



المندوبية السامية للتخطيط  
HAUT-COMMISSARIAT AU PLAN

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



**Projet de Fin d'Etudes**

\*\*\*\*\*

# Tarification en assurance santé sous directive Solvabilité II

Préparé par : *Mlle Khadija BENNANI*  
*Mlle Oumaima ELKHOUDAoui*

Sous la direction de : *M. Fouad MARRI (INSEA)*  
*M. Ismail EL HADNI (La Marocaine Vie)*

*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 EL QALLI (INSEA)*
- *M. Ismail EL HADNI (La Marocaine Vie)*

**Juin 2016 / PFE N°4**



المندوبية السامية للتخطيط  
HAUT-COMMISSARIAT AU PLAN

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



**Projet de Fin d'Etudes**

\*\*\*\*\*

# **Tarification en assurance santé sous directive Solvabilité II**

Préparé par : *Mlle Khadija BENNANI*  
*Mlle Oumaima ELKHOUDAoui*

Sous la direction de : *M. Fouad MARRI (INSEA)*  
*M. Ismail EL HADNI (La Marocaine Vie)*

*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 EL QALLI (INSEA)*
- *M. Ismail EL HADNI (La Marocaine Vie)*

**Juin 2016/ PFE N°4**



## *Résumé :*

Le Maroc connaît une évolution en matière d'extension de la couverture médicale de base et d'amélioration de l'accès aux services de santé pour tout type de population. Les compagnies d'assurance privées se trouvent ainsi dans l'obligation de suivre les nécessités que leur impose ce marché à fort essor.

Pour sa part, La Marocaine Vie, compagnie d'assurance innovante sur le marché marocain, réserve une attention particulière à développer et améliorer les produits santé pour être à la hauteur d'une concurrence de plus en plus ardue entre les différents protagonistes du marché.

Le projet exposé dans ce qui suit s'inscrit dans cet esprit et vise l'élaboration d'outils de tarification et d'études de rentabilité de produits de santé déjà ou prochainement commercialisés par la compagnie.

A cet effet, il était essentiel de présenter le détail du portefeuille à tarifer ainsi que les différentes potentielles méthodes à utiliser. L'objectif étant, aussi et surtout, la mise en place de fichiers de tarification sous différentes méthodes avant de confronter les différents résultats obtenus.

Tout ceci se fera dans un souci constant de maintenir des seuils de rentabilité satisfaisants tout en respectant les différentes contraintes de solvabilité.

*Mots clés :* couverture médicale, tarification, étude de rentabilité, solvabilité

## *Dédicaces :*

*A nos très chers parents,*

Nous ne saurons trouver assez de mots pour vous exprimer l'estime, le dévouement et l'amour que nous vous portons.

Nous vous dédions ce modeste travail pour tous les sacrifices que vous avez consentis pour notre éducation et notre bien être et Dieu seul sait combien vous en avez faits. Qu'Allah le tout puissant vous donne longue vie et santé.

*A toutes les personnes qui nous sont chères,*

Qu'elles trouvent ici, le témoignage de tout notre amour et toute notre reconnaissance pour leur inlassable soutien.

Nous vous souhaitons une vie pleine de joie, de santé et de réussite.

*Khadija & Oumaima*

## *Remerciements :*

Nous ne pouvons commencer que par remercier Dieu de nous avoir donné la santé et de nous avoir permis de suivre ce chemin qui a fait de nous les personnes que nous sommes.

Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance à notre encadrant au sein de la compagnie La Marocaine Vie, Monsieur EL HADNI Ismail. Votre générosité, votre disponibilité, le caractère aimable avec lequel vous nous recevez toujours nous touchent sincèrement. Grâce à vous nous avons pu mener à bien ce travail. Ce travail est aussi le vôtre.

Nous saisissons l'occasion pour remercier spécialement M.ZAHLANE Faiçal pour son suivi et ses remarques constructives tout au long de cette période.

Notre reconnaissance va également à notre encadrant pédagogique, M. MARRI Fouad. Vos conseils et recommandations nous ont été d'une très grande utilité pour assurer le bon déroulement de notre stage et pour rédiger ce mémoire.

Merci à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la concrétisation de ce travail.

## *Introduction :*

*« Le changement est inévitable, contrairement au progrès. Celui-ci nécessite la réflexion, une bonne méthode, des décisions et finalement de l'action ».*

Dans un monde des affaires en perpétuel changement, les entreprises sont amenées de plus en plus à relever le défi de la performance et de la compétitivité et ce quel que soit le type d'environnement dans lequel elles évoluent afin d'assurer leur pérennité. L'internationalisation des marchés, l'émergence de nouvelles techniques de gestion, les goûts changeants du public, la concurrence grandissante et le climat de crise économique font que l'environnement des entreprises soit instable et turbulent.

Dans la même vision, le progrès des organismes assureurs passe par un besoin constant d'innover et de renouveler leurs produits et leurs tarifs afin de s'adapter aux comportements des assurés et aux nouveaux contextes réglementaires du marché de l'assurance. De plus, un bon tarif se doit de couvrir globalement le risque qu'affronte l'assureur, de couvrir ses charges et de garantir une rentabilité pérenne.

Concevoir un nouveau tarif permet non seulement d'attirer de nouveaux souscripteurs grâce à un tarif plus captivant mais aussi de se mettre au même niveau de la concurrence et de répondre aux besoins fluctuants du marché.

Au-delà du tarif, les assureurs sont amenés à examiner l'impact de la mise en vigueur de la nouvelle directive Solvabilité 2. Bien évidemment, les nouvelles exigences réglementaires en termes de capitaux propres et par conséquent de rentabilité ont un impact direct sur le tarif.

L'objectif de ce mémoire est, après la modélisation et la tarification de nos produits santé, de concevoir un nouveau montant de la cotisation sous les contraintes Solvabilité 2 tout en maintenant un seuil de rentabilité bien déterminé.

Dans un premier temps, nous allons mener une étude descriptive sur notre base de données afin de bien la maîtriser, la "nettoyer" et sans oublier de tester les différentes corrélations entre les variables. En effet, il est crucial d'enlever tout élément susceptible de biaiser l'étude, notamment en traitant les valeurs aberrantes, manquantes ou inexploitables, ainsi qu'en réalisant des études sur la corrélation des variables explicatives entre elles.

Après cette étape d'analyse de données, nous calculerons la prime pure selon deux approches toutes différentes l'une de l'autre. L'approche empirique « Fréquence  $\times$  Coût moyen » et l'approche dite stochastique par le biais des modèles linéaires généralisés.

Ensuite, nous procéderons à l'analyse de la rentabilité d'un portefeuille cible par l'intermédiaire de la construction de comptes de résultats prévisionnels et moyennant des hypothèses pré établies et bien encadrées sous les contraintes réglementaires de la directive Solvabilité 2.

Enfin, des stress tests seront menés pour évaluer la solidité de notre business plan face à des chocs variables appliqués au scénario central de base.

L'explication de chaque méthode avec la démarche à effectuer sera soigneusement justifiée au fur et à mesure. Des illustrations et exemples viendront aussi apporter plus de clarté.

## *Table des matières :*

<i>Résumé :</i> .....	<b>4</b>
<i>Introduction :</i> .....	<b>7</b>
<i>Liste des abréviations :</i> .....	<b>13</b>
<i>Liste des figures :</i> .....	<b>14</b>
<i>Liste des tableaux:</i> .....	<b>14</b>
<i>Chapitre 1: Présentation de la Marocaine vie</i> .....	<b>16</b>
1 .Les produits de La Marocaine Vie.....	<b>16</b>
2.Chiffres clés : .....	<b>17</b>
<i>Chapitre 2: Présentation de l'assurance santé au Maroc</i> .....	<b>18</b>
I- Les acteurs de l'assurance santé au Maroc : .....	<b>18</b>
I-1. Assurance Maladie Obligatoire : .....	<b>18</b>
I-2. Assurances privées: .....	<b>19</b>
II-Les prestations garanties en assurance santé:.....	<b>20</b>
Conclusion : .....	<b>21</b>
<i>Chapitre 3: Présentation des Produits</i> .....	<b>22</b>
I- Assurance Santé "MHM".....	<b>22</b>
1-1.Présentation du produit.....	<b>22</b>
1-2.Caractéristiques du produit : .....	<b>22</b>
II- Assurance Hospitalisation Internationale .....	<b>24</b>
II-1.Présentation du produit.....	<b>24</b>
II-2.Caractéristiques du produit.....	<b>25</b>
<i>Chapitre 4: Portefeuille &amp; Analyse de données</i> .....	<b>26</b>
Introduction :.....	<b>26</b>
I- Les données utilisées :.....	<b>26</b>
I-1. La présentation des données : .....	<b>26</b>
I-2. La structure des fichiers utilisés : .....	<b>26</b>
1) Le fichier « Contrats » : .....	<b>26</b>
2 )Le fichier « Bénéficiaires » : .....	<b>27</b>
3) Le fichier « Sinistres par acte » : .....	<b>27</b>
I-3. La constitution de la base de données : .....	<b>28</b>
1) Purification de la base de données: .....	<b>28</b>
2) La création des variables : .....	<b>29</b>
I-4. Présentation des principaux risques santé dans le portefeuille : .....	<b>29</b>
I-5. Regroupement des actes médicaux : .....	<b>30</b>
II-Statistiques descriptives sur le portefeuille: .....	<b>32</b>

II-1. Description de la base « bénéficiaires » : .....	32
II-2. Description de la base « Sinistres par acte » : .....	34
<b>III- Analyse multidimensionnelle : .....</b>	<b>38</b>
III-1. Analyse des Correspondances Multiples (ACM).....	38
III-2. Représentation des résultats .....	39
<b>Conclusion : .....</b>	<b>41</b>
<b>Chapitre 5: Tarification empirique du produit MAM.....</b>	<b>42</b>
<b>Introduction :.....</b>	<b>42</b>
<b>I-Principe de tarification empirique : .....</b>	<b>42</b>
I-1. Coût moyen par acte : .....	43
I-2. Fréquence par acte .....	43
I-3. Prime pure : .....	43
<b>II-Application: .....</b>	<b>44</b>
<b>Conclusion : .....</b>	<b>48</b>
<b>Chapitre 6: Modèles Linéaires Généralisés (MLG).....</b>	<b>49</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>49</b>
<b>I-Ecrêtement des coûts:.....</b>	<b>49</b>
I-1. Seuil d'écrêtement : .....	50
I-2. Mutualisation de la sur-crête .....	50
I-3. Application de l'écrêtement sur les différents postes : .....	50
1) Quantile 90%.....	50
2) Q-Q plot de la charge avant écrêtement : .....	52
3) Courbe de Lorenz : .....	53
4) Résultats de l'écrêtement : .....	54
<b>II- Segmentation des variables tarifaires .....</b>	<b>55</b>
II-1. Principe de la méthode de classification CHAID: .....	55
II-2. Application au poste « Pharmacie » : .....	56
1) Segmentation du coût moyen : .....	56
2) Segmentation de la fréquence : .....	58
<b>III- Modélisation du coût moyen et de la fréquence.....</b>	<b>58</b>
IV-1. Présentation des modèles linéaires généralisés : .....	58
III-2. Résultats des modèles linéaires généralisés pour les différents postes : .....	62
1) Poste « pharmacie » : .....	62
2) Poste « Maternité » : .....	71
<b>Conclusion : .....</b>	<b>78</b>
<b>Chapitre 7: Tarification d'un produit d'hospitalisation à l'international.....</b>	<b>79</b>
<b>Introduction :.....</b>	<b>79</b>
<b>I-Conception de la base de données (collecte des données): .....</b>	<b>79</b>
<b>II-Tarification du produit HI.....</b>	<b>81</b>
1) Fréquence du produit HI : .....	81

2) Coût moyen du produit HI : .....	82
3) Tarif du produit HI : .....	83
II-2. Mise en œuvre : .....	84
<b>Conclusion : .....</b>	<b>90</b>
<b><i>Chapitre 8: Solvabilité 2, Capital réglementaire et Rentabilité.....</i></b>	<b>91</b>
<b><i>Introduction :.....</i></b>	<b>91</b>
<b><i>I- De Solvabilité I à Solvabilité II :.....</i></b>	<b>91</b>
I-1.Critique de solvabilité 1 : .....	91
I-2.Les objectifs de la solvabilité 2 : .....	92
<b><i>II-La Directive Solvabilité II :.....</i></b>	<b>92</b>
<b><i>III-Le risque santé : Classification Santé SLT / Santé non SLT.....</i></b>	<b>93</b>
<b><i>IV-Les provisions techniques:.....</i></b>	<b>94</b>
IV-1.Le Best Estimate : .....	94
IV-2.La Marge de risque : .....	95
<b><i>V- Les capitaux requis.....</i></b>	<b>95</b>
V-1.Le Minimum de Capital Requis(MCR) .....	95
V-2.Solvency Capital Requirement(SCR).....	95
V-3.Calcul du SCR santé Non- SLT:.....	96
<b><i>VII-Etude de rentabilité : .....</i></b>	<b>98</b>
<b><i>VIII-Mise en œuvre : .....</i></b>	<b>98</b>
VIII-1.Construction préliminaire du compte de résultats prévisionnel.....	98
1) Définition du compte de résultats prévisionnel .....	98
2) Calcul de la prime annuelle moyenne : .....	99
3) Calcul de la sinistralité : .....	100
4) Hypothèses du scénario central de prévision : .....	101
5) Evaluation déterministe du compte résultat prévisionnel .....	101
VIII-2.Construction stochastique de comptes résultats prospectifs:.....	106
1) Analyse des scenarii probables : .....	106
2) Résultats de la simulation .....	111
3) Rentabilité du produit HI : .....	114
VIII-3.Simulateur de compte résultat choqué : .....	115
1) Principe de simulation : .....	115
2) Application : .....	118
VIII-4.Confrontation des résultats .....	121
<b><i>Conclusion : .....</i></b>	<b>122</b>
<b><i>Conclusion générale:.....</i></b>	<b>123</b>
<b><i>Bibliographie.....</i></b>	<b>125</b>
<b><i>Webographie.....</i></b>	<b>125</b>
<b><i>Liste des Annexes :.....</i></b>	<b>126</b>
<b><i>Annexe 1 : Théorie de l'ACM.....</i></b>	<b>126</b>

<i>Annexe 2 : Segmentation de la variable âge pour chaque poste médical.....</i>	<b>128</b>
<i>Annexe 3 : GLM.....</i>	<b>135</b>
<i>Annexe 4 : Grilles tarifaires des postes médicaux.....</i>	<b>146</b>
<i>Annexe 5 : Démonstration de la formule standard du calcul du SCR Santé Non-SLT.....</i>	<b>147</b>

## *Liste des abréviations :*

ACM : Analyse des Correspondances Multiples

ACP : Analyse des Correspondances Principales

AFC : Analyse Factorielle des Correspondances

AIC : Akaike Information Criterion

ALC : Affection à Longue Durée et Couteuse

ALD : Affection à Longue Durée

BAM: Bank AL Maghrib

BIC : Bayesien Information Criterion

CM : Cout Moyen

CNSS : Caisse Nationale de Sécurité Sociale

IRWLS: Iteratively Reweighted Least Squares

IS: Impôt sur les Sociétés

LMV:La Marocaine Vie

LoB : Line of Business

MCR : Minimum Capital Requirement

MLG : modèle linéaire généralisé

Moy : Moyenne

PP : Prime Pure

PSAP : Provisions Pour Sinistres à Payer

QIS : Quantitative Impact Studies

RN/R: Ratio Résultat net/Risque

ROE: Return On Equity

SCR: Solvency Capital Requirement

TTC : Toute Taxe Comprise

TVA : Taxe à la Valeur Ajoutée

VaR : Value at Risk

## Liste des figures

Figure 1: Pourcentage des primes émises en assurance non vie .....	19
Figure 2: Pourcentage des primes émises hors branche automobile .....	20
Figure 3: Formules du produit Hospitalisation Internationale .....	25
Figure 4 : Répartition des assurés selon le type de bénéficiaires .....	33
Figure 5: Répartition des assurés principaux selon le sexe .....	33
Figure 6: Répartition des sinistres par type de bénéficiaire .....	34
Figure 7: Répartition des sinistres par sexe .....	35
Figure 8: Répartition des montants de remboursement par sexe .....	36
Figure 9: Répartition des montants remboursés par poste médical .....	37
Figure 10: Projection des variables explicatives sur le premier plan factoriel .....	40
Figure 11: Q-Q plot de la loi Gamma .....	52
Figure 12: Q-Q plot de la loi normale .....	53
Figure 13: Courbe de Lorenz du coût moyen .....	54
Figure 14: Arbre de segmentation de l'âge selon la fréquence .....	57
Figure 15: Arbre de segmentation de l'âge selon le coût moyen .....	57
Figure 16: Comparaison du bilan sous les normes Solvabilité 1 et 2 .....	93
Figure 17: Cartographie des risques sous Solvabilité 2 .....	94
Figure 18: Evolution du BE des PSAP et du SCR .....	105
Figure 19: Evolution des indices de rentabilité .....	106
Figure 20: Evolution des provisions en BE et du SCR santé non vie .....	114
Figure 21: Evolution de l'indice de rentabilité RN/R .....	115

## Liste des tableaux

Tableau 1: Caractéristiques du produit MHM .....	22
Tableau 2: Garanties du produit MHM .....	23
Tableau 3: Regroupement des actes médicaux par poste .....	31
Tableau 4: Répartition des assurés selon la variable type bénéficiaire .....	32
Tableau 5: Effectif des assurés principaux par sexe .....	33
Tableau 6: Nombre de sinistres selon le type de bénéficiaire .....	34
Tableau 7: Nombre de sinistres par sexe et par exercice .....	35
Tableau 8 : Montant remboursé par exercice et par sexe .....	35
Tableau 9: Montant remboursé par exercice et type bénéficiaire pour la Gamme <i>Mass Market</i> .....	36
Tableau 10: Montant remboursé par type de bénéficiaire et exercice pour la <i>Moyenne Gamme</i> .....	36
Tableau 11: Montant remboursé par type de bénéficiaire et exercice pour la <i>haute Gamme</i> .....	37
Tableau 12: Montant de remboursement par Gamme de produit .....	38
Tableau 13: Coût moyen par type d'acte medical .....	44
Tableau 14: Fréquence par type d'acte medical .....	45
Tableau 15: Grille tarifaire .....	46
Tableau 16: Tarif <i>Mass Market</i> .....	48
Tableau 17: Tarif <i>Moyenne Gamme</i> .....	48

Tableau 18:Tarif Haute Gamme .....	48
Tableau 19:Seuil d'écrêtement pour chaque poste médical .....	54
Tableau 20:Codification des tranches d'âge par coût moyen .....	56
Tableau 21:Codification des tranches d'âge par fréquence .....	58
Tableau 22:Fonctions de lien canonique .....	60
Tableau 23:Coefficient du modèle du coût moyen.....	71
Tableau 24:Coefficient du modèle de fréquence.....	71
Tableau 25:Tarifs du poste Pharmacie .....	71
Tableau 26:Probabilité d'accouchement type césarienne .....	74
Tableau 27:Probabilité d'accouchement type normal.....	75
Tableau 28:Coût moyen "Maternité" .....	75
Tableau 29:Fréquence "Maternité".....	77
Tableau 30:Prime Pure du poste Maternité .....	78
Tableau 31:Frais des soins médicaux en Europe.....	80
Tableau 32:Frais des soins médicaux USA et RDM.....	80
Tableau 33:Taux de change.....	80
Tableau 34:Poids des actes médicaux .....	82
Tableau 35:Signification des Poids .....	83
Tableau 36:Fréquence annuelle Maroc par tranche d'âge .....	84
Tableau 37:Fréquence annuelle étranger par tranche d'âge.....	85
Tableau 38:Coût moyen annuel Maroc par tranche d'âge .....	86
Tableau 39:Fréquence moyenne Maroc .....	86
Tableau 40:Fréquence moyenne étranger.....	86
Tableau 41:Coût moyen Maroc .....	87
Tableau 42:Prime pure Maroc .....	87
Tableau 43:Tarifs Haute Gamme* .....	89
Tableau 44:Tarifs Haute Gamme .....	89
Tableau 45:Tarifs Moyenne Gamme.....	90
Tableau 46:Les 3 piliers de la directive Solvabilité 2 .....	92
Tableau 48:% d'assuré par franchise .....	99
Tableau 49:Statistiques assurance santé pour produits similaires .....	100
Tableau 50:Compte résultat détaillé.....	102

## *Chapitre 1: Présentation de la Marocaine vie*

Considérée comme le 3ème assureur vie et seule compagnie d'Assurances et de Réassurances spécialisée dans les branches d'assurance de personnes, La Marocaine Vie est présente sur le marché marocain depuis plus de 38 années.

Après avoir été acquise par le Groupe Société Générale en 2001, la Marocaine Vie s'est fixé comme objectif le développement de la bancassurance à travers les réseaux et les filiales de la Société Générale au Maroc. Ainsi une gamme de produits de bancassurance a été mise en place. Il s'agit de Vital Retraite, Vital Education, Vital Protection et Vital Hospitalisation.

En 2007, la Marocaine Vie a lancé les premiers contrats multi-supports en unités de compte avec la Société Générale.

L'année 2010, La Marocaine Vie a lancé «Retraite Multi support Entreprise». Il s'agit d'une solution d'assurance complémentaire collective destinée aux entreprises.

Parmi les valeurs essentielles fixées par la Marocaine Vie nous trouvons :

- ✓ Le professionnalisme : Cette caractéristique est renforcée par le développement du savoir faire et de l'échange de l'expérience.
- ✓ L'esprit d'équipe : Le partage du savoir et du savoir faire est l'une des caractéristiques du travail en groupe qui permet d'aboutir à un travail efficace et par suite une amélioration remarquable des prestations.
- ✓ L'innovation : La marocaine vie essaye d'inventer de nouveaux produits et de nouveaux services qui répondent aux besoins de sa clientèle et attirent des nouveaux adhérents.
- ✓ L'engagement : La satisfaction de nos clients est au cœur de nos préoccupations et nous œuvrons pour que notre qualité de service soit irréprochable.

