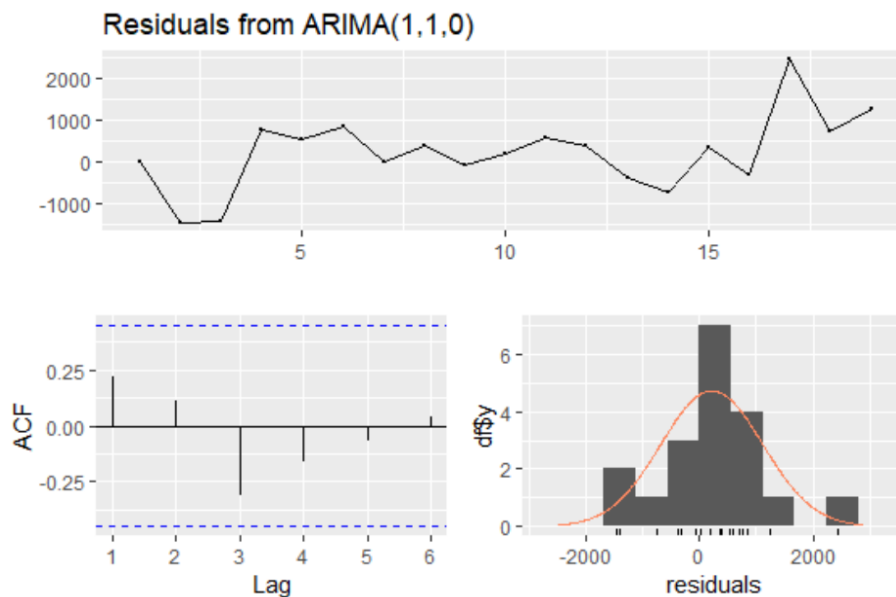
En combinant (4) et (5), nous obtenons :

$$\beta = (1 + \alpha_{k-1} i_{k-1}) \frac{\alpha_k i_k}{\alpha_{k-1} i_{k-1}}$$

Et nous en déduisons que pour  $k$  dans  $\{1, \dots, n\}$  :

$$\alpha_k = \frac{\beta \alpha_{k-1} i_{k-1}}{(1 + \alpha_{k-1} i_{k-1}) i_k}$$

Les  $(\alpha_k)$  sont ainsi déterminés par récurrence et nécessitent une initialisation.



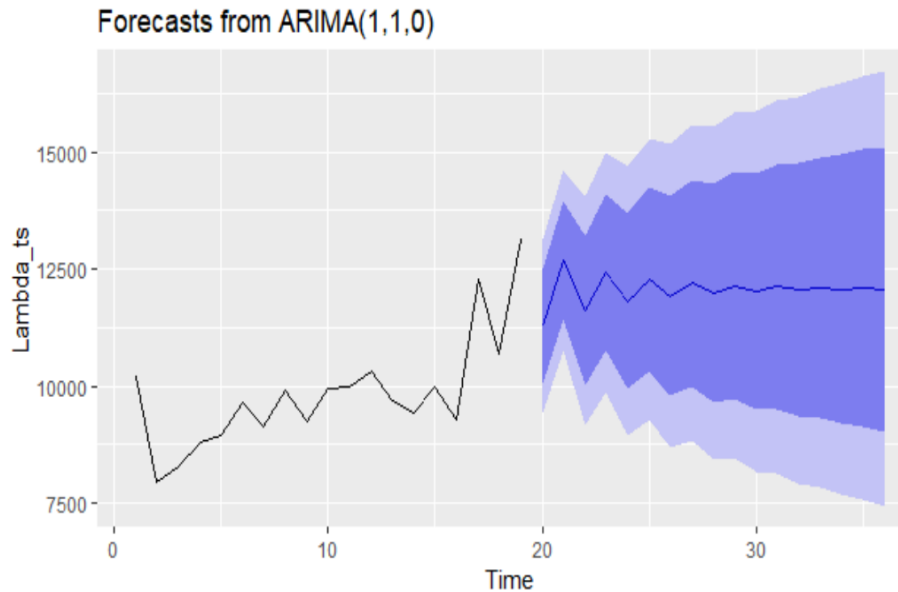


FIGURE 6.2 – Prévisions de la série des  $(\lambda_k)_k$  par modèle ARMA(1,1)

La série des  $(\lambda_k)_k$  converge vers une constante de façon très expéditive, créant ainsi des complications lors de son application. La composante liée à l'inflation est par conséquent incorrectement évaluée, puisque seule l'inflation des années initiales est prise en considération. Les résultats ainsi générés sont erronés, et ce, plus significativement lorsque la durée d'évolution de la branche est longue. Par conséquent, ce modèle offre une faible capacité prédictive, une caractéristique malheureusement commune aux modèles ARMA appliqués aux données économiques.

### 6.2.2.3 Maximum de vraisemblance

#### Vérification des hypothèses :

Pour valider notre modèle, nous utilisons des tests statistiques afin de vérifier les hypothèses énoncées dans la partie théorique. Ces tests nous permettent d'analyser les données empiriques et de déterminer si les résultats observés sont statistiquement significatifs.

Selon la figure, la moyenne du risque spécifique est de  $1,061 * 10^{-12}$  qui est d'ordre 0, et la p-valeur est supérieure à 5%. Par conséquent, nous pouvons conclure que l'hypothèse selon laquelle  $\mu = 0$  est valide.

```
> t.test(gamma)

One Sample t-test

data:  gamma
t = 5.4942e-15, df = 17, p-value = 1
alternative hypothesis: true mean is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -407.4612  407.4612
sample estimates:
 mean of x
1.061083e-12
```

FIGURE 6.3 – Sortie R de la vérification de l'hypothèse de la moyenne par test Student

L'observation révèle une tendance claire où la plupart des points se trouvent sur une même droite, suggérant ainsi que les résidus suivent une distribution gaussienne.

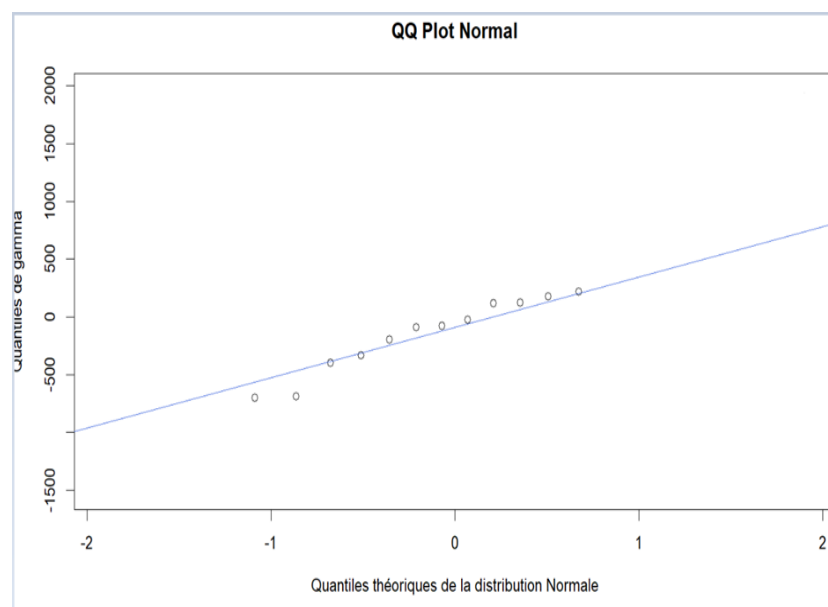


FIGURE 6.4 – Sortie R du QQ-Plot de la vérification de l'hypothèse de la normalité des résidus

Après avoir vérifié toutes les hypothèses du modèle, nous sommes en mesure de conclure que notre modèle est valide.