### *1 .Les produits de La Marocaine Vie*

La Marocaine Vie met à la disposition de ses clients une gamme élargie de produits, en matière d'assurance individuelle et collective, qui répond à leurs besoins.

La distribution de ces produits s'effectue principalement via : Réseau Société Générale Maroc, Eqdom, courtiers d'assurance et directement par La Marocaine Vie.

Ainsi nous trouvons deux grandes catégories de produits :

- Des produits aux particuliers

L'épargne retraite individuelle, en dirhams ou en unités de compte, qui permet de compléter une pension retraite de base tout en bénéficiant d'incitations fiscales.

L'épargne assurance vie individuelle, en dirhams ou en unités de compte, pour la constitution d'une épargne projet ou de prévoyance dans un cadre fiscal avantageux.

L'épargne éducation pour préparer l'avenir des enfants des assurés.

La prévoyance individuelle et l'assurance des emprunteurs.

L'assurance maladie et hospitalisation.

➤ Des produits aux entreprises

L'épargne retraite collective, en dirhams ou en unités de compte, qui permet de faire bénéficier certains salariés d'une rémunération complémentaire différée en dirhams ou en unités de compte (accès au marché financier).

Solutions d'externalisation du passif social (aux normes IFRS).

Refinancement du compte courant d'associés.

Prévoyance groupe

## ***2. Chiffres clés :***

Création : 1978

Chiffre d'affaire : 1,36 milliards de dirhams

Part de marché : 12,1%

Actionnariat : 74% SOGECAP ; 26% SGMA

Effectif : 174 collaborateurs

## *Chapitre 2: Présentation de l'assurance santé au Maroc*

L'assurance santé fait, par définition, partie des assurances de personnes. Une assurance santé a pour but de préserver l'assuré contre les risques liés à la maladie ou, plus précisément, contre tous les événements entraînant une intervention médicale.

Dans le cas où une intervention médicale est nécessaire (qu'il s'agisse d'un acte médical ou d'une simple consultation), les charges de santé liées à cette intervention (règlement des soins effectués, règlement des honoraires du médecin, etc.) sont partagées entre le patient et son assureur.

### *I- Les acteurs de l'assurance santé au Maroc :*

#### **I-1. Assurance Maladie Obligatoire :**

Entrée en vigueur le 1er mars 2006, l'Assurance maladie obligatoire (AMO) est plus qu'un simple service d'assurance. C'est tout un engagement étatique qui garanti aux citoyens l'un des droits les plus élémentaires : l'accès aux soins de santé. Le financement des prestations de soins de santé est fondé sur les principes de la solidarité et de l'équité, afin de garantir à l'ensemble de la population du Royaume l'accès aux dites prestations. A cette fin, il est institué un système de couverture médicale, de base comprenant l'assurance maladie obligatoire de base (AMO) et le régime d'assistance médicale (RAMED). L'assurance maladie obligatoire de base est fondée sur le principe contributif et sur celui de la mutualisation des risques. Le régime d'assistance médicale est fondé sur le principe de la solidarité nationale au profit de la population démunie. Les personnes assurées dans ce cadre et les bénéficiaires doivent être couverts sans discrimination aucune due à l'âge, au sexe, à la nature de l'activité, au niveau et à la nature de leur revenu, à leurs antécédents pathologiques ou à leurs zones de résidence. L'assurance maladie obligatoire de base s'applique:

- aux fonctionnaires et agents de l'Etat, des collectivités locales, des établissements publics et des personnes morales de droit public.
- aux personnes assujetties au régime de sécurité sociale en vigueur dans le secteur privé.
- aux titulaires de pension des deux secteurs public et privé.
- aux travailleurs indépendants, aux personnes exerçant une profession libérale et à toutes autres personnes exerçant une activité non salariée.

L'assurance maladie obligatoire de base s'applique également, aux anciens résistants et membres de l'armée de libération et aux étudiants de l'enseignement supérieur public et privé. Les règles régissant les régimes d'assurance maladie obligatoire de base propres aux étudiants, aux travailleurs indépendants, aux personnes exerçant une profession libérale et à toutes autres activités non salariées, seront définies par des législations particulières. Sont également fixées par une législation particulière les règles et conditions en vertu desquelles les anciens résistants et membres de l'armée de libération peuvent bénéficier du régime d'assurance maladie obligatoire de base dans la mesure où ils n'en bénéficient pas à un autre titre.

### I-2. Assurances privées:

Les assureurs marocains privés dont La Marocaine Vie proposent aussi différents types d'assurances maladie. Certaines peuvent être de base pour les populations non couvertes par l'AMO ou désirantes de bénéficier de garanties supplémentaires ou de taux de remboursement plus importants.

D'autres sont destinées à être complémentaires à l'AMO ou à toute autre assurance de base.

L'assurance santé constitue, comme le montre le graphe ci-dessous, à elle seule un poids de 14% du total des primes émises non vie au Maroc en 2015:

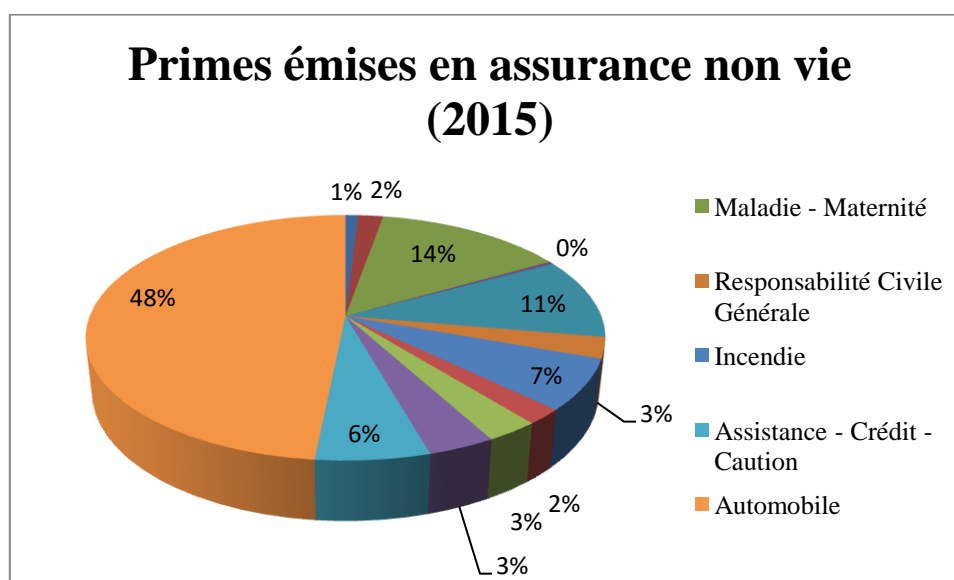


Figure 1: Pourcentage des primes émises en assurance non vie

En retirant l'assurance automobile, ce taux passe à 27% d'où l'importance qu'octroie le marché de l'assurance à cette branche particulière :

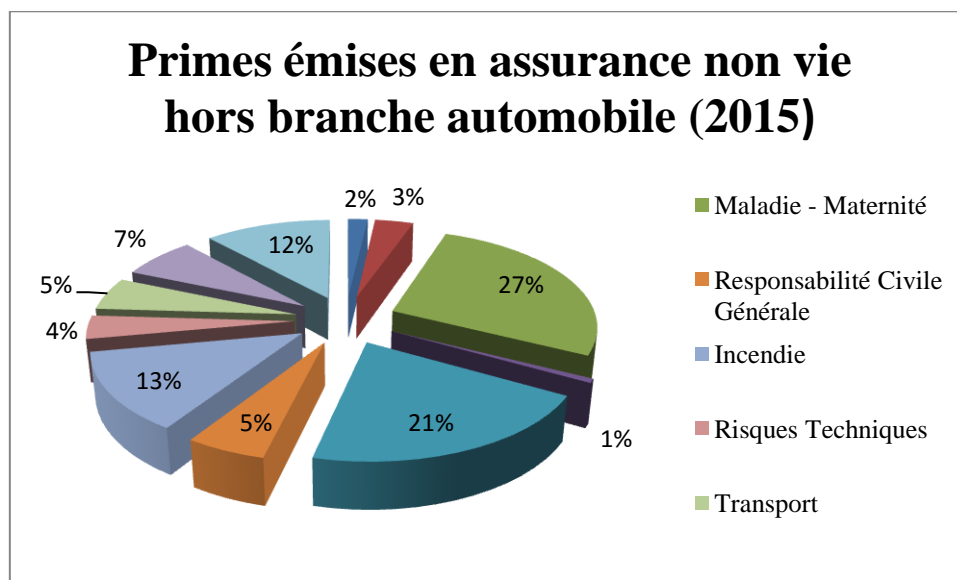


Figure 2: Pourcentage des primes émises hors branche automobile

### *II- Les prestations garanties en assurance santé:*

L'assurance maladie de base garantit pour les assurés et les membres de leur famille à charge, la couverture des risques et frais de soins de santé inhérents à la maladie ou l'accident, à la maternité et à la réhabilitation physique et fonctionnelle. Les risques liés aux accidents du travail et maladies professionnelles demeurent régis par la législation et la réglementation les concernant. L'assurance maladie de base donne droit, dans les conditions et selon les modalités fixées par voie réglementaire, au remboursement et éventuellement à la prise en charge directe des frais de soins curatifs, préventifs et de réhabilitation médicalement requis par l'état de santé du bénéficiaire et afférents aux prestations suivantes:

- Soins préventifs et curatifs.
- Actes de médecine générale et de spécialités médicales et chirurgicales.
- Soins relatifs au suivi de la grossesse, à l'accouchement et ses suites.
- Soins liés à l'hospitalisation et aux interventions chirurgicales y compris les actes de chirurgie réparatrice.
- Analyses de biologie médicale.
- Radiologie et imagerie médicale.

- Explorations fonctionnelles.
- Médicaments admis au remboursement.
- Poches de sang humain et dérivés sanguins.
- Dispositifs médicaux et implants nécessaires aux différents actes médicaux et chirurgicaux compte tenu de la nature de la maladie ou de l'accident et du type de dispositifs ou d'implants.
- Appareils de prothèse et d'orthèse médicales admis au remboursement.
- Lunetterie médicale.
- Soins bucco-dentaires.
- Orthodontie pour les enfants.
- Actes de rééducation fonctionnelle et de kinésithérapie.
- Actes paramédicaux.

En plus de ces garanties, certains assureurs proposent des formules qui englobent des prestations supplémentaires telles que :

- Une prime de maternité ou un forfait naissance.
- Un forfait pour les cures thermales.
- Un forfait obsèques

### ***Conclusion :***

Ce chapitre nous a permis de comprendre les enjeux du secteur de l'assurance santé au Maroc, contexte générale de notre projet, et de mieux connaître ses principaux acteurs.

## Chapitre 3 : Présentation des Produits

### I- Assurance Santé "MHM"

#### 1-1.Présentation du produit

La compagnie a lancé depuis 2011 sur le marché marocain son offre santé individuelle de base appelée sur le rapport "MHM" pour Maladie, Hospitalisation et Maternité destinée essentiellement aux professions libérales, travailleurs indépendants, artisans, commerçants, et leurs familles.

Cette offre couvre au premier dirham les dépenses de santé (Maladie – Hospitalisation – Maternité) des assurés et est adaptée aux besoins et au budget de chacun.

La Marocaine Vie a décliné l'offre « MHM» en 3 formules selon la cible à laquelle elle s'adresse. Ces trois formules garantissent une couverture au Maroc et se différencient par le taux de remboursement proposé.

#### 1-2.Caractéristiques du produit :

Le tableau suivant résume les caractéristiques de chaque formule :

Tableau 1:Caracteristiques du produit MHM

Produit	Caractéristiques
Haute gamme	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Taux de remboursement : 90% pour les soins ambulatoires et 100% pour les hospitalisations et les interventions chirurgicales.</li><li>➤ Plafond : 150 000 MAD/assuré/an.</li></ul>
Moyenne gamme	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Taux de remboursement : 80% pour les soins ambulatoires et 90% pour les hospitalisations et les interventions chirurgicales.</li><li>➤ Plafond : 60 000 MAD/assuré/an.</li></ul>
Mass Market <sup>1</sup>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Taux de remboursement : 70% pour les soins ambulatoires et 80% pour les hospitalisations et les interventions chirurgicales.</li><li>• Plafond : 30 000 MAD/assuré/an.</li></ul>

<sup>1</sup> Mass Market : Marché de masse

De plus, cette assurance offre la possibilité d'y adhérer même en cas de maladie antérieure notamment les ALD<sup>2</sup> et les ALC<sup>3</sup>.

Hormis le plafond global prévu pour chaque formule, certaines prestations sont maîtrisées via des sous-plafonds particuliers.

Le tableau ci-dessous résume les prestations garanties par le produit ainsi que les différents plafonds y afférents :

**Tableau 2: Garanties du produit MHM**

<b>Barème de remboursement et plafonds</b>	<b>Mass Market</b>	<b>Moyenne Gamme</b>	<b>Haute gamme</b>
<b>Soins ambulatoires</b>	70% des frais engagés	80% des frais engagés	90% des frais engagés
<b>Soins dentaires</b>	70% des frais engagés uniquement pour les soins liés aux ALD et ALC	80% des frais engagés / sans dépasser le plafond annuel par assuré de 1000 DH	90% des frais engagés / sans dépasser le plafond annuel par assuré de 2000 DH
<b>Prothèses dentaires</b>	70% des frais engagés uniquement pour les soins liés aux ALD et ALC	80% des frais engagés / sans dépasser le plafond annuel par assuré de 2500 DH	90% des frais engagés / sans dépasser le plafond annuel par assuré de 4000 DH
<b>Orthodontie</b>	Non pris en charge	Non pris en charge	90% des frais engagés/sans dépasser le plafond annuel par assuré de 4000 DH
<b>Optique</b>	70% des frais engagés uniquement pour les soins liés aux ALD et ALC	80% des frais engagés/ sans dépasser le plafond annuel par assuré de 1000 DH	90% des frais engagés sans dépasser le plafond annuel par assuré de 2000 DH
<b>Hospitalisation</b>	80% des Frais engagés	90% des Frais engagés	100% des Frais engagés
<b>Plafond Annuel par Assuré</b>	30 000 DH	60 000 DH	150 000 DH

<sup>2</sup> ALD : Les affections de longue durée sont des maladies présentant un caractère grave et/ou chronique qui nécessitent des soins réguliers s'étalant sur une durée de 6 mois minimum. Les soins et traitements entraînent la plupart du temps des frais importants difficilement supportables pour le patient.

<sup>3</sup> ALC : les affections à longue durée et coûteuses sont des maladies qui nécessitent une hospitalisation chirurgicale ou médicale ou des soins ou traitements de longue durée, d'un coût élevé.

## *II- Assurance Hospitalisation Internationale*

### **II-1.Présentation du produit**

L'entrée sur le marché marocain de prestataires, spécialisés en gestion de dossiers santé et du mode tiers payant, a ouvert l'opportunité aux assureurs marocains de proposer des produits d'hospitalisation à l'international. Ces plateformes de gestion offrent un accompagnement (indispensable pour la commercialisation de ce type de produit) en matière d'acceptation et de gestion de sinistres à l'international tout en évitant les réglementations en matière de change.

Cette ouverture a insufflé une dynamique qui se manifeste dans l'évolution remarquée des offres proposées sur le marché.

De ce fait, La Marocaine Vie s'est trouvée dans la nécessité d'accompagner cette évolution par le lancement en 2016 d'une offre d'assurance hospitalisation à l'international mais aussi au niveau local.

L'offre produit proposée devrait susciter le besoin des clients bonne gamme, haute gamme et patrimoniaux. En effet, les différents besoins santé identifiés de cette clientèle sont :

- Profiter d'une prise en charge des hospitalisations partout dans le monde ;
- Bénéficier de plafonds de couverture élevés ;
- Obtenir un traitement médical de haut niveau ;
- Bénéficier d'un système de prise en charge en tiers payant : paiement direct des dépenses aux prestataires de services médicaux sans contraintes de change ;
- Avoir accès à une assurance santé à vie.

Ce produit offre aussi d'autres avantages aux clients assurés :

- Prestations d'assistance, de médecine de ville et de maternité à l'international selon la formule choisie ;
- Délais de carence réduits.
- Paiement au 1<sup>er</sup> dirham pour les hospitalisations au Maroc : Pas de franchise au Maroc.

## II-2. Caractéristiques du produit

Deux formules et une option sont proposées avec des prestations, une territorialité et des plafonds différents pour s'adapter aux besoins de chaque cible :

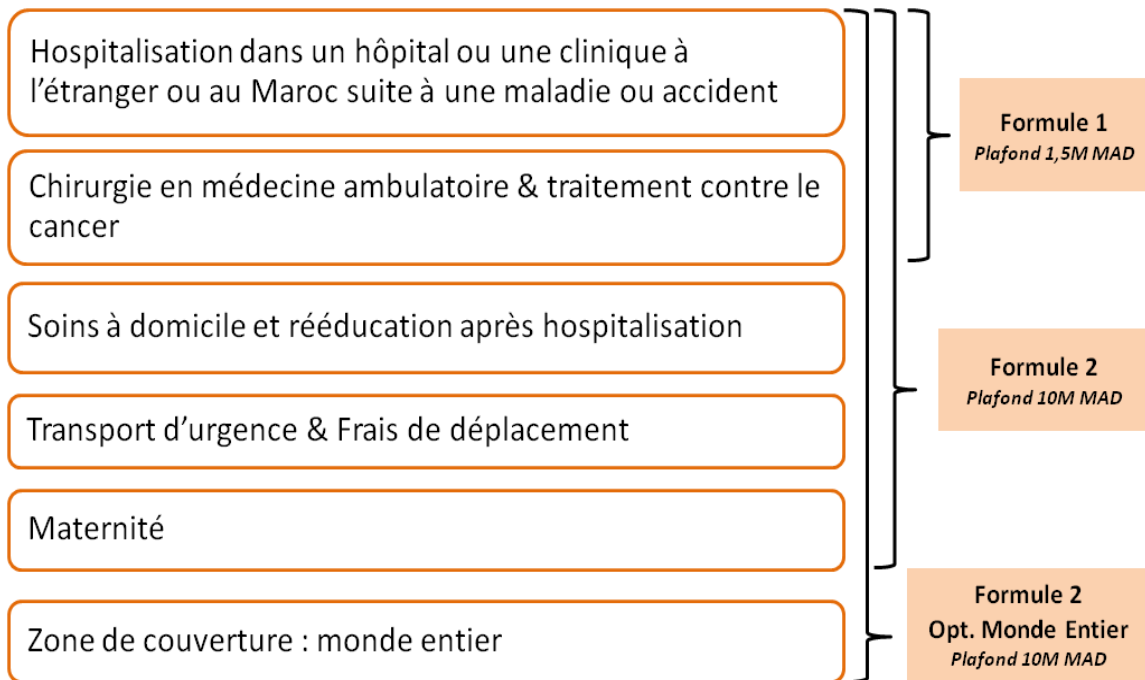


Figure 3: Formules du produit Hospitalisation Internationale

Les clients peuvent bénéficier du contrat sans aucune franchise ou encore choisir entre une franchise de 5 000 DH ou 10 000 DH.

Les détenteurs de "MHM" ont plus de choix à travers un niveau supplémentaire de franchise : 30 000 DH.

## Chapitre4 : Portefeuille & Analyse de données

### **Introduction :**

Etablir un tarif, nécessite d'abord et avant tout une bonne connaissance de la population couverte, et notamment d'identifier la population consommatrice et celle exposée au risque.

Dans cette perspective, la phase d'analyse et épuration de la base de données est qualifiée de cruciale pour l'élaboration du tarif.

L'objectif de ce chapitre sera donc le traitement et l'analyse des données du portefeuille santé relatif au produit MHM.

Dans un premier temps, nous allons exhiber les différentes informations relatives au portefeuille santé étudié. Ensuite, nous listerons les multiples traitements effectués sur la base de données avant de définir les différentes postes santé. Finalement, une étude de corrélation entre les variables explicatives clôturera ce chapitre.

### **I- Les données utilisées :**

#### **I-1. La présentation des données :**

Les données utilisées se divisent en 3 bases : La base « Contrats » relative aux contrats souscrits par la population assurée, la base « Bénéficiaires » qui contient les informations spécifiques à chaque assuré de la population étudiée, puis la base « Sinistres par acte » portant sur l'ensemble des prestations médicales dont ont bénéficiées ces mêmes assurés.

Les fichiers initiaux concernent les effectifs sur les exercices 2011 à 2016 et les prestations médicales relatives à une partie de l'exercice 2012 (car le produit n'a intégré le marché qu'en fin 2011) jusqu'en 2016.

Il est à signaler que la base de données, support de notre travail, est individuelle.

#### **I-2. La structure des fichiers utilisés :**

##### **1) Le fichier « Contrats » :**

Recense toutes les informations sur les contrats souscrits pour chaque assuré principal. Entre autres, nous retrouvons les variables suivantes :

- ✓ Numéro du contrat.
- ✓ La date d'effet du contrat.

- ✓ La date d'annulation du contrat.
- ✓ Le type d'annulation du contrat.
- ✓ Le type du produit : *Haute gamme, Moyenne gamme, Mass Market.*
- ✓ Le code du produit.
- ✓ La profession de l'assuré, son sexe et sa date de naissance.

Il est à noter que la catégorie socioprofessionnelle n'est renseignée que très partiellement et de manière très hétérogène. En effet la majorité des contrats ne font pas la distinction entre les cadres et non cadres. Au final, à peine 20 % des champs de la catégorie socioprofessionnelle sont correctement renseignés.

Cette variable ne pourra donc pas être exploitée par la suite, c'est pourquoi nous décidons de ne pas en tenir compte.

## 2 )Le fichier « Bénéficiaires » :

Ce fichier concerne les informations relatives à l'ensemble des assurés et bénéficiaires des principaux contrats proposés par l'assureur.