### Résultats et analyse :

Après avoir obtenu l'historique des  $\lambda_k$  grâce à la méthode de Taylor Verbeek, on procède à l'exécution de l'estimation des paramètres constituant l'évolution des  $\lambda_k$  futures par les deux versions de la méthodes du maximum de vraisemblance.

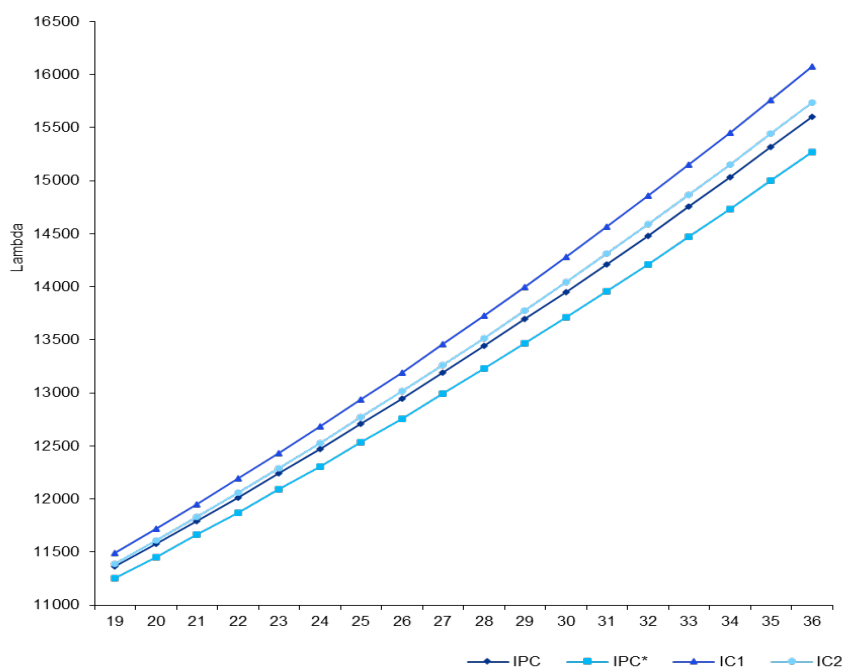
	Version Simple		Version Améliorée		
	$\alpha$	$\sigma$	$\alpha$	$\beta$	$\sigma$
IPC	0,0162	1290,805	1,3189	0,7807	819,6792
IPC*	0,0174	1290,7255	1,2514	0,7828	821,1548
IC <sup>1</sup>	0,0148	1290,6022	0,9805	0,7727	779,4548
IC <sup>2</sup>	0,0166	1290,6332	1,1029	0,7769	796,2807

 TABLE 6.8 – Résultat de l'estimation des paramètres constituant de l'équation de  $\lambda_k$ 

Le résultat obtenu valide de manière précise la raison fondamentale qui a poussé à adopter une méthode améliorée. En effet, la présence d'une volatilité très élevée est constatée dans le modèle simple, conduisant alors à prendre la décision d'utiliser les paramètres estimés par la méthode améliorée pour le reste de l'étude.

Une constatation commune se dégage lors de l'estimation des paramètres pour les quatre indices : l'indice IC<sup>1</sup> se distingue par une volatilité moindre, en raison de l'atténuation de l'effet de l'IPC\*.

En utilisant la méthode d'estimation basée sur les paramètres déterminés, nous parvenons à évaluer les valeurs futures des  $\lambda_k$ . Cette évaluation est réalisée en prenant en compte divers indices de consommation afin de calculer l'indice d'inflation utilisé dans l'équation d'estimation du facteur d'exogénéité. Les résultats de cette évaluation sont présentés de manière graphique dans la figure suivante :


 FIGURE 6.5 – Estimation et évolution des  $\lambda_k$  futures par méthode de maximum de vraisemblance améliorée

A travers les résultats d'estimation des  $\lambda_k$ , on établit alors l'estimation des

paiements totaux moyennant quatre différents indices qui traduisent l'effet inflation. Ce tableau présenté en dessous, met en place une comparaison entre les différents ultimes obtenus et leur évolution par rapport aux résultats par Chain Ladder.

Année	Ultimes Chain Ladder	IPC			ICP*		
		Ultimes	Ecart	%	Ultimes	Ecart	%
2000	167 673 005	167 673 005	0	0%	167 673 005	0	0,0%
2001	167 484 353	167 471 688	- 12 664	0%	167 471 304	- 13 049	0,0%
2002	168 081 260	167 969 258	- 112 002	0%	167 964 647	- 116 614	-0,1%
2003	145 870 768	146 415 088	544 320	0%	146 394 160	523 391	0,4%
2004	148 699 044	148 852 947	153 903	0%	148 825 640	126 596	0,1%
2005	155 375 937	155 631 753	255 816	0%	155 577 905	201 968	0,1%
2006	150 845 042	151 810 942	965 899	1%	151 733 519	888 477	0,6%
2007	155 083 392	156 213 144	1 129 752	1%	156 104 611	1 021 219	0,7%
2008	139 185 952	141 723 692	2 537 740	2%	141 578 570	2 392 618	1,7%
2009	173 344 478	173 979 901	635 423	0%	173 771 780	427 303	0,2%
2010	151 379 787	153 805 006	2 425 219	2%	153 545 918	2 166 131	1,4%
2011	176 917 777	174 282 300	-2 635 478	-1%	173 953 914	-2 963 863	-1,7%
2012	155 714 876	155 262 680	- 452 197	0%	154 833 661	- 881 215	-0,6%
2013	170 804 790	165 430 195	-5 374 595	-3%	164 889 847	-5 914 943	-3,5%
2014	176 789 416	171 966 326	-4 823 090	-3%	171 233 661	-5 555 755	-3,1%
2015	158 336 749	160 572 612	2 235 863	1%	159 645 955	1 309 206	0,8%
2016	138 467 378	151 708 740	13 241 362	10%	150 559 854	12 092 476	8,7%
2017	125 716 646	142 960 917	17 244 270	14%	141 599 418	15 882 771	12,6%
2018	118 161 356	115 034 982	-3 126 375	-3%	113 693 859	-4 467 497	-3,8%
<b>Totaux</b>	<b>2 943 932 007</b>	<b>2 968 765 175</b>	<b>24 833 168</b>	<b>0,84%</b>	<b>2 961 051 228</b>	<b>17 119 221</b>	<b>0,6%</b>

Année	Ultimes Chain Ladder	IC1			IC2		
		Ultimes	Ecart	%	Ultimes	Ecart	%
2000	167 673 005	167 673 005	0	0,00%	167 673 005	0	0,00%
2001	167 484 353	167 472 124	- 12 228	-0,01%	167 471 787	- 12 566	-0,01%
2002	168 081 260	167 974 506	- 106 755	-0,06%	167 970 446	- 110 814	-0,07%
2003	145 870 768	146 439 007	568 239	0,39%	146 420 536	549 768	0,38%
2004	148 699 044	148 884 892	185 849	0,12%	148 860 448	161 404	0,11%
2005	155 375 937	155 694 875	318 938	0,21%	155 646 611	270 674	0,17%
2006	150 845 042	151 902 519	1 057 477	0,70%	151 832 739	987 697	0,65%
2007	155 083 392	156 342 864	1 259 472	0,81%	156 244 412	1 161 020	0,75%
2008	139 185 952	141 898 642	2 712 690	1,95%	141 766 292	2 580 340	1,85%
2009	173 344 478	174 232 019	887 542	0,51%	174 041 634	697 156	0,40%
2010	151 379 787	154 121 115	2 741 328	1,81%	153 883 039	2 503 252	1,65%
2011	176 917 777	174 684 213	-2 233 564	-1,26%	174 381 856	-2 535 921	-1,43%
2012	155 714 876	155 787 281	72 405	0,05%	155 392 477	- 322 399	-0,21%
2013	170 804 790	166 094 221	-4 710 569	-2,76%	165 595 402	-5 209 388	-3,05%
2014	176 789 416	172 869 703	-3 919 713	-2,22%	172 191 905	-4 597 511	-2,60%
2015	158 336 749	161 718 104	3 381 355	2,14%	160 859 436	2 522 687	1,59%
2016	138 467 378	153 132 865	14 665 487	10,59%	152 066 389	13 599 011	9,82%
2017	125 716 646	144 649 455	18 932 809	15,06%	143 385 172	17 668 526	14,05%
2018	118 161 356	116 700 256	-1 461 100	-1,24%	115 453 916	-2 707 440	-2,29%
<b>Totaux</b>	<b>2 943 932 007</b>	<b>2 978 271 668</b>	<b>34 339 661</b>	<b>1,17%</b>	<b>2 971 137 502</b>	<b>27 205 495</b>	<b>0,92%</b>

TABLE 6.9 – Résultats d'ultimes par méthode de séparation de Taylor-Verbeek et comparaison avec Chain Ladder

Ce tableau représente une synthèse des variations des écarts entre les méthodes développées par rapport à notre méthode de référence à travers un examen des résultats des ultimes. Pour chaque année de 2000 à 2018, quatre méthodes d'indexation (IPC, ICP\*, IC<sup>1</sup>, IC<sup>2</sup>) sont utilisées pour estimer les ultimes, et les résultats sont comparés à ceux obtenus par la méthode Chain Ladder. L'IPC, l'ICP\*, IC<sup>1</sup> et IC<sup>2</sup> sont utilisés comme indices d'inflation pour les différentes méthodes. L'écart en valeur absolue et en pourcentage entre les ultimes obtenus par ces méthodes et ceux obtenus par la méthode Chain Ladder est également indiqué. En analysant le tableau, voici quelques points à noter :

1. Il y a une variation significative dans l'écart entre les différentes méthodes pour certaines années. Par exemple, en 2017, l'IPC a montré un écart de 14% par rapport à la méthode Chain Ladder, tandis que l'ICP\* a montré un écart de 12,6%. Cela peut indiquer que l'inflation a eu un impact significatif sur les ultimes pour cette année.
2. Il y a des années où toutes les méthodes donnent des ultimes inférieurs à ceux de la méthode Chain Ladder, comme en 2002, 2011, 2012, 2013, 2014, et 2018. Cela peut signifier que ces méthodes sous-évaluent les ultimes pour ces années.
3. En revanche, il y a des années où toutes les méthodes donnent des ultimes supérieurs à ceux de la méthode Chain Ladder, comme en 2006, 2007, 2008, 2010, 2015, 2016, et 2017. Cela pourrait indiquer un sur-provisionnement de la part de la méthode Taylor Verbeek pour ces années.

La variation de ces écarts revient en forte raison à l'estimation des  $\lambda_k$  futures présentées dans le tableau précédent. En effet, on retrouve des écarts totaux qui se dégradent de l'IC<sup>1</sup> à l'IC<sup>2</sup> et l'IPC (les deux indices ont une estimation proche des  $\lambda_k$ ), ainsi l'ICP\* présente l'écart le moins important. D'une vue globale, les totaux sur l'ensemble des années montrent que l'IPC, l'ICP\*, IC<sup>1</sup>, et IC<sup>2</sup> ont tous donné des ultimes supérieurs à ceux de la méthode Chain Ladder, avec un écart variant de 0,6% à 1,17%. Cela suggère que la méthode adoptée tend à être plus prudente en aboutissant à un sur provisionnement des ultimes totaux.

### 6.2.3 Backtesting

Afin d'évaluer la qualité d'un modèle, il s'avère indispensable de le confronter à des référentiels, tel que Chain-Ladder. Néanmoins, l'opportunité de mettre le modèle en parallèle avec les données historiques, lorsque cela est réalisable, permet d'instaurer une confiance solide dans ledit modèle, de parvenir à une compréhension plus nuancée des phénomènes en jeu et même de confirmer le choix des paramètres. C'est ce que cette section tente de mettre en œuvre grâce à une méthode connue sous le nom de rétro-analyse.

Dans cet objectif, les bases de données ainsi que les modèles sont utilisés pour simuler les règlements effectués durant une période réellement connue, se prolongeant au plus tard jusqu'en 2018. Il est alors question d'appliquer les modèles sur les bases de données telles qu'elles étaient à une date antérieure à la dernière date connue. En agissant

de la sorte, une période déjà écoulée dans la réalité est prédite et il est possible de vérifier si les prédictions des modèles correspondent aux événements qui se sont déroulés. Ce processus permet une réflexion critique sur le modèle en question et fournit des leçons significatives.

Une méthode fréquemment adoptée consiste à reculer la vision des bases de données d'une ou plusieurs années, puis à simuler les années suivantes jusqu'à la dernière année initialement connue. L'application de cette méthode sur une année a été choisie.