- ✓ L'identifiant du bénéficiaire : unique pour chaque personne bénéficiant de la couverture. Ce numéro est le même que celui de l'assuré lorsque le bénéficiaire et l'assuré principal sont confondus
- ✓ Le numéro du contrat
- ✓ La date de début du contrat
- ✓ La date de sortie du contrat : qui prend une valeur manquante si le contrat est toujours en vigueur
- ✓ Le code du produit
- ✓ La date de naissance du bénéficiaire
- ✓ Le sexe du bénéficiaire
- ✓ Le type du bénéficiaire : c'est-à-dire s'il est lui-même l'assuré, le conjoint ou un enfant, A : Assuré principal , C: Conjoint, E : Enfant

## 3) Le fichier « Sinistres par acte » :

Ce fichier concerne les frais engagés par les assurés et les prestations réglées par LMV pour la population présente dans le fichier des effectifs « Bénéficiaires ».

Cette base comporte la consommation pour chaque bénéficiaire, pour chaque type d'acte et pour les années de survenance 2012, 2013,2014 et 2015.Entre autres, nous retrouvons les variables suivantes jugées pertinentes à notre étude :

- ✓ Identifiant du bénéficiaire
- ✓ Le libellé d'acte : Le libellé de l'acte pratiqué, associé à chaque bénéficiaire, qui fournit de manière plus explicite la nature de l'acte
- ✓ Le numéro du dossier bénéficiaire de la prestation médicale
- ✓ La date d'ouverture du dossier
- ✓ La date d'information
- ✓ La date de survenance
- ✓ Le montant des frais réels engagés pour la prestation médicale
- ✓ La base de remboursement
- ✓ Les nombres d'unités qui correspondent à la prestation
- ✓ Le taux de remboursement
- ✓ Le montant remboursé
- ✓ Les frais non remboursés

### I-3. La constitution de la base de données :

#### 1) Purification de la base de données:

Notre base de données paraît intéressante, puisqu'elle nous permet d'avoir des statistiques individuelles sur toutes les caractéristiques des assurés et ceci sur plusieurs années. Nonobstant, elle demeure brute avec des données qui peuvent être erronées, incomplètes ou obsolètes. Il est donc primordial de purifier notre base de données et de se pencher sur sa constitution pour arriver à un tarif correct.

Les données présentées ci-dessus ont été retraitées en modifiant ou en supprimant plusieurs lignes qui comportent des anomalies pour ne conserver que les données nécessaires à l'étude et les fiabiliser :

- ✓ Des valeurs incohérentes pour la variable Age : 17 cas d'affiliation avant naissance
- ✓ Des valeurs incohérentes pour la variable Sexe : 1 cas où le sexe diffère entre les années
- ✓ Des valeurs incohérentes pour la variable date d'annulation : Suppression de 2 cas avec comme date d'annulation 2017
- ✓ Des valeurs incohérentes pour la variable remboursement :
  - 16 cas avec un montant de remboursement supérieur aux frais réels.
  - MTT Remboursement = (-) ou vide, FRAIS Non remboursé = vide.
- ✓ Des valeurs incohérentes pour la variable Frais réels :

- ✓ Nous avons constitué un seuil en dessous duquel les frais réels sont considérés comme des anomalies : 20dhs (les actes correspondants à ces frais ne sont que les Consultations).

De même, pour les données concernant l'année 2016, seules les lignes concernant les contrats retenus en 2011, 2012, 2013, 2014 ,2015 sont conservées. Les données correspondantes à 2016 seront aussi éliminées vu qu'on ne dispose pas de toutes les données de cette année.

## 2) La création des variables :

Après ce premier traitement des lignes aberrantes, un deuxième traitement a consisté à ajouter plusieurs variables explicatives aux différentes bases traitées. Ainsi, nous avons créé:

- ✓ L'âge de chaque bénéficiaire pour les différents exercices, calculé à partir de leur date de naissance
- ✓ La tranche d'âge de chaque bénéficiaire : Pour une première étude de la population nous avons défini 3 groupes d'âge (déjà prévus par la version actuelle du produit) :
  - Tranche d'âge 1 : < 21 ans
  - Tranche d'âge 2 : Entre 21 ans et 50 ans
  - Tranche d'âge 3 : > 50 ans
- ✓ L'exposition au risque qui correspond à la fraction d'année pendant laquelle l'assuré est sous risque durant une année d'exercice. De ce fait, l'exposition est comprise entre 0 et 1 pour chaque année d'exercice. Cette variable a pour but de déterminer le pourcentage de l'année sur lequel le contrat de l'assuré est en cours. C'est une variable pertinente puisqu'un individu ayant une exposition égale à 20% de l'année va nécessairement recevoir des prestations moins élevées que s'il avait été présent toute l'année de l'exercice. A titre d'exemple l'exposition en 2014 vaut :

$\frac{[\text{MIN} (01/01/2015, \text{Date d'effet du contrat}) - \text{MAX} (01/01/2014, \text{Date d'annulation du contrat})]}{365,25}$
---

### I-4. Présentation des principaux risques santé dans le portefeuille :

L'assurance santé, qu'elle soit de base ou complémentaire propose toutes les garanties relatives au risque « santé ». Classiquement, les garanties sont séparées en deux grands groupes :

- Dépenses courantes : consultations, frais de pharmacie, actes d'imageries et radiologies, optique et dentaire

- Dépenses exceptionnelles : hospitalisation, chirurgies, accouchement

Dans le premier groupe, nous retrouvons habituellement les groupes d'actes suivants :

- Honoraires médecins : - Consultation généraliste et spécialiste  
- Visite généraliste et spécialiste
- Radiologies et actes d'imageries : actes d'analyses médicales en laboratoire
- Pharmacies
- Optique : dépenses en montures et verres
- Les soins bucco-dentaires :
  - Soins dentaires
  - Prothèse dentaire
  - Orthodontie

Dans la seconde catégorie, nous retrouvons des actes médicaux qui induisent des dépenses plus conséquentes et qui ont une fréquence de survenance moins faible que la première catégorie, ce sont principalement :

- Appareillage et accessoires médicaux : actes concernant tous dispositifs médicaux et implants nécessaires aux actes médicaux et chirurgicaux
- Hospitalisation :
  - Hospitalisation Chirurgicale
  - Hospitalisation médicale
  - Hospitalisation du jour
- Transport : actes concernant les transports par ambulance, etc
- Honoraires pour intervention chirurgicale

#### **I-5. Regroupement des actes médicaux :**

Afin d'adapter au mieux le tarif aux différents comportements de consommation qui peuvent exister, notre tarif est calculé pour chaque poste médical. En effet, un poste médical est un regroupement d'actes de même nature qui représentent une même catégorie de risque. Il est à noter que les postes sont formés de manière à respecter une certaine homogénéité en termes de garanties ou prestations mais surtout en tenant compte de la nature commerciale des actes regroupés.

Ainsi la grille des postes médicaux retenue est comme suit :

Tableau 3: Regroupement des actes médicaux par poste

Postes médicaux	Actes
<b>Soins ambulatoires</b>	Consultation généraliste
	Consultation spécialiste
	Visite généraliste
	Visite spécialiste
<b>Radiologie</b>	Actes de radiologies
	Angiographie
	Coloscopies
	Echographie
	Fibroscopie
	IRM
	Laser
	Scanner
<b>Dentaire</b>	Actes de Soins dentaires
	Actes de Prothèses dentaires
	Orthodontie
<b>Hospitalisation</b>	Hospitalisation en médecine (Par jour)
	Hospitalisation en soins intensifs (Par jour)
	Hospitalisation en réanimation (Par jour)
	Actes de chirurgie + K
	Autres (Hospitalisation)
<b>Maternité</b>	Accouchement césarienne
	Accouchement normal
	Accouchement gémellaire
<b>Pharmacie</b>	Pharmacie
<b>Optique</b>	Optique (monture+verre)
<b>Transport</b>	Transport
<b>Analyse</b>	Actes de biologie médicale
<b>Autres</b>	Actes pratiqués par un masseur-kinésithérapeute
	Appareillage
	Actes pratiqués par un orthophoniste
	Actes pratiqués par un orthoptiste
	Actes pratiqués par un infirmier
	Autres (Maladie)

Remarque : Nous avons regroupé les actes les moins consommés dans le poste « Autres ». Ces actes doivent avoir naturellement un tarif relativement faible car ils n'apparaissent que rarement dans le portefeuille. En effet, et comme cité auparavant, chaque poste santé aura sa propre tarification.

### *II-Statistiques descriptives sur le portefeuille:*

Afin de comprendre et d'interpréter les résultats issus de nos futurs calculs, une analyse statistique descriptive paraît indispensable.

#### **II-1. Description de la base « bénéficiaires » :**

- ✓ Répartition de l'effectif des assurés selon la variable type bénéficiaire:

Tableau 4: Répartition des assurés selon la variable type bénéficiaire

Type bénéficiaire	Effectif d'assuré			
	Exercice 2012	Exercice 2013	Exercice 2014	Exercice 2015
Assuré principal	1649	1799	1326	1587
Conjoint	259	318	270	278
Enfant	712	735	655	687

Le graphe ci-dessus représentant la répartition de la population des souscripteurs par type de bénéficiaire. Nous constatons que les assurés principaux forment la partie la plus majoritaire dans le portefeuille par rapport à la totalité des bénéficiaires.

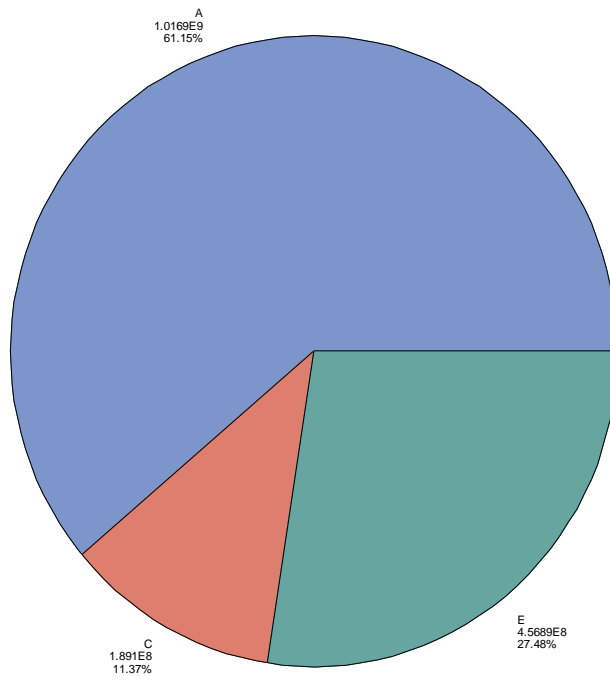


Figure 4 : Répartition des assurés selon le type de bénéficiaires

✓ Répartition de l'effectif des assurés selon la variable sexe:

Tableau 5: Effectif des assurés principaux par sexe

Sexe	Effectif d'assuré			
	Exercice 2012	Exercice 2013	Exercice 2014	Exercice 2015
Femme	409	1035	1059	1152
Homme	1244	1573	1192	1400

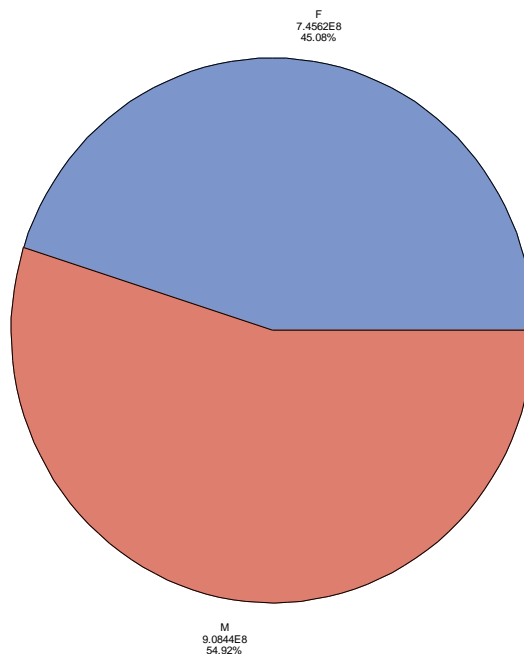


Figure 5: Répartition des assurés principaux selon le sexe

En faisant distinction entre les sexes dans la base des bénéficiaires, nous retrouvons que l'effectif des hommes est prépondérant par rapport à celui des femmes.

## II-2. Description de la base « Sinistres par acte » :

- ✓ Répartition de l'effectif des sinistrés selon la variable type bénéficiaire

Tableau 6: Nombre de sinistres selon le type de bénéficiaire

Type bénéficiaire	Effectif sinistré			
	Exercice 2012	Exercice 2013	Exercice 2014	Exercice 2015
Assuré principal	244	770	1107	1287
Conjoint	164	196	250	320
Enfant	131	424	578	684

Nous remarquons que les assurés principaux sont les plus sinistrés par rapport aux autres. Ceci est parfaitement logique car ils sont initialement les plus nombreux. Le graphique en « camembert » suivant confirme ce constat:

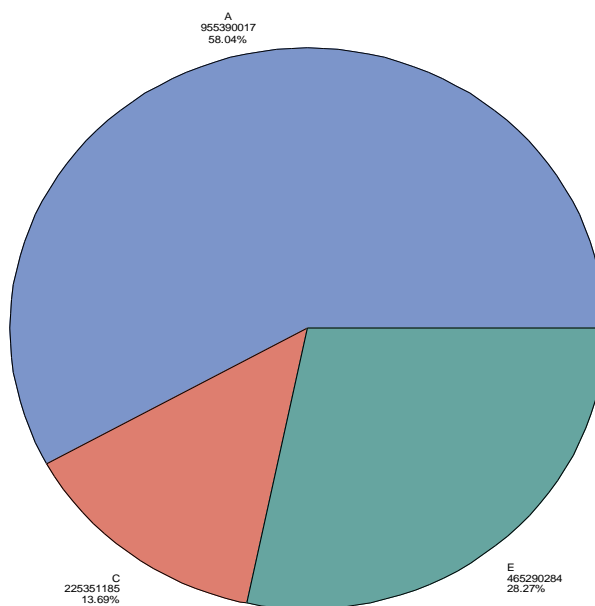


Figure 6: Répartition des sinistres par type de bénéficiaire

✓ Répartition de l'effectif des sinistrés selon le sexe:

Tableau 7: Nombre de sinistres par sexe et par exercice

Sexe	Effectif sinistré			
	Exercice 2012	Exercice 2013	Exercice 2014	Exercice 2015
Femme	104	450	841	1129
Homme	143	474	788	936

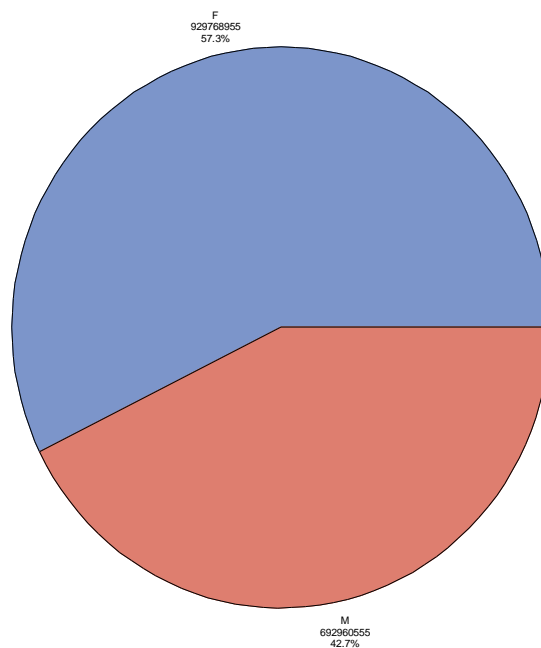


Figure 7: Répartition des sinistres par sexe

D'après le tableau et le graphique ci-dessus, nous pouvons juger que les femmes ont une sinistralité légèrement plus forte que les hommes.

✓ Répartition des montants de remboursement par sexe :

Tableau 8 : Montant remboursé par exercice et par sexe

Sexe	Montant remboursé en dhs			
	Exercice 2012	Exercice 2013	Exercice 2014	Exercice 2015
Femme	348 975	1 547 302	3 044 850	3 804 053
Homme	267 013	1 130 419	2 173 301	3 274 831

La globalité des montants remboursés par sexe montre que les femmes sont relativement plus remboursées que les hommes. Ce résultat découle éventuellement d'une sinistralité féminine plus importante.

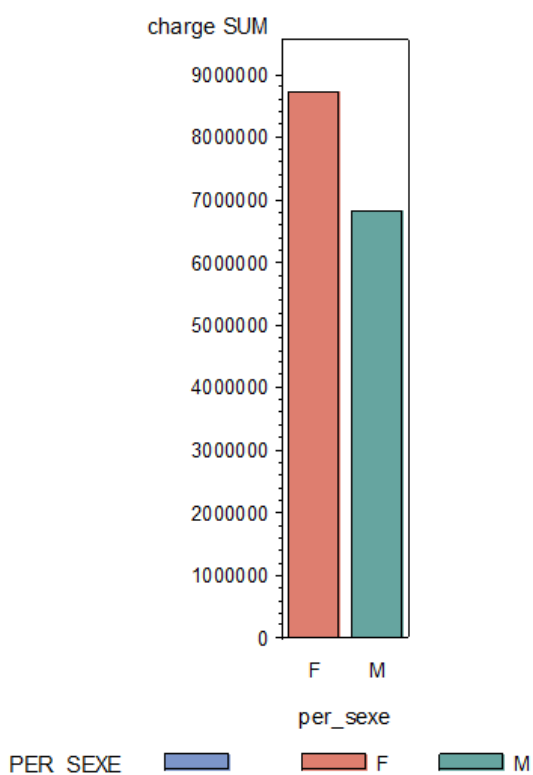


Figure 8: Répartition des montants de remboursement par sexe

✓ Répartition des montants de remboursements par type de bénéficiaire et par produit :

Tableau 9: Montant remboursé par exercice et type bénéficiaire pour la Gamme Mass Market

Type bénéficiaire	Montant de remboursement en dhs			
	Exercice 2012	Exercice 2013	Exercice 2014	Exercice 2015
A	447 892	1 827 123	3 099 436	4 084 241
C	133 177	511 918	802 016	1 005 856
E	127 136	478 906	925 685	1 161 659

Tableau 10: Montant remboursé par type de bénéficiaire et exercice pour la Moyenne Gamme

Type bénéficiaire	Montant de remboursement en dhs			
	Exercice 2012	Exercice 2013	Exercice 2014	Exercice 2015
A	111 751	391 683	638 579	745 980
C	29 321	126 321	166 055	288 169
E	25 139	144 197	155 380	196 333

Tableau 11: Montant remboursé par type de bénéficiaire et exercice pour la haute Gamme

Type bénéficiaire	Montant de remboursement en dhs			
	Exercice 2012	Exercice 2013	Exercice 2014	Exercice 2015
A	54 610	182 347	214 603	280 836
C	37 870	49 569	54 361	51 209
E	11 424	38 010	38 478	29 376

✓ Répartition des montants de remboursement par poste dans le portefeuille

Le graphique ci-dessous montre que le poste ayant le montant global de remboursement le plus élevé est le poste « dentaire ». Nous pouvons expliquer ce classement par la cherté des frais de soins dentaire. Par contre, le poste le moins remboursé des trois produits est le poste « transport » vu la rareté de la consommation ainsi que les plafonds annuels assez bas réservés à ce poste.

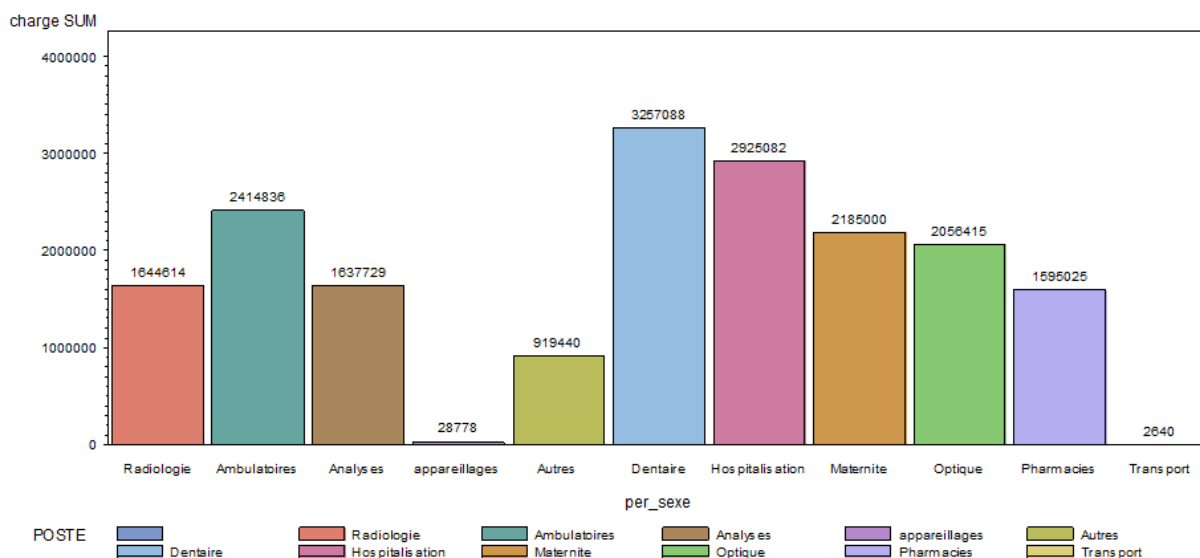


Figure 9: Répartition des montants remboursés par poste médical

✓ Répartition du Montant de remboursement par poste pour chaque produit:

Tableau 12: Montant de remboursement par Gamme de produit

Postes	Moyenne Gamme	Mass Market	Haute Gamme
Ambulatoires	403 734	176 131	1 834 970
Analyse	320 012	118 582	1 199 134
Autres	124 357	63 536	760 324
Dentaire	480 426	0	2 776 661
Hospitalisation	578 502	307 558	2 039 021
Maternité	284 000	130 000	1 771 000
Optique	272 708	0	1 783 705
Pharmacies	283 970	132 720	1 178 334
Radiologie	269 995	113 533	1 261 084
Transport	1200	630	810

Nous remarquons que les postes « optique » et « dentaire » ont un montant de remboursement nul par la *Gamme Mass Market* vu que seuls les assurés ayant des ALD et ALC bénéficient d'une couverture de la part de l'assureur.