Par la suite, on choisit de faire un *backtesting* sur une année, c'est à dire, on élimine les règlements réalisés pour l'ensemble des sinistres au cours de l'année calendaire 2018, indépendamment de leur date de survenance. Durant cette phase, il est nécessaire de supprimer en particulier l'équivalent de cette colonne d'un triangle agrégé. De ce fait, on retient dans la base de données une fois celle-ci retravaillée seulement jusqu'à la 17ème année de développement. Lors de l'effectuation des comparaisons avec la base initiale, il sera impératif de retirer les règlements effectués en 2018, correspondant aux années de développement 18, lesquelles ne pourront de toute façon pas être prédites par le modèle. On effectue alors la méthode de Taylor Verbeek sur la nouvelle base de données afin d'obtenir un résultat qui va être sujet d'une comparaison avec la 18ème année calendaire qui se trouve dans le triangle original. Cependant, l'objectif en présence est simplement d'observer le comportement du modèle et non d'obtenir une estimation impeccable.

L'objectif premier est donc d'évaluer les erreurs sur les diagonales estimées et de déceler les méthodes les plus performantes, soit celles qui les réduisent au minimum. Il est ainsi nécessaire de définir des normes de mesures d'erreurs :

- **RMSE** (Root-Mean-Square Error) : Cela désigne la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne. C'est une mesure qui évalue les divergences entre les valeurs prédites et les valeurs observées. Elle est systématiquement positive et décrit un ajustement idéal lorsque sa valeur est nulle. Cette mesure permet d'apprécier la dispersion des erreurs dans l'espace et définit la propension de la méthode à commettre des erreurs individuelles.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$$

- **MAE** (Mean Absolute Error) : Il s'agit de la moyenne des valeurs absolues des écarts. Tout comme la RMSE, c'est une mesure des divergences entre les valeurs prédites et les valeurs observées. Elle est toujours positive et décrit également un ajustement idéal lorsque sa valeur est nulle. Elle obéit donc aux mêmes principes que la RMSE.

$$MAE = \sum_{i=1}^n \frac{|\hat{y}_i - y_i|}{n}$$

- **Pourcentage d'erreur total** : Cette mesure évalue l'écart de projection. C'est généralement la mesure privilégiée par la direction, qui cherchera à

obtenir une évaluation précise des réserves dans leur globalité. Cet écart permet notamment de prendre en compte des effets compensatoires entre différentes survenances.

$$\text{Pourcentage d'erreur total} = \sum_{i=1}^n \frac{|\hat{y}_i - y_i|}{y_i}$$

### Résultats et analyse

L'épreuve du *backtesting* se concentre sur une période relativement brève d'un an. Dans cette optique, nous supprimerons la dernière diagonale du triangle. L'objectif consistera à estimer cette dernière diagonale à l'aide des informations disponibles sur la période s'étalant de 2000 à 2017 et de la comparer aux montants effectifs des règlements sur cette diagonale. Les erreurs seront quantifiées sur la base des montants des règlements progressifs. Les résultats obtenus sont illustrés dans le Tableau 6.10.

Le Tableau 6.10 dépeint les différentes méthodes mises en œuvre et les mesures d'erreur associées à ces dernières.

	IPC	IPC*
Pourcentage d'erreur totale	2,22%	2,21%
RMSE	6 160 986	6 120 689
MAE	4 024 934	3 998 084

	IC <sup>1</sup>	IC <sup>2</sup>
Pourcentage d'erreur totale	2,18%	2,19%
RMSE	6 035 793	6 069 934
MAE	3 938 421	3 962 968

TABLE 6.10 – Résultats du backtesting sur une année pour la méthode de Taylor Verbeek

Les cellules nuancées de bleu symbolisent les erreurs minimales, qui incarnent donc les résultats les plus optimisés. A contrario, celles revêtant la couleur rouge matérialisent les erreurs les plus significatives, et donc les estimations les moins précises.

Il est vrai que les résultats demeurent très proches les uns des autres, néanmoins, ceux-ci sont en accord avec les anticipations relatives à ce modèle d'estimation. En effet, concernant l'estimation des  $\lambda_k$ , une volatilité distincte s'est manifestée pour chaque estimation selon les différents indices. Notamment, l'indice  $IC^1$  a affiché la volatilité la plus faible, justifiant ainsi sa qualification de meilleure estimation au regard des résultats des autres indices.

En conséquence, le résultat obtenu par l'indice  $IC^1$  s'accorde avec le modèle le plus optimal et le moins dispersé parmi les autres modèles. C'est ainsi que, nonobstant une certaine proximité des résultats, une hiérarchisation s'opère sur la base de la volatilité des estimations. L'indice  $IC^1$ , du fait de sa moindre volatilité, se révèle être le modèle le plus robuste, ce qui le positionne comme l'estimation la plus fiable. Cette constatation, tout en confirmant la pertinence de l'approche adoptée, offre également une perspective

précieuse pour la conduite des analyses futures.

## 6.3 Méthodes As-If

On base notre méthode sur l'indice des prix à la consommation adapté (IPC\*) pour voir le cours de l'estimation par les deux méthodes.

### 6.3.1 Première Méthode :

En appliquant les étapes discutées dans les chapitres précédents, on obtient le résultat des ultimes des règlements suivants :

Année	Règlements				
	Ultimes Chain Ladder	Ultimes Règlements as if	Ultimes Règlements finaux	Ecart avec CL	%
2000	167 673 005	201 319 747	167 673 005	0	0,00%
2001	167 484 353	196 965 377	167 483 957	-395	0,00%
2002	168 081 260	192 944 693	168 070 472	-10 788	-0,01%
2003	145 870 768	165 309 395	145 834 721	-36 048	-0,02%
2004	148 699 044	166 245 707	148 643 235	-55 809	-0,04%
2005	155 375 937	170 922 552	155 253 459	-122 477	-0,08%
2006	150 845 042	162 943 551	150 657 322	-187 721	-0,12%
2007	155 083 392	165 183 379	154 804 246	-279 146	-0,18%
2008	139 185 952	146 546 272	138 865 473	-320 479	-0,23%
2009	173 344 478	179 430 628	172 733 050	-611 427	-0,35%
2010	151 379 787	155 117 222	150 780 836	-598 951	-0,40%
2011	176 917 777	178 548 071	175 861 202	-1 056 575	-0,60%
2012	155 714 876	155 902 807	154 645 748	-1 069 128	-0,69%
2013	170 804 790	168 979 255	169 432 987	-1 371 803	-0,80%
2014	176 789 416	173 503 672	175 369 703	-1 419 713	-0,80%
2015	158 336 749	154 017 862	157 097 262	-1 239 487	-0,78%
2016	138 467 378	133 309 871	137 414 892	-1 052 486	-0,76%
2017	125 716 646	119 688 487	124 800 421	-916 226	-0,73%
2018	118 161 356	110 836 996	117 033 088	-1 128 268	-0,95%
<b>Totaux</b>	<b>2 943 932 007</b>	<b>3 097 715 545</b>	<b>2 932 455 080</b>	<b>-11 476 927</b>	<b>-0,39%</b>

FIGURE 6.6 – Résultats des règlements par la méthode as-if et comparaison avec Chain Ladder

Ce tableau présente une comparaison entre deux méthodes d'estimation des ultimes pour les années 2000 à 2018 : la méthode Chain Ladder et la première méthode développée en as-if. Les ultimes pour chaque année sont calculés en utilisant ces deux méthodes, et l'écart en valeur et en pourcentage entre les deux est également présenté. En résumé, l'écart total entre les deux méthodes pour l'ensemble des années est de -11476927, ce qui représente -0,39% des ultimes estimés par la méthode Chain Ladder. Cela indique que la méthode as-if a tendance à sous évaluer les ultimes à ceux de la

méthode Chain Ladder. Sur une base annuelle, l'écart entre les deux méthodes varie. En 2018, la méthode as-if présente le plus d'écart en estimant l'ultime à 1 128 268 unités inférieures à celle de la méthode Chain Ladder, soit une différence de -0,95%. Cependant, dans l'ensemble, l'écart en pourcentage reste relativement faibles. En somme, bien que les écarts absolus et les pourcentages d'écart varient d'une année à l'autre, l'écart global entre les deux méthodes reste inférieur à 1%. Cela suggère que la méthode des Règlements finaux donne des estimations d'ultimes globalement similaires à celles de la méthode Chain Ladder. À la différence des résultats par cette méthode tableau, l'écart global pour la méthode de Verbeek est positif, indiquant que celle-ci tend à surévaluer les ultimes par rapport à la méthode Chain Ladder, avec un écart global de 0,6%. Les écarts annuels varient significativement, allant d'une sous-évaluation maximale de -3,8% en 2018 à une surévaluation maximale de 12,6% en 2017. Contrairement à la première méthode as-if, qui présente systématiquement une sous-évaluation, cette seconde méthode présente à la fois des sous-évaluations et des surévaluations. En conclusion, bien que la méthode Chain Ladder soit communément utilisée pour estimer les paiements et les charges futurs, ces deux tableaux suggèrent qu'elle pourrait surestimer ces montants par rapport à d'autres méthodes.

Grâce à l'approche décrite dans le chapitre précédent, il devient réalisable d'évaluer les charges finales en appliquant la méthode expliquée. Ces charges obtenues sont ensuite employées pour générer le tableau qui suit :

Année	Charges				
	Ultimes Chain Ladder	Ultimes Charges as if	Ultimes Charges finaux	Ecart avec CL	%
2000	167 723 602	200 915 833	167 673 005	-50 596	-0,3%
2001	172 591 689	201 821 989	172 674 901	83 212	0,5%
2002	178 822 497	203 614 547	178 981 009	158 512	0,9%
2003	158 065 925	177 522 338	158 209 200	143 275	0,9%
2004	160 075 699	177 486 746	160 237 142	161 443	0,1%
2005	160 824 883	176 477 676	160 781 834	-43 050	-0,3%
2006	160 003 848	172 389 695	160 040 006	36 158	0,2%
2007	161 779 142	172 335 089	161 710 456	-68 686	-0,4%
2008	157 182 306	165 330 221	157 475 427	293 122	0,2%
2009	193 717 551	200 805 652	193 907 199	189 648	0,1%
2010	172 917 393	177 137 266	173 188 226	270 833	0,6%
2011	218 946 967	221 090 232	219 712 490	765 523	0,5%
2012	176 135 063	177 226 885	176 154 544	19 481	0,1%
2013	196 725 133	196 044 336	196 711 430	-13 703	-0,1%
2014	210 035 680	207 692 896	209 967 480	-68 200	-0,3%
2015	188 437 855	184 557 614	188 203 119	-234 736	-0,2%
2016	185 940 735	179 877 576	185 866 606	-74 128	-0,4%
2017	189 827 594	181 318 709	189 468 251	-359 343	-0,9%
2018	234 032 742	221 291 131	233 301 758	-730 984	-0,3%
<b>Totaux</b>	<b>3 443 786 304</b>	<b>3 594 936 429</b>	<b>3 444 264 085</b>	<b>477 781</b>	<b>0,01%</b>

TABLE 6.11 – Résultats des charges par la première méthode "as-if" et comparaison avec Chain Ladder

Dans l'ensemble, l'écart global entre les deux méthodes est extrêmement faible, avec une différence de 0,01% au total. Cela suggère que, sur la période considérée, les deux méthodes sont généralement en accord sur l'estimation des ultimes. Néanmoins, une analyse plus détaillée révèle des différences sur certaines années. Les écarts annuels varient entre une sous-évaluation de 0,31% en 2018 et une surévaluation de 0,35% en 2011 par rapport à la méthode Chain Ladder.

En conclusion, il s'avère à travers ces résultats que la première méthode tend à converger vers les estimations des charges ultimes données par la méthode de Chain Ladder, avec des pourcentages d'écart qui varient entre la surévaluation et la sous-évaluation au cours des années.

### 6.3.2 Deuxième Méthode :

Ces tableaux comparent les estimations des ultimes des règlements et charges obtenues par deux méthodes différentes : la méthode de Chain Ladder et la deuxième méthode "as-if". Ces estimations sont présentées pour chaque année de sinistre, de 2000 à 2018. Un écart est calculé comme la différence entre les ultimes des méthodes ainsi qu'un pourcentage de variation par rapport aux résultats de Chain Ladder.

Année	Règlements				Ecart avec CL	%
	Ultimes Chain Ladder	Ultimes Règlements as if	Ultimes Règlements finaux			
2000	167 673 005	167 673 005	167 673 005	0	0,00%	
2001	167 484 353	167 485 019	167 485 019	667	0,00%	
2002	168 081 260	168 081 962	168 081 962	702	0,00%	
2003	145 870 768	145 865 117	145 865 117	-5 652	0,00%	
2004	148 639 044	148 341 604	148 341 604	-357 440	-0,24%	
2005	155 375 937	154 982 810	154 982 810	-393 127	-0,25%	
2006	150 845 042	151 151 596	151 151 596	306 554	0,20%	
2007	155 083 392	155 353 437	155 353 437	270 045	0,17%	
2008	139 185 952	139 404 477	139 404 477	218 525	0,16%	
2009	173 344 478	173 485 988	173 485 988	141 511	0,08%	
2010	151 379 787	151 224 004	151 224 004	-155 783	-0,10%	
2011	176 917 777	176 177 027	176 177 027	-740 750	-0,42%	
2012	155 714 876	155 109 177	155 109 177	-605 700	-0,39%	
2013	170 804 790	170 127 759	170 127 759	-677 031	-0,40%	
2014	176 789 416	176 850 237	176 850 237	60 822	0,03%	
2015	158 336 749	158 713 390	158 713 390	376 641	0,24%	
2016	138 467 378	139 642 064	139 642 064	1 174 686	0,85%	
2017	125 716 646	128 200 748	128 200 748	2 484 101	1,98%	
2018	118 161 356	122 933 044	122 933 044	4 771 688	4,04%	
Totaux	2 943 932 007	3 107 158 592	2 950 802 466	6 870 459	0,23%	

TABLE 6.12 – Résultats d'ultimes des règlements par la deuxième méthode as-if et comparaison avec Chain Ladder

Le tableau des règlements présente les totaux pour toutes les années de sinistre,

qui montrent que l'écart total est d'environ 6,87 millions, soit 0,23% des ultimes totaux de la méthode de Chain Ladder.