Après avoir étudié la distribution de notre portefeuille en effectif et montant de remboursement selon chaque variable. Nous allons mesurer la corrélation entre nos variables prises deux à deux. En fait, il est fréquemment constaté dans ce type d'étude la présence d'interactions entre les variables explicatives ou leurs modalités. Pour détecter ces corrélations, une analyse multidimensionnelle des données s'avère nécessaire.

### III- Analyse multidimensionnelle :

#### III-1. Analyse des Correspondances Multiples (ACM)

Les méthodes d'analyse de données (ACP, AFC, ACM) synthétisent de manière assez fiable les informations sur les variables explicatives. Pour cela, il s'agit de trouver des axes qui respectent la forme du nuage multidimensionnel que constituent les données. Ces axes résument les différentes informations sur les données et permettent une interprétation plus simple de la structure des variables.

Il est à rappeler que l'ACP (Analyse en Composantes Principales) ne s'applique qu'à des données quantitatives tandis que l'ACM (Analyse des Correspondances Multiples) ne s'applique qu'à des données qualitatives.

Pour notre étude, les variables analysées sont : les tranches d'âge, le sexe, le type de bénéficiaire. Elles sont toutes qualitatives, donc la technique adéquate est l'ACM. Elle va nous permettre d'identifier les relations entre les modalités des différentes variables et par conséquent les relations entre les variables elles-mêmes.

Un résumé du principe de l'ACM est présenté dans l'Annexe 1.

### III-2. Représentation des résultats

Pour une analyse des correspondances multiples globale de nos données nous pouvons travailler sur 5 axes factoriels. En effet, le nombre total d'axes est la différence entre le nombre de modalités (8) et le nombre de variables(3). Une des sorties de l'ACM sous SPSS, présentée sous le tableau suivant, montre que l'inertie totale vaut à peu près  $(8/3)-1$  et que le premier axe restitue 78,9% de cette inertie :

#### Récapitulatif des modèles

Dimension	Alpha de Cronbach	Variance expliquée	
		Total (valeur propre)	Inertie
1	,866	2,366	,789
2	,420	1,389	,463
3	-,008	,995	,332
4	-,249	,858	,286
5	-14,200	,096	,032
Total		5,703	1,901
Moyenne	,185 <sup>a</sup>	1,141	,380

a. La valeur Alpha de Cronbach moyenne est basée sur la valeur propre moyenne.

Nous constatons alors que le premier axe factoriel résume plus que 70% de l'information détenue par la totalité des cinq axes. Ce constat est confirmé par le coefficient Alpha de Cronbach qui prend une valeur supérieure à 0,8.

Dans le but d'analyser les contributions de chaque variable à la formation des axes factoriels, nous allons projeter les différentes modalités de chaque variable sur le premier plan factoriel :

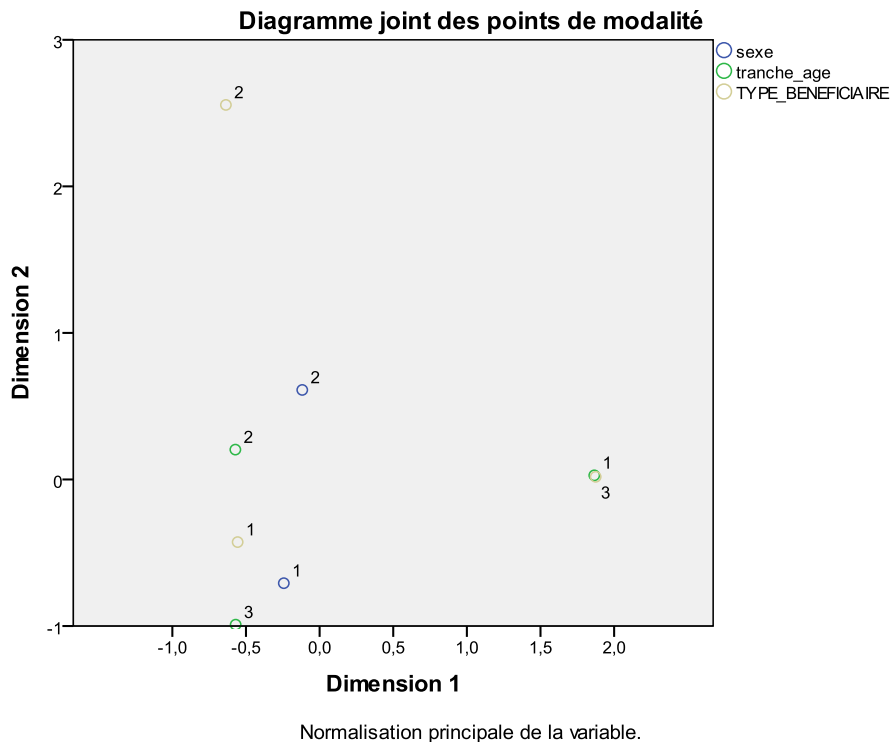


Figure 10: Projection des variables explicatives sur le premier plan factoriel

A partir du graphe ci-dessus, représentant les variables dans le premier plan factoriel (dimension 1 et 2) nous déduisons que l'âge et le type de bénéficiaire sont les mieux représentés sur les deux axes factoriels. Cela montre que ces variables sont corrélées chose qui sera confirmée dans ce qui suit.

D'autre part, dans un plan factoriel, deux modalités sont proches si elles ont souvent été prises ensemble et le contraire est aussi vrai. Éventuellement nous trouvons que :

- La modalité tranche d'âge 1 (âge inférieur à 21 ans) et la modalité «Enfant » de la variable type bénéficiaire sont confondues.
- Les tranches d'âge supérieures, la modalité « Adhérent principal » et le sexe « Homme » sont proches.
- La première dimension oppose les femmes aux hommes.
- La deuxième dimension oppose les assurés âgés aux enfants.

### Corrélations des variables transformées

Dimension: 1

	sexe	TYPE_BENEFICIAIRE	tranche_age
sexe <sup>a</sup>	1,000	-,116	-,108
TYPE_BENEFICIAIRE	-,116	1,000	,983
tranche_age <sup>a</sup>	-,108	,983	1,000
Dimension	1	2	3
Valeur propre	2,008	,975	,017

a. Les valeurs manquantes ont été imputées avec le mode de la variable quantifiée.

En cohérence avec ce qui précède, le coefficient de corrélation entre la variable tranche d'âge et le type bénéficiaire est très proche de 1. Cela montre qu'elles sont fortement corrélées. La combinaison de la tranche d'âge et le sexe, par contre, semble la moins corrélée.

### *Conclusion :*

L'analyse descriptive nous a servi pleinement à connaître notre portefeuille de près. En effet, les tableaux statistiques et les graphes nous ont permis dans un premier temps de visualiser le comportement consommatoire médical des assurés. Les techniques d'analyse de données et mesure de dépendance nous ont permis, par la suite, de quantifier les relations entre les différentes variables explicatives.

## Chapitre 5: Tarification empirique du produit MHM

### Introduction :

L'assurance santé protège financièrement les assurés d'une partie ou de la totalité de leur consommation médicale au prix du versement périodique d'une cotisation. L'assureur ignore pourtant totalement la nature et la date du sinistre qu'il va devoir couvrir. Une technique classique d'estimation de cette cotisation repose sur le principe de décomposition du risque en fréquence et coût moyen.

Nous essayerons ainsi, dans ce chapitre, d'explicitier le principe de la méthode de tarification empirique par type d'acte et de l'appliquer par la suite sur notre portefeuille santé relatif au produit MHM.

### I-Principe de tarification empirique :

Pour un acte médical donné, le montant de la prime est la résultante du produit de la fréquence  $freq_{acte}$  par le coût moyen  $CM_{acte}$  :

$$\pi = \sum_{acte \in Actes} \pi_{acte} = \sum_{acte \in Actes} freq_{acte} * CM_{acte}$$

La prime pure représente le vrai coût futur des risques tandis que les frais de chargement correspondent généralement aux frais fixes ou variables et les taxes. On a donc :

Prime commerciale(TTC) = Prime Pure + Chargements +Taxe

Avec :

Chargement=Frais de gestion (10%) + Frais d'acquisition (10%)

Taxe= TVA (14%)

Ainsi, notre étude se focalisera sur le calcul de la prime pure traditionnellement estimée d'après un modèle multiplicatif Fréquence \* Coût moyen.

La prime pure taxée et chargée donne une prime commerciale qui est le tarif de vente de chaque gamme et pour chaque tranche d'âge.

### I-1. Coût moyen par acte :

Pour :

- Un risque donné  $i$  (le risque ici correspond à la consommation d'un type de garantie offerte par le produit: Consultation spécialiste, Chirurgie etc...)
- Une tranche d'âge donnée
- Un individu  $j$
- Un nombre annuel total  $N_i$  d'individus pour ce même risque  $i$
- Un montant  $S_{i,j}$  consommé par l'individu  $j$

La charge annuelle totale des sinistres s'écrit :  $S_i = \sum_{j=1}^{N_i} S_{i,j}$

Où  $S_{i,1}, S_{i,2}, \dots, S_{i,N_i}$  sont des variables indépendantes, identiquement distribuées et ne dépendent pas de la variable  $N_i$ .

Le coût moyen par acte pour un risque donné  $i$  est estimé à partir de la formule suivante :

$$\text{Coût moyen annuel}_i = \frac{S_i}{N_i}$$

### I-2. Fréquence par acte

Pour estimer la fréquence annuelle des sinistres pour un risque  $i$  donné et une tranche d'âge précise, il s'agit d'effectuer le calcul suivant :

$$\text{Fréquence annuelle}_i = \frac{N_i}{B_i}$$

Avec :  $B_i$  le nombre annuel total de bénéficiaires (consommant et non consommant)

Remarque: Considérer le nombre de bénéficiaire au dénominateur présuppose une répartition uniforme des sinistres sur une année et une consommation uniforme pour tous les bénéficiaires. Cette hypothèse n'est pas toujours vérifiée. Il peut s'avérer que la consommation de soins soit plus importante pendant les mois d'hiver par exemple ou que les mariés consomment plus que les célibataires, d'où la pertinence de l'approche MLG qui viendra par la suite.

### I-3. Prime pure :

Ainsi la prime pure pour une année donnée et une tranche d'âge donnée résulte de la formule :

$$\pi = \sum_{i \in \{\text{Actes}\}} \text{Coût moyen annuel}_i * \text{Fréquence annuelle}_i$$

Par conséquent, notre fréquence et coût moyen finaux seront une moyenne sur les années de survenance des fréquences et coûts moyens annuels. Ils sont calculés selon la formule précédente c'est à dire :

$$\text{Frequence finale}_i = (\sum_{t \in \{\text{Années de survenance}\}} \text{Fréquence annuelle}_t) / \text{card}\{\text{Années de survenance}\}$$

$$\text{Cout moyen final}_i = (\sum_{t \in \{\text{Années de survenance}\}} \text{Coût moyen annuel}_t) / \text{card}\{\text{Années de survenance}\}$$

$$\pi_i = \text{Frequence finale}_i * \text{Cout moyen final}_i$$

### *II-Application:*

Puisque la logique de tarification reste la même quelque soit la tranche d'âge et la gamme du produit traitée, nous allons expliciter les étapes de calcul de la prime pure pour la *Haute Gamme* relative à la deuxième tranche d'âge (âge bénéficiaire entre 21 et 50 ans) :

Le calcul des coûts moyens chaque année grâce aux formules explicitées précédemment nous fourni le tableau agrégé suivant :

**Tableau 13: Coût moyen par type d'acte medical**

<b>CM par actes</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>La moyenne des CM</b>
Accouchement césarienne	8000	8000	8000	8000	8000
Accouchement jumelaire	0	5500	0	5500	5500
Accouchement normal	3000	3000	3000	3000	3000
Actes de biologie médicale	477	717	701	719	654
Actes de chirurgie + K	7738	5229	5382	6140	6122
Actes de Prothèses dentaires	2914	3324	3157	3150	3136
Actes de radiologie	490	455	366	389	425
Actes de Soins dentaires	647	651	662	635	649
Actes pratiqués par un infirmier	0	79	82	52	71
Actes pratiqués par un masseur-kinésithérapeute	2628	1917	1962	1928	2109
Actes pratiqués par un orthophoniste	0	0	0	0	0
Actes pratiqués par un	0	1260	0	0	1260

orthoptiste					
Appareillages	465	441	227	1306	610
Autres (Hospitalisation)	0	4388	5400	4845	4878
Autres (Maladie)	323	437	477	513	438
Coloscopie	1500	1430	1345	1382	1414
Consultation généraliste	106	117	116	118	115
Consultation spécialiste	200	203	204	208	204
Echographie	347	363	338	360	352
Fibroscopie	1200	1003	1124	1101	1107
Hospitalisation en médecine (Par jour)	880	1382	1915	1351	1382
Hospitalisation en réanimation (Par jour)	0	2200	0	6036	4118
Hospitalisation en soins intensifs (Par jour)	0	1500	1210	5750	2820
IRM	2430	2193	2359	2553	2384
Laser	1080	1110	936	0	1042
Optique (monture+verre)	1569	1742	1799	1851	1740
Orthodontie	0	0	4000	3600	3800
Pharmacie	212	222	204	197	209
Scanner	1198	1160	1318	1421	1274
transport	0	0	0	0	0
Vaccin	0	0	0	0	0
Visite généraliste	0	170	170	170	170
Visite spécialiste	260	253	247	283	261

De même, le tableau des fréquences annuelles se présente comme suit :

Tableau 14:Fréquence par type d'acte medical

Fréquence par actes	2012	2013	2014	2015	Moyenne des fréquences
Accouchement césarienne	1,47%	3,15%	4,24%	3,83%	3,17%
Accouchement jumelaire	0,00%	0,08%	0,00%	0,05%	0,06%
Accouchement normal	0,29%	1,18%	0,61%	1,02%	0,78%
Actes de biologie médicale	8,68%	18,38%	27,39%	26,72%	20,29%
Actes de chirurgie + K	1,47%	2,05%	3,70%	2,72%	2,48%
Actes de Prothèses dentaires	2,06%	6,31%	8,18%	9,02%	6,39%
Actes de radiologie	5,29%	7,02%	10,85%	9,89%	8,26%
Actes de Soins dentaires	9,12%	19,87%	25,15%	22,65%	19,20%
Actes pratiqués par un infirmier	0,00%	0,47%	0,18%	0,10%	0,25%
Actes pratiqués par un masseur-kinésithérapeute	0,74%	2,44%	2,00%	2,52%	1,93%
Actes pratiqués par un orthophoniste	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Actes pratiqués par un orthoptiste	0,00%	0,16%	0,00%	0,00%	0,16%

Appareillages	0,44%	0,55%	0,61%	0,24%	0,46%
Autres (Hospitalisation)	0,00%	0,32%	0,48%	0,63%	0,48%
Autres (Maladie)	3,09%	6,07%	10,85%	9,51%	7,38%
Coloscopie	0,15%	0,47%	0,73%	0,78%	0,53%
Consultation généraliste	3,97%	13,64%	22,00%	20,90%	15,13%
Consultation spécialiste	28,68%	67,19%	84,67%	90,11%	67,66%
Echographie	6,32%	13,17%	14,55%	16,05%	12,52%
Fibroskopie	0,29%	0,71%	0,91%	0,92%	0,71%
Hospitalisation en médecine (Par jour)	0,15%	1,18%	2,18%	1,41%	1,23%
Hospitalisation en réanimation (Par jour)	0,00%	0,08%	0,00%	0,19%	0,14%
Hospitalisation en soins intensifs (Par jour)	0,00%	0,08%	0,06%	0,10%	0,08%
IRM	0,74%	1,81%	1,76%	1,45%	1,44%
Laser	0,59%	0,24%	0,30%	0,00%	0,38%
Optique (monture+verre)	5,88%	12,15%	14,18%	15,28%	11,87%
Orthodontie	0,00%	0,00%	0,06%	0,05%	0,05%
Pharmacie	25,74%	59,78%	75,15%	76,72%	59,35%
Scanner	0,74%	0,63%	1,39%	1,26%	1,01%
transport	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Vaccin	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Visite généraliste	0,00%	0,39%	0,55%	0,73%	0,56%
Visite spécialiste	0,15%	1,34%	0,85%	1,26%	0,90%

Le produit de la moyenne annuelle des fréquences et coûts moyens nous permet d'obtenir la grille tarifaire suivante :

Tableau 15:Grille tarifaire

<b>Primes Haute Gamme tranche d'âge 2 (dhs)</b>	
Accouchement césarienne	<b>253,98</b>
Accouchement jumelaire	<b>3,50</b>
Accouchement normal	<b>23,26</b>
Actes de biologie médicale	<b>132,61</b>
Actes de chirurgie + K	<b>152,04</b>
Actes de Prothèses dentaires	<b>200,48</b>
Actes de radiologie	<b>35,12</b>
Actes de Soins dentaires	<b>124,51</b>
Actes pratiqués par un infirmier	<b>0,18</b>
Actes pratiqués par un masseur-kinésithérapeute	<b>40,60</b>
Actes pratiqués par un orthophoniste	-

Actes pratiqués par un orthoptiste	<b>1,99</b>
Appareillages	<b>2,81</b>
Autres (Hospitalisation)	<b>23,26</b>
Autres (Maladie)	<b>32,30</b>
Coloscopie	<b>7,51</b>
Consultation généraliste	<b>17,33</b>
Consultation spécialiste	<b>138,04</b>
Echographie	<b>44,05</b>
Fibroskopie	<b>7,84</b>
Hospitalisation en médecine (Par jour)	<b>16,99</b>
Hospitalisation en réanimation (Par jour)	<b>5,62</b>
Hospitalisation en soins intensifs (Par jour)	<b>2,22</b>
IRM	<b>34,34</b>
Laser	<b>3,92</b>
Optique (monture+verre)	<b>206,58</b>
Orthodontie	<b>2,07</b>
Pharmacie	<b>123,86</b>
Scanner	<b>12,81</b>
transport	-
Vaccin	-
Visite généraliste	<b>0,94</b>
Visite spécialiste	<b>2,34</b>
<b>Prime Pure</b>	<b>1 653,12</b>
<b>Prime Commerciale</b>	<b>2 326,61</b>

La grille tarifaire ci-dessus présente des valeurs manquantes dues à l'absence ou la rareté de la consommation de l'acte médical sur les années d'observations. D'autres actes médicaux présentent un tarif assez faible (Exemple: Visite généraliste, Laser etc) par rapport à la réalité et ce à cause d'une fréquence trop basse généralement.

Ce même traitement pour le reste des produits sur les trois tranches d'âge a mené aux tableaux des tarifs en dhs suivant :

**Tableau 16: Tarif Mass Market**

	<i>Mass Market</i>		
Tranche d'âge	<b>&lt;=21</b>	<b>] 21;50]</b>	<b>&gt;50</b>
Primes Pures	227	250	631
Primes Commerciales TTC	320	352	888

**Tableau 17: Tarif Moyenne Gamme**

	<i>Moyenne Gamme</i>		
Tranche d'âge	<b>&lt;=21</b>	<b>] 21;50]</b>	<b>&gt;50</b>
Primes Pures	827	1 139	1 953
Primes Commerciales TTC	1 164	1 602	2 749

**Tableau 18: Tarif Haute Gamme**

	<i>Haute Gamme</i>		
Tranche d'âge	<b>&lt;=21</b>	<b>] 21;50]</b>	<b>&gt;50</b>
Primes Pures	1 062	1 653	3 198
Primes Commerciales TTC	1 495	2 327	4 501

**Conclusion :**

La méthode de tarification empirique se caractérise par la simplicité de son principe et a l'avantage de pouvoir permettre un ajustement annuel. En effet, si le portefeuille ne subit pas de grosses variations au niveau de sa composition, cette méthode donnera annuellement un résultat acceptable. Pour se prémunir contre une éventuelle variation de la composition, de la fréquence ou des coûts moyens des sinistres de son portefeuille l'assureur a recours à des chargements de sécurité. Cependant en cas de grosses variations jamais observées historiquement, l'assureur rencontrerait de majeurs difficultés d'où l'utilité de l'application des modèles linéaires généralisés.

## Chapitre 6 : Modèles Linéaires Généralisés (MLG)

### Introduction

Vu les résultats de la tarification empirique et ses nombreuses contraintes, nous avons choisi de passer à de nouvelles méthodes de tarification du produit santé MHM. Ainsi, ce chapitre portera sur une méthode de tarification pour les contrats individuels santé jugée la plus adéquate, à savoir, la méthode de tarification via les modèles linéaires généralisés(MLG).

En effet, les MLG offrent une alternative incontournable de tarification, notamment grâce à la simplicité de leurs hypothèses et à la large gamme des lois possibles pour ajuster une distribution.

Ainsi, nous allons tout d'abord procéder à un écrêtement des coûts moyens, ensuite une segmentation des variables tarifaires par groupe de risque et en fin mettre en pratique l'approche MLG pour aboutir à un tarif par sexe, type de bénéficiaire et par tranche d'âge.

Remarque : Nous nous sommes contentées dans ce chapitre de tarifier la *Haute Gamme* du produit MHM (57% des assurés sont des souscripteurs *Haute Gamme*)

### *I-Ecrêtement des coûts:*

La méthode d'écrêtement des coûts consiste à plafonner les montants de sinistres à un certain niveau appelé seuil d'écrêtement. L'excès de charge qui reste est ensuite reparti entre tous les assurés.