En général, les résultats indiquent une assez bonne cohérence entre les deux méthodes d'estimation. L'écart entre les deux méthodes est très faible (moins de 1%) pour la plupart des années. Il est intéressant de noter que dans certains cas, la deuxième méthode as-if donne une surévaluation par rapport à la méthode de Chain Ladder (par exemple, en 2006 et 2017), tandis que dans d'autres, elle donne une estimation légèrement inférieure (par exemple, en 2004 et 2005), indiquant alors une sous-évaluation.

Les années 2017 et 2018 se démarquent avec des écarts plus importants, respectivement 1,98% et 4,04%. Cela peut indiquer que la méthode développée prévoit une plus grande évolution des coûts de sinistres pour ces années. Cela pourrait être dû à une série de facteurs, tels que des changements dans la fréquence ou la sévérité des sinistres.

Pour la méthode de Taylor Verbeek, l'écart total avec la méthode Chain Ladder est de 17 119 221 (0,6% du total des ultimes Chain Ladder), tandis que pour la méthode de règlements finaux, l'écart total est de 6 870 459 (0,23% du total des ultimes Chain Ladder). En regardant ces chiffres, on peut dire que la deuxième méthode "as-if" est plus proche de la méthode Chain Ladder en termes d'écart total. En d'autres termes, les estimations de règlements ultimes obtenues à l'aide de cette méthode sont plus proches de celles obtenues avec la méthode Chain Ladder que celles obtenues avec la méthode de Taylor Verbeek.

Année	Charges			
	Ultimes Chain Ladder	Ultimes Charges finaux	Ecart avec CL	%
2000	167 723 602	167 715 022	-8 580	-0,01%
2001	172 591 689	171 817 913	-773 776	-0,45%
2002	178 822 497	177 404 812	-1 417 685	-0,79%
2003	158 065 925	156 540 038	-1 525 887	-0,97%
2004	160 075 699	158 712 470	-1 363 229	-0,85%
2005	160 824 883	160 165 399	-659 484	-0,41%
2006	160 003 848	159 176 070	-827 778	-0,52%
2007	161 779 142	161 215 579	-563 564	-0,35%
2008	157 182 306	155 989 568	-1 192 737	-0,76%
2009	193 717 551	193 006 231	-711 320	-0,37%
2010	172 917 393	172 318 118	-599 275	-0,35%
2011	218 946 967	218 098 709	-848 258	-0,39%
2012	176 135 063	176 062 008	-73 055	-0,04%
2013	196 725 133	196 837 614	112 480	0,06%
2014	210 035 680	210 326 859	291 179	0,14%
2015	188 437 855	189 078 692	640 838	0,34%
2016	185 940 735	186 921 779	981 045	0,53%
2017	189 827 594	191 437 592	1 609 998	0,85%
2018	234 032 742	237 438 777	3 406 035	1,46%
Totaux	3 443 786 304	3 440 263 251	-3 523 053	-0,10%

TABLE 6.13 – Résultats d'ultimes des charges par la deuxième méthode as-if et comparaison avec Chain Ladder

Le tableau comparatif des estimations des charges ultimes selon la méthode de

Chain Ladder et la méthode développée, désignée comme "Charges finaux", révèle une corrélation générale, mais avec des écarts significatifs d'une année à l'autre.

L'analyse du deuxième tableau révèle comment une autre méthode se compare à la méthode Chain Ladder pour estimer les charges finales pour chaque année de 2000 à 2018. Au début de la période, de 2000 à 2002, cette méthode produit des estimations légèrement inférieures à celles de la méthode Chain Ladder, comme le montrent les écarts négatifs. Cela suggère une légère sous-évaluation des charges finales par rapport à la méthode Chain Ladder.

Cependant, la tendance change en 2003 avec un écart de -0,97%. Cette sous-évaluation continue jusqu'en 2008, avec une sous-évaluation significative en 2003 et 2004. À partir de 2009, la tendance s'inverse, avec cette méthode produisant des estimations légèrement supérieures à celles de la méthode Chain Ladder, indiquant une surévaluation des charges finales. La surévaluation atteint un pic en 2017 et 2018, avec des écarts respectifs de 0,85% et 1,46%. Cependant, sur l'ensemble de la période de 2000 à 2018, cette méthode semble légèrement sous-évaluer les charges finales par rapport à la méthode Chain Ladder, avec un écart global de -0,10. Il est important de noter que, bien que les écarts varient d'année en année, ils restent relativement faibles, ce qui suggère que cette méthode est généralement précise et comparable à la méthode Chain Ladder pour estimer les charges finales.

# Conclusion générale

L'étude présente se penche sur l'analyse des impacts de l'inflation sur le provisionnement en assurance non-vie, plus précisément dans la branche de la responsabilité civile automobile. À travers ce mémoire, les fondamentaux de l'assurance non-vie, la complexité du système d'indemnisation des sinistres corporels et les particularités de l'inflation ont été abordés. Cette dernière, définie comme la hausse générale et continue des prix, influence indéniablement les branches longues d'assurance non-vie.

Il a également été mis en évidence les différentes méthodes de provisionnement utilisées dans le secteur de l'assurance, des plus classiques, comme le Chain Ladder Standard, aux plus innovantes prenant en compte l'inflation, comme la méthode de séparation Taylor-Verbeek et la méthodologie "As-If".

L'application de ces différentes méthodes sur la base de données de la branche étudiée a permis de démontrer l'importance de l'intégration de l'inflation dans les modèles de provisionnement. Les méthodes classiques se sont révélées insuffisantes pour assurer une couverture précise et adéquate des risques potentiels. En revanche, les méthodes intégrant l'inflation ont présenté une amélioration notable dans l'évaluation des provisions, malgré quelques limites liées à la prévision de l'inflation future.

En somme, ce travail a mis en exergue la nécessité de la prise en compte de l'inflation dans le processus de provisionnement en assurance non-vie pour une meilleure gestion des risques. Pour autant, la prédiction de l'inflation future reste un défi majeur pour les assureurs. De ce fait, l'exploration de méthodes de provisionnement encore plus robustes et flexibles aux variations économiques reste un sujet d'avenir pour les acteurs du secteur.

# Bibliographie

[1] :Augustin MANSOUR. « Mesure et impacts de l'inflation des sinistres en responsabilité civile automobile ». Master's thesis, Le CNAM

[2] : FOUAD MARRI , PROVISIONNEMENT EN NON VIE, INSEA.

[3] : LAGRANGE Laure-Anne et MEUNIER Pierre. "Intégration de l'inflation dans l'évaluation du risque de provisionnement pour un assureur non-vie sous solvabilité 2". Master's thesis, ENSAE Paris Tech

[4] : G. C. TAYLOR. "Separation of inflation and other effects from the distribution of non-life insurance claim delays". Macquarie University, Australie et Government's Actuary Département, UK, 1977.

[5] : MEMOIRE ACTUARIAT Par Yvan Murzeau Titre : Etude de l'inflation dans le processus d'inventaire non-vie

# Webographie

[1] : <https://www.rachatducredit.com/definition-assurance-non-vie-757567/>

[2] : <https://assureurpro.com/branches-d-assurance/>

[3] : [https://www.legifrance.gouv.fr/codes/texte\\_lc/LEGITEXT000006070721/](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/texte_lc/LEGITEXT000006070721/)

[4] : <https://www.asaci.net/public/index.php/marchenonve>

[5] : <https://www.ecb.europa.eu/home/html/index.en.html>

[6] : <https://eiopa.europa.eu>

[7] : <https://www.insee.fr>

[8] : <https://www.lesfurets.com/assurance-auto/guide/la-responsabilite-civile-de-votre-assurance-auto>

[9] : <https://www.fsma.be/fr/intermediaires-preteurs/quelles-sont-les-branches-dassurance-non-vie>

# Annexes

## Présentation de l'organisme d'accueil



### A.1 KPMG France

KPMG S.A., un cabinet français qui fait partie du réseau KPMG, réseau mondial qui propose des services d'audit (Audit), de conseil (Advisory) et de fiscalité (Tax). Il a été créé à Grenoble en 1922 par Albert Liothaud, expert-comptable, sous le nom de Fiduciaire de France. Depuis 2021, il est présidé par Marie Guillemot. Ce cabinet se démarquait déjà en regroupant, au sein d'une même entité, des experts-comptables, des commissaires aux comptes, des conseillers juridiques et fiscaux.

Aujourd'hui, KPMG est le premier cabinet d'audit et d'expertise comptable réglementé en France et le deuxième en termes de chiffre d'affaires global (audit, conseil et expertise comptable). Il est présent dans plus de 214 villes à travers la France et accompagne aussi bien les grandes entreprises que les petites entreprises dans leurs problématiques liées aux chiffres. Aux côtés de Deloitte, PwC et EY, KPMG est l'un des membres des "Big Four" de l'audit.

Il compte parmi ses clients environ 200 sociétés cotées ou faisant appel à l'épargne publique, ainsi que 67 000 PME et PE. KPMG est l'auditeur de grandes entreprises françaises telles que Total, EADS, EDF, PPR, Aéroports de Paris et JC Decaux.

## A.2 KPMG France au Maroc

### A.2.1 Création et objectifs

En septembre 2022, KPMG France a créé une filiale de son cabinet à Casablanca, Maroc, dans le but de lancer une activité Advisory avec des objectifs clairs et ambitieux.

Le principal objectif de la filiale est de développer le marché marocain en tant que relais de croissance pour les activités de KPMG France, tout en créant une porte d'entrée sur le marché africain. La filiale s'engage également à fournir des services répondant aux normes de qualité de KPMG France et aux attentes des clients.

En outre, la filiale vise à garantir la sécurité des projets en France en proposant des taux compétitifs et en mettant à disposition des ressources expérimentées pour offrir une valeur ajoutée aux clients.

### A.2.2 Les métiers du cabinet

KPMG exerce plusieurs métiers clés pour accompagner et conseiller ses clients :

- **L'Audit** : constitue le cœur de métier de KPMG. Les experts du cabinet fournissent à leurs clients une garantie sur la qualité de l'information financière.
- **Le Conseil** : est un autre atout majeur de KPMG. Les consultants accompagnent les clients dans le monde entier pour relever leurs défis, répondre à leurs problématiques et leurs besoins de croissance, et réussir leurs projets de transformation et de digitalisation.
- **L'Expertise Comptable et Conseil aux Entrepreneurs** : consiste à équiper les clients avec des outils et des indicateurs pour maîtriser leur activité quotidienne, tels que la comptabilité, les tableaux de bord et les business plans.
- **Le Droit et Fiscalité** : KPMG Avocats, créé en 2019, offre des solutions juridiques, fiscales et sociales adaptées aux besoins spécifiques de ses clients, grâce à une approche pragmatique.
- **Les Fonctions Supports et Transverses** : regroupent des métiers tels que la finance, la gestion de risques, la gestion de projets, le marketing et la communication.

### A.2.3 Missions du cabinet

Les équipes de conseil de KPMG offrent une large gamme de services pour aider leurs clients à résoudre divers défis. Ils sont prêts à accompagner les entreprises dans la définition et la mise en place de leur stratégie de croissance, que ce soit à travers l'identification des opportunités de croissance externe ou l'optimisation des ressources existantes pour une croissance interne. Le cabinet aide également les clients à développer des stratégies globales de relation client, en identifiant les canaux de communication appropriés et en développant des programmes de fidélisation pour améliorer l'expérience client. En tant qu'expert en technologie, KPMG aide les clients à exploiter les dernières ruptures technologiques pour améliorer leur efficacité opérationnelle et leur rentabilité. Ils aident également à optimiser la gestion de leurs activités critiques pour améliorer la productivité et la rentabilité. Il est également capable d'anticiper les nouvelles contraintes réglementaires et de travailler avec ses clients pour les aider à se conformer aux exigences légales.

Le cabinet intervient dans la plupart des secteurs d'activités pour lesquels le conseil est traditionnellement sollicité. Les principaux domaines dans lesquels KPMG fournit des services de conseil sont :

- Finance et risk management
- Conseil SI et IT, digital
- Conseil en transformation digitale UX, CX
- Performance opérationnelle, optimisation et réduction des coûts
- Organisation et conduite de changement, conseil RH
- Conseil en innovation
- Expérience client, marketing & sales
- Conseil en stratégie

### A.2.4 Organisation Advisory Maroc

Les équipes locales sont structurées de manière similaire à l'organisation en France, avec des groupes d'experts spécialisés dans des secteurs et des métiers spécifiques.

### A.2.5 Département Actuarial & Analytics

L'équipe en question se concentre sur la gestion et la modélisation des risques techniques et financiers, spécifiquement dans le secteur de l'assurance. Elle est hautement qualifiée pour mener des projets importants de bout en bout, et travaille également en tant que consultant en soutien à des missions opérationnelles sur une variété de sujets quantitatifs.