Avant de passer à la segmentation nous avons procédé à appliquer la commande *Univariate* sous SAS au coût moyen pour détecter le seuil à partir duquel on va écrêter.

Dans le cadre de la tarification (et du provisionnement) en assurance, une hypothèse classique est celle selon laquelle le portefeuille est constitué de risques similaires. Un problème pour que cette hypothèse soit vérifiée est le poids important des sinistres « graves ». Pour le résoudre, les sinistres observés sont souvent écrêtés : ils sont plafonnés à un niveau maximum .La charge résiduelle étant répartie sur une assiette plus large que le segment dont elle est issue (répartition à l'ensemble de la mutualité de risques). Une technique classique consiste à choisir un seuil tel que la sur-crête représente un certain pourcentage de la charge totale de sinistres.

Dans un premier lieu, nous allons déterminer le seuil par une méthode de type quantile puis nous veillerons à la mutualisation de la sur-crête entre les assurés.

### I-1. Seuil d'écèlement :

Il existe une multitude de méthodes de détermination du seuil d'écèlement (un pourcentage convenu de la charge global, courbe de Lorenz, quantile...) mais devant l'absence d'une méthode jugée optimale, nous allons tenter de l'approcher en utilisant le quantile 90%. Ensuite, nous allons vérifier notre choix via la courbe de Lorenz qui représente l'effectif cumulé en abscisse et les coûts cumulés en ordonné.

Nous pouvons aussi tester la pertinence de ce seuil à travers les diagrammes Q-Q plot, et ce en observant le montant à partir duquel le nuage de point s'écarte de la 1ere bissectrice.

### I-2. Mutualisation de la sur-crête

Le seuil d'écèlement étant fixé, il reste à savoir la manière la plus adéquate pour départager l'excès de la charge ou la sur-crête entre les assurés.

Une méthode de mutualisation serait via une clé proportionnelle au coût à la charge de chaque assuré, ainsi un assuré avec un coût élevé supportera cette charge plus qu'un autre avec un coût moins élevé, ce qui est logique car il est considéré étant plus risqué.

$$Clé_i = \text{la charge totale de la surcete} * \frac{CM_i}{\sum CM_i}$$

Avec  $Clé_i$  = la clé appliquée au cout à la charge de l'assuré  $i$

$CM_i$  = le cout à la charge de l'assuré  $i$

### I-3. Application de l'écèlement sur les différents postes :

#### 1) Quantile 90%

En utilisant la procédure *PROC UNIVARIATE* de SAS, pour le poste « pharmacie », par exemple nous avons remarqué un saut entre le quantile 90% qui correspond à un montant de 350dhs à montant de 4524dhs. Cela confirme l'existence de sinistres élevés qui déforment la distribution et l'ajustement aux lois et nécessitent un écèlement.

**Le Système SAS**

**Procédure UNIVARIATE**

**Variable : CM**

**Tableau des moments:**

<b>Moments</b>			
<b>N</b>	2601	<b>Somme des poids</b>	2601
<b>Moyenne</b>	180.971193	<b>Somme des observations</b>	470706.074
<b>Ecart-type</b>	254.436921	<b>Variance</b>	64738.147
<b>Skewness</b>	6.98038497	<b>Kurtosis</b>	74.402704
<b>Somme des carrés non corrigée</b>	253503422	<b>Somme des carrés corrigée</b>	168319182
<b>Coeff. variation</b>	140.595261	<b>Moy. erreur std</b>	4.98895924

<b>Quantiles (Définition 5)</b>	
<b>Quantile</b>	<b>Valeur estimée</b>
<b>100% Max</b>	4524.21
<b>99%</b>	1301.49
<b>95%</b>	492.81
<b>90%</b>	334.71
<b>75% Q3</b>	201.78
<b>50% Médiane</b>	123.93
<b>25% Q1</b>	70.02
<b>10%</b>	35.83
<b>5%</b>	21.96
<b>1%</b>	11.70
<b>0% Min</b>	7.74

## 2) Q-Q plot de la charge avant écrêtement :

Lors de la modélisation de la charge, deux lois candidates ont fait objet de l'étude, la loi Gamma et la loi Log-Normale. A présent, nous allons appliquer le modèle linéaire généralisé sur les deux distributions et vérifier lequel des deux modèles expliquera mieux le coût moyen des sinistres. Ce serait également une occasion pour confirmer ou remettre en cause notre choix de distribution.

Pour choisir la méthode la plus pertinente pour bien modéliser le coût moyen des sinistres nous allons opter sur une méthode graphique et théorique.

Pour la méthode graphique le Q-Q plot (quantile-to-quantile plot) demeure l'outil graphique efficace permettant d'évaluer la pertinence de l'ajustement d'une distribution donnée à un modèle théorique. Sous SAS nous appliquons le test Q-Q plot pour les deux lois Gamma et la loi normale et nous allons choisir la loi dont tous les points sont plus proches de la bissectrice. Les deux graphiques ci-dessous montrent l'ajustement des deux lois avec la distribution réel de notre coût moyen.

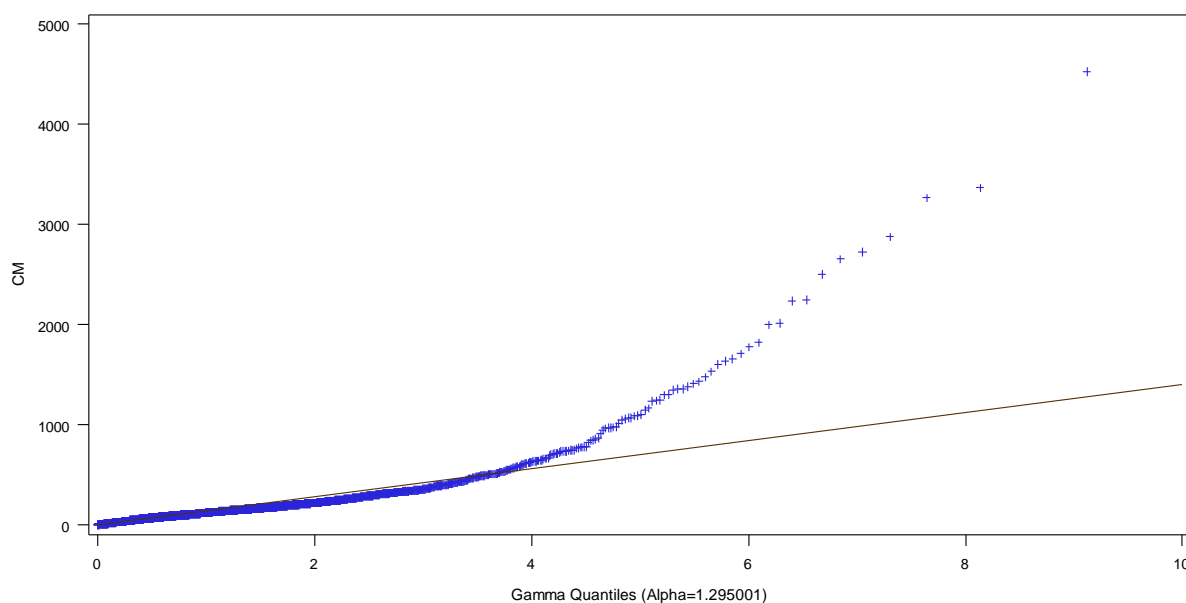


Figure 11:Q-Q plot de la loi Gamma

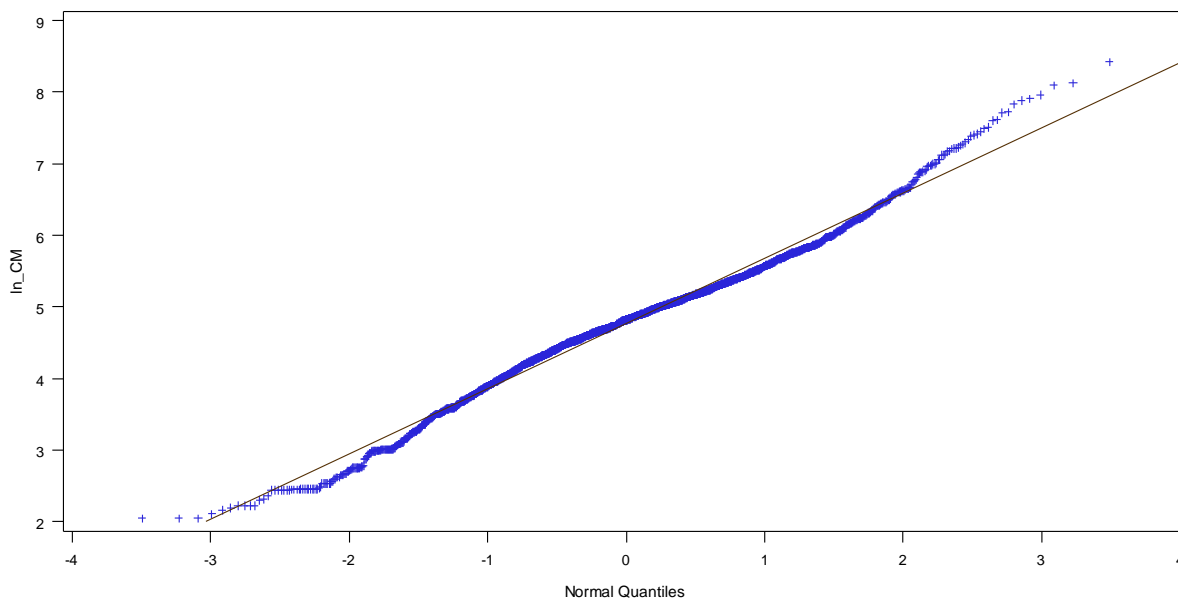


Figure 12: Q-Q plot de la loi normale

D'après les deux Q-Q plots ci-dessus, nous ne pouvons pas trancher définitivement dans le choix de la loi qui ajuste le mieux notre coût moyen. D'ailleurs, les deux Q-Q plot montrent que la courbe de la population réelle et celle de la population théorique ne sont pas totalement confondues.

Les deux distributions sur lesquelles nous nous sommes focalisées feront l'objet d'une analyse de la qualité d'ajustement avant d'en choisir la meilleure.

### 3) Courbe de Lorenz :

Avant de commencer la modélisation nous avons procédé tout d'abord à une illustration du coût moyen par le biais de la courbe de « Lorenz ». Par ailleurs, 'la courbe de Lorenz est la représentation graphique de la fonction qui, à la part  $x$  des détenteurs d'une part d'une grandeur, associe la part  $y$  de la grandeur détenue'. Elle a été développée par Max O. Lorenz en vue d'une représentation graphique des inégalités de revenu.

Dans notre cas, la courbe de Lorenz illustre la répartition du coût moyen dans le portefeuille. Elle est située en dessous de la diagonale de référence : " la première bissectrice". Or, plus cette courbe est éloignée de la bissectrice, plus la répartition de la distribution est inégalitaire.

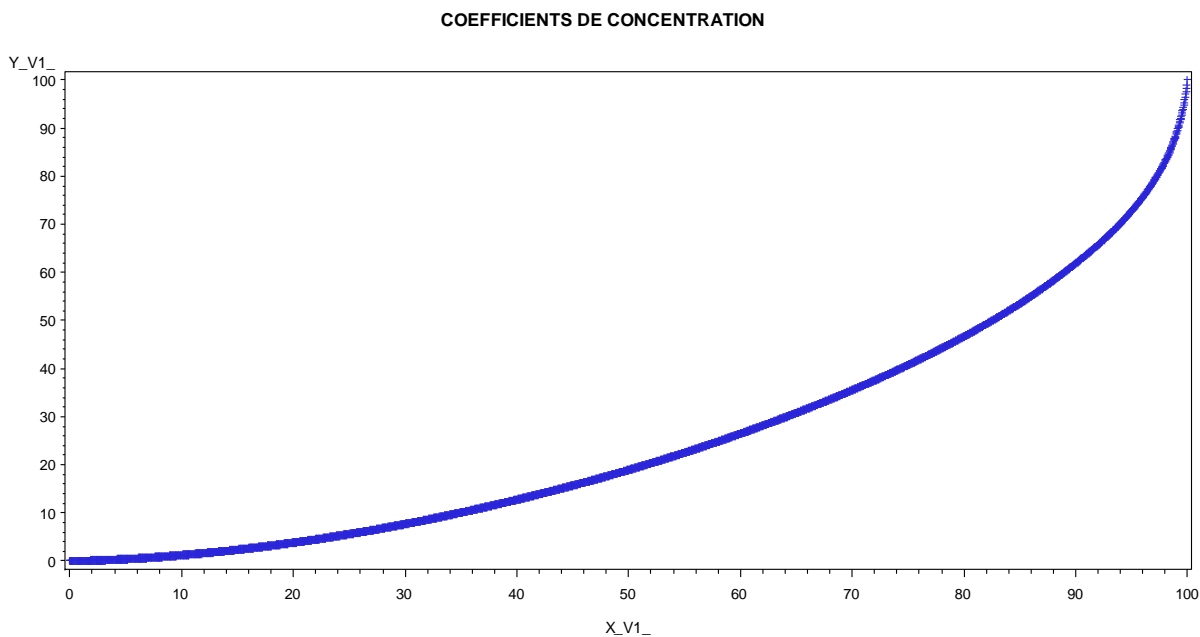


Figure 13: Courbe de Lorenz du coût moyen

#### 4) Résultats de l'écrêtement :

La même étude a été appliquée à tous les postes exceptés pour les postes « dentaire » et « optique », « maternité » et « transport » qui sont déjà plafonnés.

Le tableau suivant résume les résultats des seuils d'écrêtement pour le reste des postes médicaux :

Tableau 19: Seuil d'écrêtement pour chaque poste médical

Postes médicaux	Seuil d'écrêtement en dhs
<b>Pharmacie</b>	350
<b>Radiologie</b>	1 007
<b>Hospitalisation</b>	10 000
<b>Analyse</b>	1397
<b>Soins ambulatoires</b>	220
<b>Autres</b>	1 800

## *II- Segmentation des variables tarifaires*

Les données dont nous disposons nous conduisent à retenir pour la modélisation linéaire généralisée les variables explicatives suivantes :

- ✓ L'âge
- ✓ Le type de bénéficiaire
- ✓ Le sexe

L'âge étant une variable quantitative peut être peu ou mal représenté. Il est alors préférable de le transformer en variable qualitative en créant des tranches ou classes d'âge homogènes.

Globalement, la détermination d'un niveau de segmentation pour chacune des variables tarifaires s'impose. En effet, présenter un seul tarif à tous les assurés induit des risques d'anti-sélection<sup>4</sup>, qui justifient la nécessité d'une segmentation assez fine de la population assurée. La construction d'une grille de tarification nécessite de définir des classes de risques suffisamment homogènes.

Pour ce faire, nous avons adopté les arbres de classification de CHAID.

### **II-1.Principe de la méthode de classification CHAID:**

L'algorithme de CHAID signifie en fait " Chi-squared Automatic Interaction Detector". Il s'agit de l'une des méthodes d'arbres de classification les plus anciennes, initialement proposée par Kass l'algorithme CHAID construit des arbres de décision non-binaires (c'est à dire des arbres de décision dans lesquels nous pouvons avoir plus de deux branches connectées à un même nœud(racine), il est utilisé pour sa capacité à détecter les variables explicatives les plus adéquates au modèle et de répartir la population du portefeuille en des sous classes homogènes, selon un ensemble des variables bien choisies.il est utilisé principalement pour prédire les valeurs prises par une variables dépendante quantitatives, en fonction de variables explicatives quantitatives et /ou qualitatives.

La segmentation fournie par cet arbre est basé sur la statistique de chi-deux, le test statistique se présente comme suit :

---

<sup>4</sup> Soit par dissymétrie d'information entre l'assureur et l'assuré, ce dernier ayant, hors cas des assurances obligatoires, l'option de ne pas s'assuré s'il considère le tarif qui lui est appliqué trop élevé, soit du fait de la diversité des segmentations tarifaires appliquées par les assureurs qui conduit, pour un même risque, à des prix proposés différents.

Soit P une population d'un portefeuille de taille N et  $X^1, X^2, \dots, X^m$  les m variables explicatives définies pour la population P, on suppose que cette population est divisé en deux sous groupe :  $G_1, G_2$

Soit Moy: est la moyenne du portefeuille et  $\sigma^2$  sa variance.

Soit  $X^k$  la kème variables explicative donc on aura  $X^k = [X_1^k, \dots, X_n^k]$ .

D'ailleurs :  $Moy = 1/n * \sum_i \sum_k X_i^k = \frac{n_1}{n} * moy_1 + \frac{n_2}{n} * moy_2$

on notera par  $n_1$  et  $n_2$  l'effectif de chaque sous classes :  $G_1, G_2$ .

$moy_1$  et  $moy_2$  sont les moyennes de  $G_1, G_2$  respectivement.

Et:  $\sigma^2 = \left[ \frac{n_1}{n} * \frac{\sigma_1^2}{n} * \sigma_1^2 + \frac{n_2}{n} * \sigma_2^2 \right] + \frac{n_1}{n} * (moy_1 - moy)^2 + \frac{n_2}{n} * (moy_2 - moy)^2$

Pour diviser la population en deux sous populations homogènes, le modèle de segmentation tente de construire des groupes qui minimisent la variance intergroupe et maximisent celle intra-groupe.

Notre test statistique se base sur la statistique :  $\varphi = \frac{\text{Variance intergroupe}}{\text{variancece itragroupe}}$  avec

$\varphi \sim \text{Fisher}(1, N - 1)$

Ces résultats sont aussi applicables pour un nombre de sous-groupe supérieur à deux, en effet il suffit de remplacer les deux variances  $\sigma_1^2$  et  $\sigma_2^2$  par une matrice de variance -covariance.

## II-2. Application au poste « Pharmacie » :

### 1) Segmentation du coût moyen :

D'après l'arbre de classification de CHAID présenté ci après nous pouvons découper la variable âge selon le coût moyen pour le poste « pharmacie » en 7 modalités :

Tableau 20: Codification des tranches d'âge par coût moyen

Classe	code
$\leq 2$	1
] 2 , 5]	2
] 5 , 11]	3
] 11 , 32]	4
] 32 , 39]	5
] 39 , 48]	6
$> 48$	7

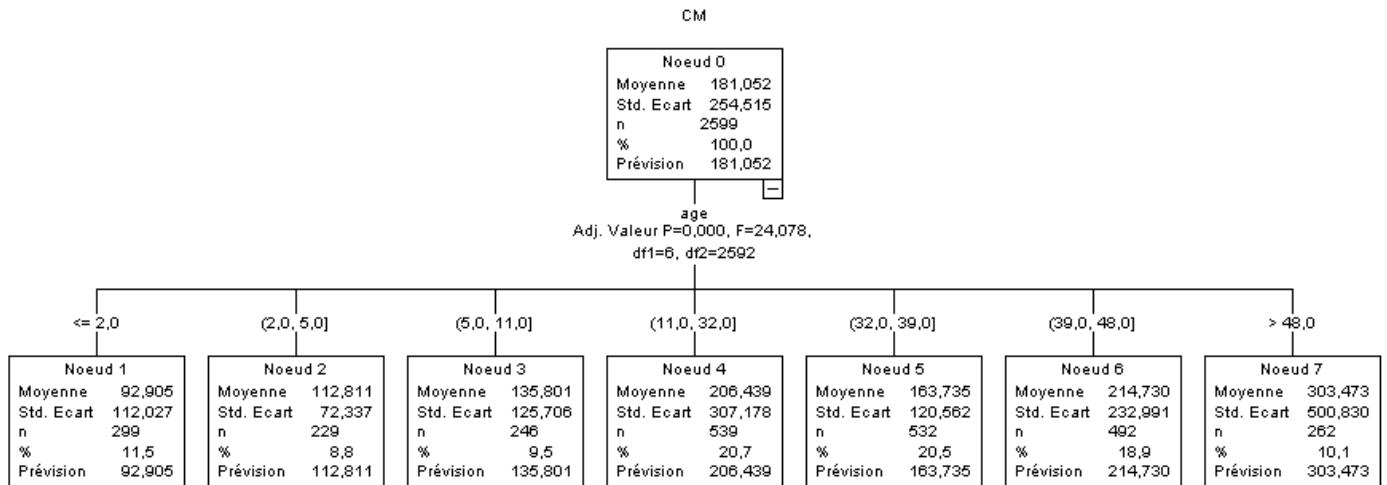


Figure 15:Arbre de segmentation de l'âge selon le coût moyen

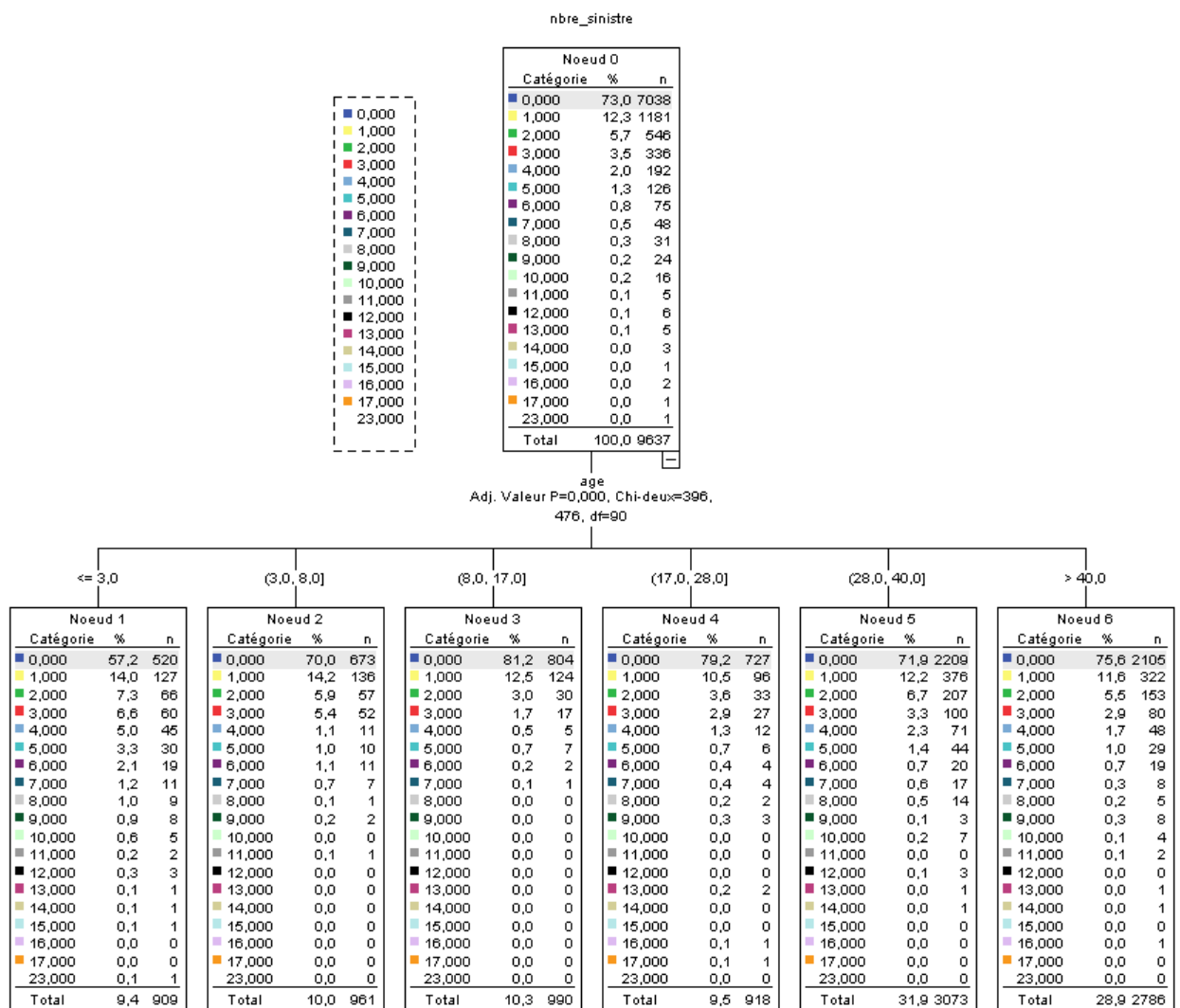


Figure 14:Arbre de segmentation de l'âge selon la fréquence

## 2) Segmentation de la fréquence :

De même l'âge sera segmenté selon la fréquence de l'acte pharmacie en 6 modalités comme suit :

Tableau 21: Codification des tranches d'âge par fréquence

Classe	Code
$\leq 3$	1
] 3 , 8]	2
] 8 , 17]	3
] 17 , 28]	4
] 28 , 40]	5
$> 40$	6

*Remarque* : Au cours de la tarification nous pourrons alors confirmer ou modifier les classes formées de chaque variable selon leurs significativités.

Le reste des arbres de segmentation pour les différents postes seront présentés en Annexe 2.

### III- Modélisation du coût moyen et de la fréquence

Après avoir écrié la charge des postes médicaux et segmenter la variable âge selon le coût moyen et la fréquence de chaque poste, il est temps de passer à l'application des MLG. Pour cela il est d'abord primordial de définir ces modèles et expliciter leurs principes.

#### IV-1. Présentation des modèles linéaires généralisés :

Depuis quelques années, l'outil principal utilisé en tarification est le modèle linéaire généralisé, sa dénomination « Modèle Linéaire Généralisé » revient à Nelder and Wedderburn (1972) et à McCullagh and Nelder (1989) qui ont montré que les démarches de modélisation de la moyenne  $\mu$ , d'une variable aléatoire Y, à l'aide d'une combinaison linéaire de variables endogène  $X'\beta$ , sont similaires quand la distribution de Y appartient à la famille exponentielle. Ainsi, ils ont regroupé ces démarches sous le nom des Modèles Linéaires Généralisés.

Présentons ci-dessous, quelques éléments de théorie de ce modèle.

L'objectif est de modéliser la moyenne d'une variable Y endogène notée  $\mu = E(Y|X)$  à l'aide d'une combinaison de variables exogènes  $X'\beta$ .

Le MLGn'impose pas de relation linéaire directe entre  $\mu$  et X, mais laisse introduire une fonction de lien G telle que :  $\eta = G(\mu) = X'\beta$

Pour chacune des distributions de la famille exponentielle il existe au moins une fonction lien dite canonique qui simplifie la procédure d'estimation.

✓ La famille exponentielle

On dit qu'une loi de probabilité appartient à la famille exponentielle si sa distribution s'écrit sous la forme :

$$f(y, \theta, \phi) = \exp \left\{ \frac{y\theta - b(\theta)}{a(\phi)} + c(y, \phi) \right\}$$

Les fonctions a, b et c varient d'une distribution à une autre.

Notre paramètre d'intérêt est  $\theta$ , vu que, pour la famille exponentielle, il existe un lien direct entre  $\theta$  et  $\mu$ .

La famille exponentielle regroupe de nombreuses lois usuelles comme Bernoulli, normale et gamma.

- Loi Bernoulli :

Soit  $y$  une variable aléatoire suivant une loi de Bernoulli à valeurs dans  $\{0,1\}$  et sa fonction de densité s'écrit :

$$f(y) = \mu^y (1 - \mu)^{1-y}$$

Qui peut être mis sous la forme, sachant que  $\mu^y = e^{y \ln(\mu)}$  :

$$f(y) = \exp \left( y \times \ln \left( \frac{\mu}{1 - \mu} \right) + \ln (1 - \mu) \right)$$

Par identification :

$$\theta = \ln \left( \frac{\mu}{1 - \mu} \right) \quad , \quad a(\phi) = 1 \quad , \quad c(y, \phi) = \ln (1 - \mu)$$

Donc la loi de Bernoulli appartient à la famille exponentielle.

- Loi Normale :

Soit  $y$  une variable aléatoire suivant une loi normale d'espérance  $\mu$  et de variance  $\sigma^2$ .  $y$  est à valeurs réelles. Sa fonction de densité est :

$$f_{\mu, \sigma}(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left\{ - \frac{(y - \mu)^2}{2\sigma^2} \right\}$$

Qui peut être mis sous la forme :

$$f_{\mu,\sigma}(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left\{ \frac{y\mu - \frac{\mu^2}{2}}{2\sigma^2} - \frac{\frac{y^2}{\sigma^2} + \ln(2\pi\sigma^2)}{2} \right\}$$

Par identification :

$$\theta = \mu, \quad \phi = \sigma^2, \quad a(\phi) = \phi, \quad b(\theta) = \frac{\theta^2}{2}, \quad c(y, \phi) = \frac{1}{2} \left[ \frac{y^2}{\phi} + \ln(2\pi\phi) \right]$$

Ainsi la loi gaussienne appartient à la famille exponentielle.

- Loi Gamma :

Soit Y une variable aléatoire suivant une loi Gamma de paramètre  $r$  et  $\alpha$  (tous deux strictement positifs). La densité s'écrit :

$$f_{r,\alpha}(y) = \frac{\alpha^r}{\Gamma(r)} y^{r-1} \exp(-\alpha y) \quad \text{Où } \Gamma(x) = \int_0^\infty e^{-u} u^{x-1} du$$

La fonction de densité peut également être mise sous la forme :

$$f_{r,\alpha}(y) = \exp(-r \ln \alpha - \alpha \ln y - \alpha y + (r-1) \ln y - \ln(\Gamma(\alpha)))$$

Ainsi la loi Gamma appartient à la famille exponentielle avec :

$$\theta = -\alpha, \quad \phi = 1, \quad a(\phi) = 1, \quad b(\theta) = -r \ln(-\theta), \quad c(y, \phi) = (r-1) \ln y - \ln \Gamma(\alpha)$$

- ✓ Fonction de lien canonique

Pour une loi de probabilité appartenant à la famille exponentielle, la fonction de lien canonique  $G$  est celle qui permet d'écrire :  $\eta = G(\mu) = \theta$

Cette fonction de lien permet de simplifier la procédure d'estimation.

Le tableau suivant donne les fonctions de lien pour les différentes lois de la famille exponentielle :

Tableau 22: Fonctions de lien canonique

Loi de probabilité	Fonction de lien canonique
Normale	$g = \mu$
Poisson	$g = \ln(\mu)$
Gamma	$g = 1/\mu$
Binomiale	$g = \ln(\mu) - \ln(1 - \mu)$

✓ Estimation

L'appartenance de la distribution de  $Y$  à la famille exponentielle permet de calculer les estimateurs de maximum de vraisemblance des paramètres du modèle linéaire généralisé.

On admet les deux résultats suivants relatifs aux lois de la famille exponentielle :

$$E(Y) = \mu = b'(\theta)$$

Et : 
$$\text{Var}(Y) = V(\mu)a(\psi) = b''(\theta)a(\psi)$$

Comme leur nom l'indique, les estimateurs de maximum de vraisemblance reposent sur la maximisation de la fonction de vraisemblance ou celle du log-vraisemblance de l'échantillon étudié.

Pour des observations  $(Y_i, X_i)$ , où  $i = 1, \dots, n$ , la fonction de log-vraisemblance s'écrit :

$$l(\mathbf{Y}, \boldsymbol{\mu}, \psi) = \sum_{i=1}^n l(Y_i, \mu_i, \psi) = \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{Y_i \theta_i - b(\theta_i)}{a(\psi)} + c(Y_i, \psi) \right\}$$

Maximiser cette grandeur revient à maximiser :

$$\sum_{i=1}^n \{Y_i \theta_i - b(\theta_i)\}$$

On définit la déviance comme étant :

$$D = -2 \sum_{i=1}^n \{Y_i \theta_i - b(\theta_i)\}$$

La littérature propose généralement de minimiser la déviance, ce qui est équivalent à la maximisation de la vraisemblance.

Pour minimiser  $D$  nous introduisons son gradient comme suit :

$$\nabla(\beta) = \frac{\partial}{\partial \beta} \left[ -2 \sum_{i=1}^n \{Y_i \theta_i - b(\theta_i)\} \right] = -2 \sum_{i=1}^n \{Y_i - b'(\theta_i)\} \frac{\partial}{\partial \beta} \theta_i$$

Notre objectif est de résoudre :

$$\nabla(\beta) = 0$$

Généralement, résoudre ce problème revient à résoudre un système d'équations non-linéaires en  $\beta$ . Une approche itérative est donc nécessaire. La méthode généralement utilisée est la

méthode IRWLS (Iteratively reweighted least squares) qui repose sur l'algorithme de Newton-Raphson. Il est à noter que l'IRWLS est implémentée dans la plupart des logiciels statistiques, et donc il n'est pas nécessaire de la programmer étape-par-étape.

### III-2. Résultats des modèles linéaires généralisés pour les différents postes :

#### 1) Poste « pharmacie » :

L'objectif de cette partie est de mener une étude de l'effet des variables explicatives ainsi que leurs modalités sur le coût moyen et la fréquence des sinistres.

##### ➤ Modélisation du coût moyen :

Pour mesurer la qualité d'adéquation du modèle auquel s'ajuste notre coût moyen (respectivement fréquence) nous disposons de plusieurs statistiques d'analyse parmi lesquels nous citons: La Déviance, AIC, BIC, etc. Leur utilisation permet de comparer entre les modèles afin de choisir celui qui procure la meilleure qualité de représentation des données. Par la suite, et pour choisir le modèle d'ajustement le plus adéquat nous allons nous baser sur la statistique de la Déviance que nous définissons comme suit :

Une comparaison entre le modèle estimé et le modèle dit saturé, c'est-à-dire le modèle possédant autant de paramètres que d'observations et estimant donc exactement les données peut se faire grâce à la déviance standardisée notée  $D^*$  est définie à partir des équations du log de vraisemblance de la manière suivante :

$$D^*(\hat{\beta}, \theta) = -2 * [l(\hat{\beta}, \phi, Y) - l(Y, \phi, Y)] = -2 * \sum_i \frac{1}{a(\phi)} * [y_i * (\tilde{\theta}_i - \hat{\theta}_i - b(\tilde{\theta}_i) + b(\hat{\theta}_i))]$$

Avec :

- $l(\hat{\beta}, \phi, Y)$  : la log-vraisemblance maximisée par rapport à  $\beta$
- $\hat{\theta}_i$  : la valeur de  $\theta$  pour le modèle prédit :  $\hat{\theta} = \theta(\hat{\mu})$
- $\tilde{\theta}_i$  : la valeur de  $\theta$  déduite des observations :  $\tilde{\theta} = \theta(y)$
- $l(Y, \phi, Y)$  : le log de vraisemblance théorique maximal atteint pour le modèle qui colle exactement aux données observées

La quantité  $D(\hat{\beta}, \theta) = D^*(\hat{\beta}, \theta) * \phi$  est appelée la déviance.

Nous montrons que : Asymptotiquement  $D^*$  suit une loi de khi-deux à (n-p) degrés de liberté où n est le nombre d'observations du modèle et p est le nombre des paramètres.

Les deux modèles les plus classiques permettant de modéliser la charge des sinistres en assurance santé sont :

- ✓ Le modèle Gamma sur les coûts  $Y_i$ .
- ✓ Le modèle Log-normal sur les coûts  $Y_i$  ou plutôt un modèle Gaussien sur le logarithme des coûts  $\log(Y_i)$ .

Ainsi, la comparaison entre les déviations des lois Gamma et log-normale a démontré que le coût moyen du poste « pharmacie » s'ajuste le mieux à une loi Gamma, qui possède la déviance minimale.

Nous rappelons que la déviance mesure l'écart entre la vraisemblance théorique et celle de la distribution. Ainsi lors d'une comparaison, le modèle qui aura une déviance minimale sera jugé meilleur.

Lois	Log-normale	Gamma
<b>Déviance</b>	3525.243	2344.3424

Comme première application du modèle sous SAS, nous obtenons les tableaux suivants qui nous donnent les estimations des paramètres associés aux différentes modalités des variables explicatives:

Informations sur le modèle	
<b>Data Set</b>	MALADIE.CMPHARMA
<b>Distribution</b>	Gamma
<b>Link Function</b>	Log
<b>Dependent Variable</b>	CM
<b>Scale Weight Variable</b>	nbre_sinistre

Critère d'évaluation de l'adéquation			
Critère	DDL	Valeur	Valeur/DDL
<b>Deviance</b>	2591	2344.3793	0.9048
<b>Scaled Deviance</b>	2591	2822.5538	1.0894
<b>Pearson Chi-Square</b>	2591	2095.2787	0.8087

Critère d'évaluation de l'adéquation			
Critère	DDL	Valeur	Valeur/DDL
Scaled Pearson X2	2591	2522.6450	0.9736
Log Likelihood		-15555.1688	
Full Log Likelihood		-15555.1688	
AIC (smaller is better)		31132.3375	
AICC (smaller is better)		31132.4395	
BIC (smaller is better)		31196.8377	

A partir du tableau ci-dessus nous signalons aussi que plus la valeur de D/DDL (déviante / degré de liberté) est proche de 1, plus notre modèle est crédible.

Statistiques LR pour Analyse de Type 3			
Source	DDL	Khi-2	Pr > Khi-2
tranche_age	6	104.46	<.0001
TYPE_BENEFICIAIRE	2	24.23	<.0001
Sexe	1	17.71	<.0001

La significativité des variables est représentée par la colonne « Pr > Khi-2 » qui représente la p-value. Si la p-value d'une variable est faible alors celle-ci est significative. En général, les variables considérées comme significatives ont une p-value inférieure à 5%.

Analyse des valeurs estimées du paramètre de vraisemblance maximum								
Paramètre		DDL	Valeur estimée	Erreur type	Intervalle de confiance de		Khi-2 de Wald	Pr > Khi-2
					Wald à 95 %	de		
Intercept		1	5.4984	0.0375	5.4248	5.5720	21450.0	<.0001
tranche_age	1	1	-0.5488	0.0816	-0.7087	-0.3888	45.19	<.0001
tranche_age	2	1	-0.2590	0.0840	-0.4237	-0.0942	9.49	0.0021

Analyse des valeurs estimées du paramètre de vraisemblance maximum								
Paramètre	DDL	Valeur estimée	Erreur type	Intervalle de confiance de Wald à 95 %		Khi-2 de Wald	Pr > Khi-2	
tranche_age	3	1	-0.2054	0.0870	-0.3759	-0.0349	5.57	0.0182
tranche_age	4	1	-0.0401	0.0398	-0.1182	0.0380	1.02	0.3137
tranche_age	5	1	-0.0980	0.0374	-0.1714	-0.0247	6.86	0.0088
tranche_age	7	1	0.0834	0.0448	-0.0044	0.1712	3.47	0.0626
TYPE_BENEFICIAIRE	2	1	-0.1658	0.0384	-0.2410	-0.0905	18.66	<.0001
TYPE_BENEFICIAIRE	3	1	-0.2464	0.0737	-0.3908	-0.1020	11.19	0.0008
Sexe	2	1	-0.0709	0.0168	-0.1038	-0.0380	17.81	<.0001
Scale		1	1.2040	0.0309	1.1448	1.2662		

Ainsi, nous constatons que le test de WALD ne rejette pas l'hypothèse de significativité des variables. Nous en concluons que les variables requises contribuent significativement à l'explication de la variable coût moyen des sinistres. Néanmoins, il met en évidence la nécessité de regrouper certaines modalités dans une seule modalité.

Les modalités 4 et 7 de la variable tranche âge sont non significatives. Nous les avons alors regroupées avec les tranches d'âge ayant la Plus-value la plus proche. Cela a abouti au résultat suivant :

Analyse des valeurs estimées du paramètre de vraisemblance maximum								
Paramètre	DDL	Valeur estimée	Erreur type	Intervalle de confiance de Wald à 95 %		Khi-2 de Wald	Pr > Khi-2	
Intercept		1	5.5345	0.0336	5.4687	5.6003	27158.0	<.0001
tranche_age	1	1	-0.4676	0.0587	-0.5826	-0.3525	63.43	<.0001
tranche_age	2	1	-0.1783	0.0623	-0.3004	-0.0562	8.19	0.0042
tranche_age	3 & 4	1	-0.0716	0.0362	-0.1425	-0.0007	3.92	0.0477

Analyse des valeurs estimées du paramètre de vraisemblance maximum								
Paramètre	DDL	Valeur estimée	Erreur type	Intervalle de confiance de Wald à 95 %		Khi-2 de Wald	Pr > Khi-2	
tranche_age	5	1	-0.1301	0.0334	-0.1957	-0.0646	15.15	<.0001
TYPE_BENEFICIAIRE	2	1	-0.1715	0.0384	-0.2468	-0.0963	19.96	<.0001
TYPE_BENEFICIAIRE	3	1	-0.3617	0.0493	-0.4584	-0.2651	53.79	<.0001
Sexe	1	1	-0.0729	0.0168	-0.1057	-0.0400	18.85	<.0001
Scale		1	1.2007	0.0309	1.1417	1.2627		

Statistiques LR pour Analyse de Type 3			
Source	DDL	Khi-2	Pr > Khi-2
tranche_age	4	96.27	<.0001
TYPE_BENEFICIAIRE	2	58.22	<.0001
sexe	2	18.73	<.0001

Remarque : la constante du modèle est notée « Intercept » sous SAS.

➤ Modélisation de la fréquence :

La deuxième étape consiste à choisir la distribution de la variable fréquence des sinistres. La loi de Poisson et la loi Binomiale négative sont les deux lois utilisables pour modéliser la fréquence. Dans un premier temps, nous comparons ces deux modèles. Pour choisir le meilleur modèle, nous allons avoir recours au logiciel SAS pour effectuer les tests statistiques. Plusieurs tests permettent de s'assurer de la pertinence d'un tel choix.

Le résultat de notre comparaison est le suivant :

Lois	Binomial négative	Poisson
Déviance	6058.2	14442.630

Le test sur la qualité d'ajustement confirme que le modèle à distribution poisson n'est pas le bon. En effet la déviance de la loi Poisson dépasse celle de la binomiale négative. Nous en

concluons que le modèle à distribution binomiale négative est le plus susceptible d'être le modèle approprié.