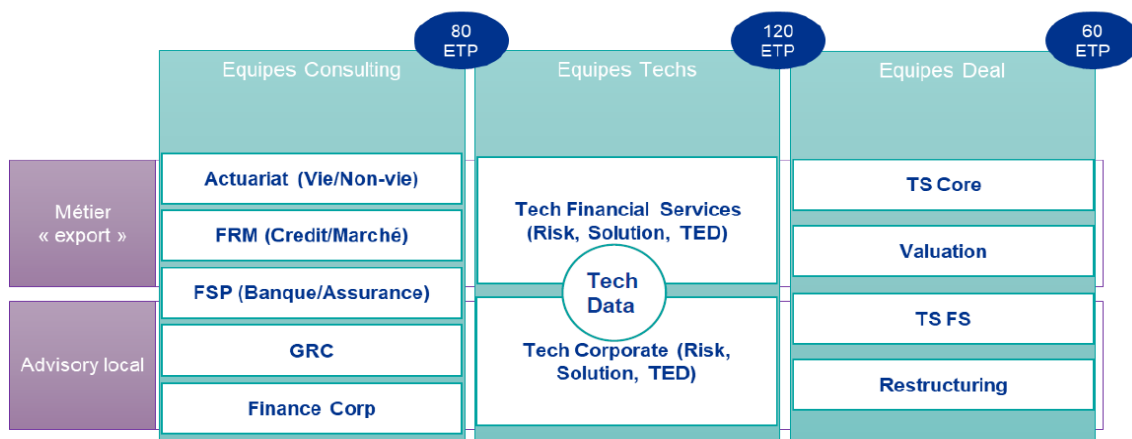


FIGURE A.1 – Organisation Advisory KPMG Maroc

En travaillant avec des clients dans le secteur de l'assurance, cette équipe utilise son expertise pour identifier, analyser et évaluer les risques liés à la souscription de polices d'assurance, ainsi que les risques financiers associés à l'investissement des primes des clients.

Elle peut être impliquée dans des projets tels que la mise en place de stratégies de gestion des risques, la mise en œuvre de systèmes de modélisation de risques, ou la réalisation de tests de résistance pour évaluer la capacité de l'entreprise à faire face à différents scénarios de risques.

Elle a pour missions :

- **IFRS17** : Mise en place des stratégies financières ainsi que la définition des méthodes actuarielles et l'implémentation de l'IFRS17 chez les assureurs.
- **Solvabilité 2** : Revue des modèles du calcul du SCR chez les assureurs.
- **Data science** : L'utilisation des données pour délivrer une analyse statistique aidant dans la gestion des risques.
- **Modélisation ALM**
- **Audit** : Validation des provisions dans le cadre aux commissariats des comptes.
- **Fusion-acquisition** : Valorisation de portefeuilles assurantiels
- **Revue et amélioration des processus actuariels métiers.**

## Code R de quelques fonctions utilisées

Pour réaliser des estimations importantes dans ce mémoire, il a été nécessaire de créer des fonctions spécifiques en utilisant le langage de programmation R.

### B.1 Code Newton Raphson

```
# Méthode de Newton-Raphson pour trouver la racine
newton_raphson <- function(x0, tol = 1e-6, max_iter = 10000) {
  x <- x0
  iter <- 0
  diff <- Inf
  while (diff > tol && iter < max_iter) {
    f_x <- fonction_racine(x)
    f_prime_x <- (fonction_racine(x + 1e-6) - f_x) / 1e-6 # Approximation de la dérivée
    x_new <- x - f_x / f_prime_x
    diff <- abs(x_new - x)
    x <- x_new
    iter <- iter + 1
  }
  if (iter >= max_iter) {
    warning("La méthode de Newton-Raphson n'a pas convergé.")
  }
  return(x)
}
x0 <- 0.9 # valeur initiale de x
tolerance <- 1e-6 # Tolérance pour la convergence
max_iterations <- 10000 # Nombre maximum d'itérations

# Appel de la méthode de Newton-Raphson pour trouver la racine
racine <- newton_raphson(x0, tol = tolerance, max_iter = max_iterations)
# Affichage de la racine trouvée
print(racine)
```

FIGURE B.1 – Code R pour exécuter la méthode Newton-Raphson

## B.2 Code d'exécution du processus ARMA sur les facteurs exogènes

```
# Convertir le vecteur en un objet de série temporelle
Lambda_ts <- ts(LambdaListe)

# Tracer la série temporelle
autoplot(Lambda_ts) + ggtitle("Série temporelle Lambda") + xlab("Temps") + ylab("Valeur")

# Ajuster le modèle ARIMA
Lambda_fit <- auto.arima(Lambda_ts)

checkresiduals(Lambda_fit)

# Ajuster le modèle ARIMA
Lambda_fit <- auto.arima(Lambda_ts)

# Prévoir les 17 prochains points (pour atteindre un total de 36)
Lambda_forecast <- forecast(Lambda_fit, h = 17)

# Imprimer la prévision
print(Lambda_forecast)
```

FIGURE B.2 – Code R pour visualiser l'estimation des facteurs exogènes par modèle ARMA

## Résultats prévisions des facteurs exogènes futures

	$\lambda_{k,IPC}$	$\lambda_{k,IPC^*}$	$\lambda_{k,IC^1}$	$\lambda_{k,IC^2}$
<b>19</b>	11362,08325	11250,14076	11489,14221	11390,75483
<b>20</b>	11576,10823	11454,26809	11718,54356	11609,52407
<b>21</b>	11794,16475	11662,09919	11952,52532	11832,49496
<b>22</b>	12016,32876	11873,70126	12191,17895	12059,7482
<b>23</b>	12242,67761	12089,14274	12434,59772	12291,36603
<b>24</b>	12473,29015	12308,49327	12682,87679	12527,43228
<b>25</b>	12708,24668	12531,8238	12936,11319	12768,03238
<b>26</b>	12947,62904	12759,20653	13194,40592	13013,25342
<b>27</b>	13191,52059	12990,71498	13457,85592	13263,18414
<b>28</b>	13440,00626	13226,42403	13726,56617	13517,91499
<b>29</b>	13693,17261	13466,40988	14000,64171	13777,53817
<b>30</b>	13951,10779	13710,75014	14280,18966	14042,14763
<b>31</b>	14213,90164	13959,5238	14565,31928	14311,83915
<b>32</b>	14481,64568	14212,81133	14856,14203	14586,71032
<b>33</b>	14754,43315	14470,69461	15152,77158	14866,86063
<b>34</b>	15032,35905	14733,25703	15455,32387	15152,39147
<b>35</b>	15315,52019	15000,5835	15763,91715	15443,40617
<b>36</b>	15604,01516	15272,76045	16078,67206	15740,01007

TABLE C.1 – Résultats d'estimation des  $\lambda_k$  par la méthode de maximum de vraisemblance

# Annexe **D**

## Régression Linéaire de l'IPC adapté

	Regression Linéaire	
<b>m</b>	1,25840702	-2442,386926
<b>se</b>	0,04447195	89,34448906
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0,97920998</b>	1,061753366
<b>R<sup>2</sup> multiple</b>	800,699994	17

Année	Indice IPC*	Année	Indice IPC*
<b>2019</b>	98,34	<b>2028</b>	109,66
<b>2020</b>	99,60	<b>2029</b>	110,92
<b>2021</b>	100,85	<b>2030</b>	112,18
<b>2022</b>	102,11	<b>2031</b>	113,44
<b>2023</b>	103,37	<b>2032</b>	114,70
<b>2024</b>	104,63	<b>2033</b>	115,95
<b>2025</b>	105,89	<b>2034</b>	117,21
<b>2026</b>	107,15	<b>2035</b>	118,47
<b>2027</b>	108,40	<b>2036</b>	119,73

TABLE D.1 – Paramètres de régression linéaire des facteurs exogènes en fonction des années