Informations sur le modèle	
<b>Data Set</b>	MALADIE.PHARMACIE
<b>Distribution</b>	Negative Binomial
<b>Link Function</b>	Log
<b>Dependent Variable</b>	nbre_sinistre
<b>Offset Variable</b>	offset

Critère d'évaluation de l'adéquation			
Critère	DDL	Valeur	Valeur/DDL
<b>Deviance</b>	9628	6058.2447	0.6292
<b>Scaled Deviance</b>	9628	6058.2447	0.6292
<b>Pearson Chi-Square</b>	9628	8386.3665	0.8710
<b>Scaled Pearson X2</b>	9628	8386.3665	0.8710
<b>Log Likelihood</b>		-4196.3420	
<b>Full Log Likelihood</b>		-8740.6746	
<b>AIC (smaller is better)</b>		17501.3492	
<b>AICC (smaller is better)</b>		17501.3720	
<b>BIC (smaller is better)</b>		17573.0828	

Analyse des valeurs estimées du paramètre de vraisemblance maximum								
Paramètre	DDL	Valeur estimée	Erreur type	Intervalle de confiance de Wald à 95 %		Khi-2 de Wald	Pr > Khi-2	
Intercept	1	1.2019	0.1985	0.8128	1.5911	36.65	<.0001	
tranche_age	2	-1.1343	0.0872	-1.3052	-0.9635	169.41	<.0001	
tranche_age	3	-1.1588	0.1809	-1.5135	-0.8042	41.02	<.0001	
tranche_age	4	-0.9755	0.1994	-1.3663	-0.5847	23.94	<.0001	
tranche_age	5	-1.1084	0.2003	-1.5010	-0.7157	30.61	<.0001	
sexe	0	-0.1479	0.0656	-0.2765	-0.0193	5.08	0.0242	
sexe	1	-0.4940	0.0464	-0.5851	-0.4030	113.12	<.0001	
TYPE_BENEFICIAIRE	2	-0.1006	0.0717	-0.2410	0.0399	1.97	0.1605	
TYPE_BENEFICIAIRE	3	-0.5861	0.1967	-0.9717	-0.2005	8.88	0.0029	
Dispersion	1	1.9629	0.0747	1.8165	2.1093			

**Note:** The negative binomial dispersion parameter was estimated by maximum likelihood.

Statistiques LR pour Analyse de Type 3			
Source	DDL	Khi-2	Pr > Khi-2
tranche_age	4	202.44	<.0001
sexe	2	113.69	<.0001
TYPE_BENEFICIAIRE	2	9.66	0.0080

D'après les tableaux ci-dessus nous concluons que la modalité « conjoint » est non significative. Comme nous ne pouvons pas regrouper les modalités de la variable type bénéficiaire, nous éliminerons cette variable du modèle, ainsi :

Analyse des valeurs estimées du paramètre de vraisemblance maximum								
Paramètre		DDL	Valeur estimée	Erreur type	Intervalle de confiance de Wald à 95 %		Khi-2 de Wald	Pr > Khi-2
Intercept		1	0.6364	0.0537	0.5312	0.7417	140.38	<.0001
tranche_age	2	1	-1.1299	0.0871	-1.3007	-0.9592	168.24	<.0001
tranche_age	3	1	-0.7038	0.0830	-0.8665	-0.5412	71.94	<.0001
tranche_age	4	1	-0.4266	0.0572	-0.5387	-0.3144	55.58	<.0001
tranche_age	5	1	-0.5541	0.0598	-0.6714	-0.4369	85.76	<.0001
Sexe	0	1	-0.2068	0.0611	-0.3265	-0.0871	11.47	0.0007
Sexe	1	1	-0.4897	0.0459	-0.5797	-0.3997	113.67	<.0001
Dispersion		1	1.9710	0.0749	1.8243	2.1178		

**Note:** The negative binomial dispersion parameter was estimated by maximum likelihood.

Statistiques LR pour Analyse de Type 3			
Source	DDL	Khi-2	Pr > Khi-2
tranche_age	4	213.63	<.0001
sexe	2	113.62	<.0001

En guise de conclusion, les lois utilisées pour la modélisation de la fréquence et du coût moyen du poste Pharmacie sont respectivement la loi binomiale négative et la loi Gamma.

➤ Calcul de la prime pure du poste « Pharmacie » :

A l'aide des variables tarifaires, l'assureur subdivise son portefeuille en classes d'assurés identiques du point de vue des critères qu'il a sélectionnés. Une prime sera calculée pour chaque classe et sera appliquée aux individus de cette dernière.

Ensuite, à partir de la modélisation de la fréquence et du coût moyen, nous avons pu en s'appuyant sur les procédures du logiciel SAS, calculer les valeurs estimées des paramètres du modèle.

En se servant des fonctions de liens adaptées au modèle jugé adéquat et pour le coût et pour la fréquence, nous avons calculé les valeurs estimées de ces deux derniers pour chacune des variables tarifaires.

La prime de chaque segment sera, par ailleurs, calculée comme le produit du coût moyen et de la fréquence des sinistres. Ainsi, les modèles définitifs s'écrivent de la manière suivante :

Ainsi notre prime s'écrit sous la forme suivante :

$$\text{Prime Pure} = \exp\left(\sum_{i=0}^p \beta_i X_i\right) \times \exp\left(\sum_{i=0}^p \alpha_i X_i\right)$$

Avec :  $(\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p)$  sont les coefficients du modèle de la fréquence avec une fonction de lien logarithmique et  $(\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_p)$  sont ceux obtenus pour le modèle du coût moyen pour une fonction de lien logarithmique.

De plus, les coefficients  $\exp(\beta)$  s'interprètent par rapport à une classe de référence qui est constituée des modalités dont le paramètre  $\beta$  vaut 0 (elle n'est pas affichée sous SAS). Exemple : Pour le poste « pharmacie », cette classe de référence est représentée par les modalités « tranche d'âge 6&7 », « Femme » et type bénéficiaire « A » pour le coût moyen. Pour la fréquence, l'agent de référence est constitué de la « tranche d'âge 1 » et du sexe « Femme ».

Le choix des modalités de l'agent de référence n'affecte pas les résultats trouvés. En effet, toutes les informations contenues dans les modalités éliminées, sont reprises par la constante du modèle.

Si une modalité a un paramètre  $\beta$  supérieur à zéro, cela signifie que cette dernière contribue à l'aggravation du risque par rapport au cas de référence.

De la même façon, si une modalité est associée à un paramètre inférieur à 0, nous pouvons dire qu'il y a eu une réduction de la sinistralité par rapport à la classe de référence.

Tableau 23: Coefficient du modèle du coût moyen

COÛT MOYEN	Coefficient
Référence (>39ans & A & F)	253,285
<=2	0,626519
2_5	0,836716
5_32	0,930868
32_39	0,877974
C	0,842382
E	0,696462
Homme	0,929738

Tableau 24: Coefficient du modèle de fréquence

FREQUENCE	Coefficient
Référence (<=8ans & F)	1,889734
8_17	0,323052
17_28	0,494683
28_40	0,652751
>40	0,574567
Homme	0,612801

Ainsi nous obtenons la grille tarifaire suivante pour le poste pharmacie du produit étudié:

Tableau 25: Tarifs du poste Pharmacie

TARIF en DH	Assuré principal		Conjoint		Enfant	
	Homme	Femme	Homme	Femme	Homme	Femme
<=2					119	279
2_5					159	372
5_8					177	414
8_17					57	134
17_28	126	220	106	154		
28_32	166	291	140	203		
32_39	156	274	132	191		
39_40	178	312	150	218		
>40	157	275	132	192		

La grille tarifaire montre que la prime pure du poste « pharmacie » passe au double lors du passage du sexe masculin au sexe féminin.

Le reste des modèles coût moyen et fréquence des autres postes médicaux seront présentés en Annexe 4.

## 2) Poste « Maternité » :

Le poste maternité est un poste bien particulier. En effet, le coût moyen de ce poste prend trois valeurs précises 3000dhs, 5500dhs et 8000dhs qui représentent les forfaits<sup>5</sup> des actes : accouchement césarienne, accouchement normal et gémellaire, qui composent ce poste. la charge totale S est explicitée comme suit:

$$S = 3000 I_1 + 5500 I_2 + 8000 I_3$$

<sup>5</sup> Il s'agit d'un mode de remboursement pour lequel l'assureur rembourse son assuré par un montant fixe suite à un sinistre quel que soit le montant des frais réels engagés.

Avec :

S: le coût du poste maternité.

$$I_1 = \begin{cases} 1 & \text{si accouchement césarienne avec une probabilité } p_1 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$I_2 = \begin{cases} 1 & \text{si accouchement gemellaire avec une probabilité } p_2 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$I_3 = \begin{cases} 1 & \text{si accouchement normal avec une probabilité } p_3 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

D'où :

$$E(S) = 3000 p_1 + 5500 p_2 + 8000 p_3$$

$$\text{Avec : } p_1 + p_2 + p_3 = 1$$

Ainsi nous allons nous concentrer sur la probabilité d'avoir un accouchement de type césarienne, normal ou gémellaire :  $p_1, p_2, p_3$  et estimer cette dernière via un modèle logistique s'écrivant sous la forme :

$$\ln\left(\frac{p_j(1/X)}{1 - p_j(1/X)}\right) = \sum_i b_i x_i$$

$$\text{Avec } j = \{1, 2, 3\}$$

C'est à dire :

$$P(1/X) = \frac{e^{\sum_i b_i x_i}}{1 + e^{\sum_i b_i x_i}}$$

Une fois le coût moyen du poste maternité déterminé, l'estimation de la fréquence se fera via un modèle MLG de la même manière que les autres postes médicaux.

➤ Modélisation du coût moyen :

*Accouchement césarienne :*

Informations sur le modèle	
Table	MALADIE.MATERNITE
Variable de réponse	cesarienne
Nombre de niveaux de réponse	2
Modèle	logit binaire
Technique d'optimisation	Score de Fisher

Test de l'hypothèse nulle globale : BETA=0			
Test	Khi-2	DDL	Pr > Khi-2
Rapport de vrais	9.8202	1	0.0017
Score	7.9811	1	0.0047
Wald	6.6916	1	0.0097

Analyse des effets Type 3			
Effet	DDL	Khi-2 de Wald	Pr > Khi-2
tranche_age	1	6.6916	0.0097

Analyse des estimations de la vraisemblance maximum						
Paramètre		DDL	Valeur estimée	Erreur type	Khi-2 de Wald	Pr > Khi-2
Intercept		1	1.1527	0.1656	48.4699	<.0001
tranche_age	2	1	1.5989	0.6181	6.6916	0.0097

Estimations des rapports de cotes			
Effet	Valeur estimée du point	Intervalle de confiance de Wald à 95 %	
		tranche_age 2 vs 1	4.947

Ainsi, l'estimation via le modèle logistique de la probabilité pour la modalité « accouchement césarienne » a abouti aux résultats suivants :

Tableau 26: Probabilité d'accouchement type césarienne

césarienne	tranche âge	probabilité
<=34	T1	0,76
>34	T2	0,63

Accouchement normal :

Informations sur le modèle	
Table	MALADIE.MATERNITE
Variable de réponse	normal
Nombre de niveaux de réponse	2
Modèle	logit binaire
Technique d'optimisation	Score de Fisher

Test de l'hypothèse nulle globale : BETA=0			
Test	Khi-2	DDL	Pr > Khi-2
Rapport de vrais	9.4054	1	0.0022
Score	7.6563	1	0.0057
Wald	6.4557	1	0.0111

Analyse des effets Type 3			
Effet	DDL	Khi-2 de Wald	Pr > Khi-2
tranche_age	1	6.4557	0.0111

Analyse des estimations de la vraisemblance maximum						
Paramètre		DDL	Valeur estimée	Erreur type	Khi-2 de Wald	Pr > Khi-2
Intercept		1	-1.1803	0.1668	50.0884	<.0001
tranche_age	2	1	-1.5712	0.6184	6.4557	0.0111

Estimations des rapports de cotes			
Effet	Valeur estimée du point	Intervalle de confiance de Wald à 95 %	
tranche_age 2 vs 1	0.208	0.062	0.698

De la même façon, l'estimation de la probabilité pour la modalité « accouchement normal » donne le tableau qui suit :

Tableau 27: Probabilité d'accouchement type normal

Normal	tranche age	probabilité
<=34	T1	0,225
>34	T2	0,040

Des tableaux précédents nous déduisons donc le coût moyen de la garantie « maternité » pour les deux tranches d'âge suivantes :

Tableau 28: Coût moyen "Maternité"

	Forfait	3000	5500	8000	CM
<=34	T1	675	83	6080	6 838
>34	T2	122	1800	5058	6 979

➤ Modélisation de la fréquence :

La comparaison entre les déviations des modèles Poisson et Binomial négative nous a mené à opter pour une distribution de poisson. Ainsi, les paramètres estimés du modèle se présentent comme suit :

Informations sur le modèle	
<b>Data Set</b>	MALADIE.MATERNITE
<b>Distribution</b>	Poisson
<b>Link Function</b>	Log
<b>Dependent Variable</b>	nbre_sinistre
<b>Offset Variable</b>	offset

Critère d'évaluation de l'adéquation			
Critère	DDL	Valeur	Valeur/DDL
<b>Deviance</b>	7301	1041.7347	0.1427
<b>Scaled Deviance</b>	7301	1041.7347	0.1427
<b>Pearson Chi-Square</b>	7301	4200.2167	0.5753
<b>Scaled Pearson X2</b>	7301	4200.2167	0.5753
<b>Log Likelihood</b>		-769.5715	
<b>Full Log Likelihood</b>		-771.3633	
<b>AIC (smaller is better)</b>		1552.7266	
<b>AICC (smaller is better)</b>		1552.7348	
<b>BIC (smaller is better)</b>		1587.2088	

Analyse des valeurs estimées du paramètre de vraisemblance maximum							
Paramètre	DDL	Valeur estimée	Erreur type	Intervalle de confiance de Wald à 95 %		Khi-2 de Wald	Pr > Khi-2
Intercept	1	-1.8416	0.0921	-2.0221	-1.6612	400.21	<.0001
tranche_age	1	-3.7901	0.5084	-4.7865	-2.7936	55.57	<.0001
tranche_age	2	0.4429	0.1404	0.1678	0.7181	9.95	0.0016
tranche_age	4	-0.5753	0.1884	-0.9446	-0.2060	9.32	0.0023
tranche_age	5	-3.8294	0.5084	-4.8258	-2.8329	56.73	<.0001
Scale	0	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000		

**Note:** The scale parameter was held fixed.

Statistiques LR pour Analyse de Type 3			
Source	DDL	Khi-2	Pr > Khi-2
tranche_age	4	414.29	<.0001

Le tableau suivant résume les résultats obtenu à travers les Modèles Linéaires Généralisées pour la fréquence de la garantie Maternité :

Tableau 29:Fréquence "Maternité"

âge	tranche d'âge	fréquence
<21	T1	0,36%
21-28	T2	24,69%
28-35	T3	15,86%
35-39	T4	8,92%
>39	T5	0,34%

➤ Prime pure du poste « Maternité »:

Pour la garantie « maternité », la même technique de calcul explicitée précédemment et appliquée pour le poste « pharmacie » nous permet de trouver les tarifs suivants:

Tableau 30:Prime Pure du poste Maternité

Maternité	Fréquence	CM	Prime pure en dhs
<21	0,36%	6 837,50	25
21-28	24,69%	6 837,50	1 688
28-35	15,86%	6 837,50	1 084
35-39	8,92%	6 979,15	623
>39	0,34%	6 979,15	24

La grille tarifaire ci-dessus présente un tarif assez élevé pour les tranches d'âge 21-28 ans et 28-35 ans. Ce tarif est logique. En fait, cette période est connue pour être une période de forte fertilité chez les femmes.

Les grilles tarifaires du reste des postes médicaux seront détaillées en Annexe 4.

### *Conclusion :*

Les résultats obtenus suite à l'étude des coûts en consommation médicale sont globalement satisfaisants par rapport à ceux obtenus par l'approche classique. Néanmoins, il subsiste certains sauts entre les coefficients calculés via les modèles linéaires généralisés pour les tranches d'âges, ce qui aura pour effet de provoquer une importante variation du tarif lorsque l'assuré passe d'une tranche d'âge à une autre.

Remarque : Les deux derniers chapitres avaient pour but de réévaluer les tarifs du produit MHM déjà existant sur le marché. Ils sont totalement indépendants des chapitres suivants.

## *Chapitre 7: Tarification d'un produit d'hospitalisation à l'international*

### *Introduction :*

Ce chapitre portera sur la tarification d'un produit santé qui sera prochainement commercialisé par LMV et qui garantit une couverture hospitalière de ses assurés aussi bien au Maroc qu'à l'étranger.

L'intérêt d'un tel produit par rapport à un produit santé « habituel » est primordial car il permet de rembourser 100% des dépenses effectivement réalisées à l'étranger. En effet, en souscrivant à une assurance maladie « habituelle » l'assureur s'engage à rembourser les frais de santé sur la base des tarifs marocains. Or, les tarifs des soins à l'étranger sont souvent beaucoup plus élevés que ceux au Maroc.

Le premier objectif de ce chapitre est de concevoir une base tarifaire pour ce nouveau type de produit sur la base de statistiques bien déterminées, puis de réaliser un tarif approprié aux différentes garanties de ce dernier.

Le produit sera nommé « produit HI » dans toute la suite du chapitre.

### *I-Conception de la base de données (collecte des données) :*

Il est utile de savoir qu'à l'étranger, les coûts des soins de santé sont très variables d'un pays à un autre, et peuvent être parfois bien supérieurs à ceux supportés par une assurance santé au Maroc. Par exemple, la consultation d'un généraliste ne dépasse pas les 200 dhs au Maroc mais coûte en moyenne 900 dhs aux Etats-Unis, et une journée d'hospitalisation qui coûte environ 8000 dhs en France, ne revient au Maroc qu'à 3000 dhs en moyenne.

Pour cette raison, nous avons eu recours à des frais de soins hospitaliers de référence tantôt en Europe qu'en USA et RDM <sup>6</sup> qui serviront, par la suite, d'hypothèse à notre tarification. Ces frais reflètent les dépenses hospitalières moyennes par personne selon la territorialité concernée et ont été collectés à partir de plusieurs références médicales fiables (Voir bibliographie).

Le tableau résumant les frais des soins médicaux de référence en Europe est :

---

<sup>6</sup> Reste du monde

Tableau 31:Frais des soins médicaux en Europe

Garantie	Frais en euro ou dollars	Frais en MAD
<b>Traumatisme dentaire</b>	1402\$	13 517
<b>Oncologie (chimio/séance)</b>	481,5\$	5 276
<b>Dialyse</b>	1364 \$	13 150
<b>Réanimation et soins intensifs</b>	3189€	34 943
<b>Hospitalisation à domicile</b>	238€	2 604
<b>Accouchement normal</b>	3 541\$	34 139
<b>Accouchement césarienne</b>	5 328\$	51 368
<b>Séjour en hôpital</b>	853 \$	8 224
<b>Diagnostic</b>	363\$	3 500
<b>Kiné et rééducation</b>	20,43	224
<b>Greffes</b>	52 526,82\$	704 739
<b>Consultation</b>	30\$	289
<b>chirurgie</b>	2604,38€	28 537
<b>psychiatrie par jour</b>	650€	7 122

De même les frais médicaux de référence en USA et RDM sont les suivants :

Tableau 32:Frais des soins médicaux USA et RDM

Garantie	Frais en MAD
<b>Traumatisme dentaire</b>	16 390
<b>Oncologie (chimio/séance)</b>	15 828
<b>Dialyse</b>	6 643
<b>Réanimation et soins intensifs</b>	104 828
<b>Hospitalisation à domicile</b>	7 812
<b>Accouchement normal</b>	96 430
<b>Accouchement césarienne</b>	146 930
<b>Séjour en hôpital</b>	41 389
<b>Diagnostic</b>	10 075
<b>Kiné et rééducation</b>	672
<b>Greffes</b>	2 114 218
<b>Consultation</b>	916
<b>chirurgie</b>	85 611
<b>psychiatrie par jour</b>	21 367

Les frais originellement en Euro ou Dollars ont été convertis en Dirham Marocain via les taux de change moyens annuels suivants :

Tableau 33:Taux de change

Taux de change \$/ dhs	9,64
Taux de change €/dhs	10,95

## II-Tarification du produit HI

Le traitement santé à l'international est un nouveau créneau pour LMV. Par manque d'expérience et de statistiques toujours adaptables, plusieurs hypothèses prudentielles ont été considérées pour diminuer le risque d'une tarification inappropriée.

### 1) Fréquence du produit HI :

Afin de tarifier le produit HI et à cause de l'indisponibilité des données relatives à ce nouveau produit, nous avons eu recours à une base de données d'anciens produits santé dont dispose LMV. Ces produits s'étalent sur un historique assez volumineux allant de l'année 1997.

Les données relatives aux anciens produits santé ne seront pas détaillées dans notre rapport pour des raisons de confidentialité.

Nous ferons référence à ces produits dans ce qui suit par « produits classiques ».

Dans le but de concevoir un tarif pour le nouveau produit HI nous appliquerons par prudence des hypothèses de passage à la fréquence (hypothèses d'aggravation de sinistralité à l'étranger par rapport au Maroc). Ces hypothèses servent à se prémunir contre toute sous tarification. Elles tirent leur légitimité de la préférence des assurés de se soigner à l'étranger, cherchant par ce fait des soins médicaux de meilleure qualité ou des services médicaux rarement offerts au Maroc (transplantation d'organes...).

Ainsi la fréquence du produit HI sera calculée sur deux étapes :

- 1ère étape : calcul de la fréquence Maroc qui est une fréquence moyenne par tranche d'âge des produits classiques résultante de l'approche empirique (similaire à celle appliquée au Chapitre 5).
- 2ème étape : calcul de la fréquence étranger via l'application d'un coefficient d'aggravation de sinistralité sur la fréquence Maroc.

Autrement dit :

Fréquence étranger pour la tranche d'âge (i) = Fréquence Maroc tranche d'âge (i) \* un coefficient d'aggravation de la sinistralité

Remarque : Nous qualifions d'« étranger » tout pays différent du Maroc. Ainsi, nous adoptons les mêmes hypothèses d'aggravation de sinistralité pour passer de la fréquence Maroc à celles

des autres pays. Nous supposons par cela que le comportement consommatoire des assurés reste la même partout à l'extérieur de leur pays d'origine, le Maroc.

## 2) Coût moyen du produit HI :

Après avoir collecté les frais des soins hospitaliers nécessaires à notre tarification et sachant que le produit HI garantit un remboursement total des frais (Montant remboursé= 100% des frais engagés). Nous avons, à travers ces frais, procédé à la construction d'un coût moyen pondéré. Ce coût aura pour but de refléter la consommation hospitalière moyenne annuelle d'un assuré type ou de référence. Nous supposons que les frais d'hospitalisation engagés ne dépendent pas de l'âge.

En effet, nous allons affecter à chaque garantie du produit HI un poids qui reflète le degré de consommation de cette dernière par rapport à la globalité des soins garantis par le produit.

Les poids utilisés varient dans un intervalle de 1 à 4. C'est-à-dire un classement ascendant des garanties, de celles jugées rarement fréquentées à celles reconnues comme très fréquentées. Il est à noter que ce classement est d'un point de vue consommation moyenne annuelle des assurés.

Ces poids nous ont été communiqués par LMV qui, grâce à une présence assez longue sur le marché de l'assurance maladie, a développé un classement quantifié des actes médicaux les plus ou les moins demandés en hospitalisation.

Ainsi :  $Cost\ moyen\ pondéré\ du\ produit\ HI = \frac{\sum\ Frais\ conventionnels\ pondérés}{\sum\ Poids}$

De plus, les poids utilisés pour cette fin se présentent ainsi :

Tableau 34:Poids des actes médicaux

Acte médical	Poids
Traumatisme dentaire	1
Oncologie (chimio par séance)	4
Dialyse	4
Réanimation et soins intensifs	3
Hospi à domicile	2
Accouchement normal	3
Accouchement césarienne	3
Séjour en hôpital	4
Diagnostic	2
Kiné et rééducation	1

<b>Greffes</b>	1
<b>Consultation</b>	2
<b>Chirurgie</b>	4
<b>Psychiatrie par jour</b>	1
<b>Assistance</b>	2

Avec :

Tableau 35: Signification des Poids

<b>Poids</b>	<b>Signification</b>
1	Peu fréquent
2	Moyennement fréquent
3	Fréquent
4	Très fréquent

Finalement, en appliquant la formule expliquée ci-dessus nous obtenons un coût moyen annuel pondéré de :

Pour la territorialité « Europe » : 31.777 DH par an

Pour la territorialité « USA et RDM » : 87.448 DH par an

### 3) Tarif du produit HI :

Le produit HI est un produit destiné au grand public (entreprises et particuliers) et donc se présente sous différentes gammes selon la territorialité de couverture choisie et la variété des besoins à répondre, nous distinguons alors :

- Un produit HI *haute gamme* avec option « Monde entier » : Couvre l'assuré quelque soit le territoire de l'hospitalisation, et pour l'ensemble des garanties offertes par le produit. Nous noterons ce produit *haute gamme\**.
- Un produit HI *haute gamme* avec option « Afrique et Europe avec exception Suisse » : Couvre l'assuré sur le territoire Africain et Européen, excepté la Suisse qui possède un système d'hospitalisation propre à elle-même, pour l'ensemble des garanties offertes par le produit.
- Un produit HI *bonne gamme* : Couvre l'assuré sur les territoires Africain et Européen mais ne prend pas en charge les garanties accouchement et assistance médical.

Ainsi et selon chaque type de produit (Haute, Bonne), le tarif est conçu comme étant un cumul de sous tarifs couvrant le risque lié à chaque territoire.

Les formules adoptées pour le calcul du tarif sont les suivantes :

Tarif *bonne gamme* tranche d'âge(i) = Tarif Maroc tranche d'âge(i) + Fréquence étranger tranche d'âge(i) \* Coût moyen pondéré Europe excluant les garanties accouchement et assistance

Tarif *haute gamme* tranche d'âge(i) = Tarif Maroc tranche d'âge(i) + Fréquence étranger tranche d'âge(i) × Coût moyen pondéré Europe

Tarif *haute gamme\** tranche d'âge(i) = Tarif Maroc tranche d'âge(i) + Tarif *moyenne gamme* tranche d'âge(i) + Fréquence étranger tranche d'âge(i) × Coût moyen pondéré USA et RDM

## II-2. Mise en œuvre :

L'application de l'approche empirique pour le calcul de la fréquence annuelle des produits classiques a abouti au tableau suivant :

Tableau 36: Fréquence annuelle Maroc par tranche d'âge

Fréquence annuelle Maroc	0-18	19-30	31-40	41-50	51-60	61-79	>80
1997	1,28%	1,36%	1,59%	0,99%	4,65%	5,58%	6,70%
1998	1,54%	2,11%	1,50%	2,67%	4,32%	5,18%	6,22%
1999	2,53%	2,07%	2,09%	3,70%	5,11%	6,13%	7,36%
2000	1,92%	1,63%	3,28%	5,00%	14,71%	17,65%	21,18%
2001	1,64%	1,98%	3,78%	5,57%	13,92%	16,71%	20,05%
2002	1,91%	2,06%	1,61%	3,11%	18,33%	22,00%	26,40%
2003	2,23%	2,13%	3,11%	4,60%	10,09%	12,11%	14,53%
2004	2,41%	2,21%	2,78%	4,63%	15,58%	18,70%	22,44%
2005	2,28%	2,28%	2,40%	8,03%	18,57%	22,28%	26,74%
2006	1,26%	2,28%	1,89%	3,23%	20,29%	24,35%	29,21%
2007	1,56%	2,40%	2,48%	6,90%	17,14%	20,57%	24,69%
2008	1,93%	2,27%	1,91%	3,05%	25,61%	30,73%	36,88%
2009	1,45%	2,18%	2,05%	8,37%	24,67%	29,60%	35,53%
2010	1,42%	2,45%	2,04%	11,86%	26,31%	31,57%	37,88%
2011	1,68%	1,69%	4,35%	7,89%	16,39%	19,67%	23,61%
2012	2,50%	2,34%	4,11%	3,89%	26,50%	31,80%	38,16%
2013	2,24%	2,60%	3,04%	21,88%	27,85%	33,42%	40,10%
2014	2,67%	2,02%	1,57%	14,12%	29,20%	35,04%	42,05%
2015	2,55%	2,40%	1,63%	13,43%	30,55%	36,66%	43,99%

Nous en déduisons par conséquent une fréquence étranger à travers l'application de l'hypothèse d'aggravation de sinistralité qui affirme que :

« La sinistralité des assurés est doublement fréquente à l'étranger par rapport au Maroc »

Cette hypothèse reste une mesure prudentielle que nous avons décidé d'adopter, après coopération avec l'équipe actuarielle de LMV, pour éviter toute sous tarification c'est-à-dire le risque d'avoir un tarif qui ne couvre pas la totalité des engagements dû par l'assureur.

Ainsi, l'hypothèse de passage adoptée peut être résumée à travers la formule :

Fréquence étranger pour la tranche d'âge(i)=2\*Fréquence Maroc pour la tranche d'âge(i)  
(calculée à partir des produits santé classiques)

L'application de cette hypothèse fournit le tableau des fréquences annuelles à l'étranger suivant :

Tableau 37:Fréquence annuelle étranger par tranche d'âge

Fréquence annuelle étranger	0-18	19-30	31-40	41-50	51-60	61-79	>80
1997	2,56%	2,72%	3,19%	1,98%	9,30%	11,16%	13,40%
1998	3,08%	4,22%	3,00%	5,35%	8,63%	10,36%	12,43%
1999	5,07%	4,15%	4,18%	7,41%	10,22%	12,26%	14,72%
2000	3,85%	3,25%	6,56%	10,00%	29,41%	35,29%	42,35%
2001	3,28%	3,96%	7,56%	11,14%	27,85%	33,42%	40,10%
2002	3,83%	4,11%	3,23%	6,22%	36,67%	44,00%	52,80%
2003	4,45%	4,26%	6,21%	9,21%	20,18%	24,22%	29,06%
2004	4,82%	4,42%	5,56%	9,26%	31,17%	37,40%	44,88%
2005	4,55%	4,57%	4,80%	16,06%	37,14%	44,57%	53,48%
2006	2,52%	4,57%	3,78%	6,45%	40,58%	48,69%	58,43%
2007	3,13%	4,81%	4,96%	13,79%	34,29%	41,14%	49,37%
2008	3,86%	4,55%	3,81%	6,11%	51,22%	61,46%	73,76%
2009	2,91%	4,36%	4,11%	16,74%	49,34%	59,21%	71,05%
2010	2,84%	4,90%	4,07%	23,71%	52,62%	63,14%	75,77%
2011	3,37%	3,39%	8,70%	15,77%	32,79%	39,34%	47,21%
2012	5,00%	4,69%	8,21%	7,77%	53,00%	63,60%	76,33%
2013	4,48%	5,21%	6,08%	43,75%	55,70%	66,84%	80,21%
2014	5,35%	4,04%	3,15%	28,24%	58,40%	70,08%	84,09%
2015	5,10%	4,81%	3,27%	26,87%	61,10%	73,31%	87,98%

De la même façon que les fréquences Maroc, l'application de l'approche empirique aux données des produits classiques a abouti aux coûts moyens Maroc par années qui suivent :

Tableau 38: Coût moyen annuel Maroc par tranche d'âge

Coût moyen annuel en dhs	0-18	19-30	31-40	41-50	51-60	61-79	>80
1 997	3 176	5 702	6 821	23 881	9 141	10 135	12 162
1 998	3 873	5 462	3 826	7 606	11 641	6 037	7 245
1 999	2 588	6 967	4 552	16 827	12 549	10 445	12 535
2 000	6 509	4 598	6 019	20 475	27 742	5 372	6 447
2 001	4 749	3 401	5 449	28 151	9 811	14 334	17 201
2 002	2 577	9 602	3 094	9 146	8 400	23 508	28 210
2 003	3 974	7 596	5 366	7 005	17 768	2 863	3 436
2 004	2 281	5 272	5 927	8 205	13 621	3 474	4 169
2 005	3 093	5 588	3 831	7 849	12 119	25 192	30 230
2 006	2 383	18 641	5 293	7 486	12 638	12 865	15 438
2 007	2 604	4 628	3 190	6 646	7 026	15 224	18 269
2 008	5 848	2 729	4 047	6 258	10 086	14 317	17 181
2 009	2 607	3 878	2 523	7 813	7 268	11 537	13 844
2 010	1 864	3 525	6 160	6 003	6 537	11 779	14 135
2 011	1 820	2 182	5 249	7 598	11 400	15 151	18 181
2 012	2 444	3 461	5 312	5 984	6 073	20 649	24 778
2 013	2 200	4 299	6 865	4 621	9 983	18 950	22 740
2 014	2 062	3 696	7 017	6 241	6 747	7 885	9 462
2 015	1 549	9 370	2 742	6 404	12 088	9 564	11 477

L'agrégation de ses fréquences annuelles et coûts moyens annuels via une moyenne sur les années et sur les tranches d'âge nous a permis de trouver les résultats suivants :

Fréquence moyenne Maroc :

Tableau 39: Fréquence moyenne Maroc

Tranche d'âge	Fréquence
0-18	1,95%
19-30	2,13%
31-40	2,48%
41-50	7,00%
51-60	18,41%
61-79	22,09%
>80	26,51%

Fréquence moyenne étranger :

Tableau 40: Fréquence moyenne étranger

Tranche d'âge	Fréquence
0-18	3,896%
19-30	4,262%

<b>31-40</b>	4,970%
<b>41-50</b>	13,990%
<b>51-60</b>	36,821%
<b>61-79</b>	44,185%
<b>&gt;80</b>	53,022%

Coût moyen Maroc (produits classiques) :

Tableau 41:Coût moyen Maroc

Tranche d'âge	Coût moyen en dhs
<b>0-18</b>	3 063
<b>19-30</b>	5 821
<b>31-40</b>	5 821
<b>41-50</b>	10 221
<b>51-60</b>	11 191
<b>61-79</b>	12 594
<b>&gt;80</b>	15 113

Nous remarquons à partir des tableaux ci-dessus que les coûts moyens et les fréquences augmentent simultanément avec l'âge chose qui est tout à fait justifiable vue que : le risque qu'un assuré tombe malade augmente au fil des années, et plus l'assuré est âgé plus son hospitalisation devient coûteuse.

Prime pure Maroc pour les produits santé classiques :

L'approche classique « Fréquence\*Coût » donne une prime pure Maroc par tranche d'âge :

Tableau 42:Prime pure Maroc

Tranche d'âge	Prime pure Maroc en dhs
<b>0-18</b>	119
<b>19-30</b>	248
<b>31-40</b>	289
<b>41-50</b>	1 430
<b>51-60</b>	4 121
<b>61-79</b>	5 565
<b>&gt;80</b>	8 013

### Tarifs du produit HI :

Une fois les fréquences et coûts moyens calculés, la prime pure (PP) est la simple résultante du produit entre les deux. Cependant chaque gamme de produit dispose d'une franchise annuelle qui devrait être prise en compte lors du calcul tarifaire.

En effet, la franchise correspond au montant restant à la charge de l'assuré après le remboursement d'un sinistre. Elle permet à l'assureur d'éviter les petits sinistres qui coûtent plus cher en frais de gestion qu'en remboursement et diminuer l'aléa moral<sup>7</sup>.

Le choix d'un assuré entre une police d'assurance sans ou avec franchise (une franchise variant de 5 000dh à 30 000dhs) dépend globalement de son estimation de sa probabilité de tomber malade. Ce choix dépend aussi de sa situation financière, de son état de santé et de son appétence aux risques. Ainsi, les franchises permettent, pour l'assuré, de diminuer la prime, en contrepartie d'une restriction des garanties offertes.

La considération de la franchise dans le calcul de la prime pure est réalisée à travers la formule ci dessous :

Prime pure {haute, haute\*, bonne} gamme avec franchise tranche d'âge(i)= (Coût moyen annuel pondéré - Montant de la franchise) × fréquence étranger de la tranche d'âge(i) +Tarif Maroc tranche d'âge(i)

Remarque : Le tarif Maroc n'est pas affecté par la franchise car l'assureur garantit une prise en charge globale des frais d'hospitalisation engagés au Maroc. En effet, par ce biais LMV motive ses assurés à se soigner au sein du royaume où les frais des soins hospitaliers sont jugés assez abordables.

Le passage de la prime pure au tarif de vente ou prime commerciale (PC) se fait à travers les taux suivants :

<b>TVA</b>	<b>14%</b>
<b>Taux d'acquisition</b>	<b>12%</b>
<b>Taux de gestion</b>	<b>25%</b>

---

<sup>7</sup> C'est la possibilité qu'un assuré augmente son appétence au risque, par rapport à la situation où il n'était pas couvert par une police d'assurance (l'assuré devient moins averse au risque car il ne paie pas lorsqu'un sinistre survient). Les cas où l'assuré provoque délibérément le sinistre pour être remboursé (fraudes) peuvent être considérés comme les cas extrêmes de l'aléa moral.

Et grâce à la formule suivante :

$$PC = \left( \frac{\text{Prime pure}}{(1 + \text{taux d'acquisition}) * (1 + \text{taux de gestion})} \right) * (1 + TVA)$$

Finalement, les tarifs du produit HI sont présentés selon les 7 tranches d'âge successives prédéfinies par LMV et selon les différentes gammes et différentes franchises du produit comme suit :

Haute gamme\* :

Tableau 43: Tarifs Haute Gamme\*

<b>Tarifs MONDE</b>									
	Sans franchise		5 000,00		10 000,00		30 000,00		
Tranche d'âge	PP	PC	PP	PC	PP	PC	PP	PC	
<b>0-18</b>	4 765	8 230	4 375	7 557	3 986	6 884	2 427	4 192	
<b>19-30</b>	5 329	9 205	4 903	8 469	4 477	7 733	2 772	4 788	
<b>31-40</b>	6 214	10 734	5 717	9 875	5 220	9 017	3 232	5 583	
<b>41-50</b>	18 110	31 281	16 711	28 864	15 312	26 448	9 716	16 782	
<b>51-60</b>	48 020	82 944	44 338	76 584	40 656	70 224	25 928	44 784	
<b>61-79</b>	58 244	100 603	53 825	92 971	49 407	85 339	31 733	54 811	
<b>&gt;80</b>	71 228	123 030	65 926	113 872	60 624	104 713	39 415	68 080	

Haute gamme :

Tableau 44: Tarifs Haute Gamme

<b>Tarifs Afrique et Europe avec exception Suisse</b>									
	sans franchise		5 000,00		10 000,00		30 000,00		
Tranche d'âge	PP	PC	PP	PC	PP	PC	PP	PC	
<b>0-18</b>	1 358	2 345	1 163	2 008	968	1 672	189	326	
<b>19-30</b>	1 602	2 768	1 389	2 400	1 176	2 032	324	559	
<b>31-40</b>	1 868	3 227	1 620	2 798	1 371	2 369	378	652	
<b>41-50</b>	5 876	10 149	5 176	8 941	4 477	7 732	1 679	2 899	
<b>51-60</b>	15 821	27 328	13 980	24 148	12 139	20 968	4 775	8 248	
<b>61-79</b>	19 605	33 863	17 396	30 047	15 187	26 231	6 350	10 968	
<b>&gt;80</b>	24 862	42 943	22 211	38 364	19 559	33 784	8 955	15 468	

Moyenne gamme :

Tableau 45: Tarifs Moyenne Gamme

<b>Tarifs Afrique et Europe excluant les garanties accouchement et assistance</b>								
sans franchise		5 000,00		10 000,00		30 000,00		
Tranche d'âge	PP	PC	PP	PC	PP	PC	PP	PC
<b>0-18</b>	1 240	2 141	1 045	1 805	850	1 468	71	122
<b>19-30</b>	1 474	2 545	1 261	2 177	1 047	1 809	195	337
<b>31-40</b>	1 718	2 968	1 470	2 539	1 221	2 110	227	393
<b>41-50</b>	5 453	9 419	4 754	8 211	4 054	7 002	1 256	2 169
<b>51-60</b>	14 709	25 406	12 868	22 226	11 027	19 046	3 663	6 326
<b>61-79</b>	18 270	31 558	16 061	27 742	13 852	23 926	5 015	8 662
<b>&gt;80</b>	23 260	40 176	20 609	35 597	17 958	31 018	7 353	12 701

Nous remarquons suite à ces grilles tarifaires que les tarifs augmentent aussi bien avec l'élargissement de la territorialité qu'avec l'expansion des garanties couvertes par le contrat d'assurance. Autrement dit, il existe une relation directe entre le risque encouru et le tarif conçu pour le couvrir.

#### *Conclusion :*

Les tarifs obtenus grâce à la méthode empirique sont assez bons. Or, pour juger de la rentabilité du produit HI et de la justesse de ses tarifs une étude de viabilité paraît nécessaire. En effet, dans le nouveau contexte réglementaire solvabilité 2, cette étude consistera à définir plusieurs scénarii à un horizon fixé qui seront appliqués au portefeuille santé HI afin de mesurer leurs évolutions.

## *Chapitre 8: Solvabilité 2, Capital réglementaire et Rentabilité*

### *Introduction :*

Après le calcul des tarifs du produit HI, cette partie vient analyser leurs rentabilités. Elle a pour but de tester la viabilité des tarifs proposés précédemment et voir leurs impacts sur les exigences futures en capital sous les normes réglementaires solvabilité II.

En effet, l'entrée en vigueur de Solvabilité II va rajouter des contraintes supplémentaires sur le calcul du capital cible « Solvency Capital Requirement ».

Ces contraintes seront calculées en formule standard pour la branche d'activité relative aux frais de santé, à laquelle appartient notre portefeuille. Elles seront présentées comme composante du compte de résultats prévisionnel, vu la simplicité de cet outil.

Ainsi, nous allons d'abord exposer le cadre théorique de la nouvelle réglementation Solvabilité II. Puis dans le cadre de sa mise en œuvre, nous allons établir un compte de résultats déterministe avec des hypothèses de projection centrales. Ensuite, nous construirons un nouveau compte résultat à travers la simulation stochastique des paramètres autour des hypothèses centrales.

Finalement, pour s'assurer de la pertinence du tarif du produit HI nous allons définir un simulateur de chocs. Ce simulateur a pour objectif généré des inputs stressés et aboutir à des indices de rentabilité pessimistes.

Une étude réversible ciblera via un seuil de rentabilité bien déterminé à l'avance, notre prime sous solvabilité 2.

Remarque : Nous ne prendrons pas en compte la réassurance dans nos calculs.

### *I- De Solvabilité I à Solvabilité II :*

Depuis l'instauration de Solvabilité 1, des modifications ont été faites en vue d'améliorer le cadre réglementaire. Avec solvabilité 1 l'assureur est tenu d'avoir des fonds propres au moins égales à sa marge de solvabilité.

#### **I-1. Critique de solvabilité 1 :**

- Un régime prudentiel trop simpliste, sans prise en compte de la diversité des risques portés par les entreprises d'assurances
- Des aspects groupes peu ou mal appréhendés, le régime s'appuyant principalement sur le contrôle « solo »

- Une harmonisation européenne insuffisante, génératrice de limites au développement d'un marché européen unique de l'assurance.

## I-2. Les objectifs de la solvabilité 2 :

Au vu des critiques et insuffisances soulevées à l'encontre de Solvabilité 1, le futur régime prudentiel s'est vu assigner des objectifs ambitieux :

- Renforcer l'intégration du marché européen de l'assurance
- Améliorer la protection des preneurs d'assurance et des ayants droit
- Renforcer la compétitivité des assureurs et réassureurs européens au niveau international
- Promouvoir une meilleure réglementation

Ainsi, le nouveau régime prudentiel devra assurer un équilibre entre la protection des assurés et le coût du capital pour les assureurs, donc favoriser une approche fondée sur le profil de risque particulier de l'entreprise d'assurance.

Il devra également promouvoir une bonne gestion des risques et responsabiliser les assureurs en leur donnant plus de liberté.

## II-La Directive Solvabilité II :

La Directive s'articule autour de trois piliers : un premier pilier quantitatif de mesure de l'exposition au risque et de calcul de capital à mobiliser face à ces risques, un second pilier plus qualitatif, insistant sur la gouvernance des entreprises et le rôle des régulateurs nationaux, et enfin un troisième pilier, axé sur la diffusion simple et rapide de l'information entre les différentes parties prenantes à l'évaluation des risques (équipes au sein de l'entreprise, comité de direction, superviseurs, etc). Le tableau suivant résume ces trois piliers :

Tableau 46: Les 3 piliers de la directive Solvabilité 2

<b>PILIER 1 : Exigences quantitatives</b>	<b>PILIER 2 : Exigences qualitatives</b>	<b>PILIER 3 : Transparence et discipline du marché</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Provisions techniques</li> <li>○ SCR</li> <li>○ MCR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Système de gouvernance</li> <li>○ Gestion des risques</li> <li>○ Audit et Contrôle interne</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Information pour les superviseurs</li> <li>○ Information publique</li> </ul>

Au niveau des exigences quantitatives, les deux principaux changements correspondent au passage du bilan d'une vision comptable à une vision économique et à la refonte du calcul de l'exigence de marge de solvabilité réglementaire. Désormais, deux niveaux de capital requis doivent être déterminés : le capital de solvabilité requis (SCR), le capital requis minimum (MCR).

Sans oublier l'importance d'évaluer les provisions mathématiques à leurs valeurs Best Estimate.

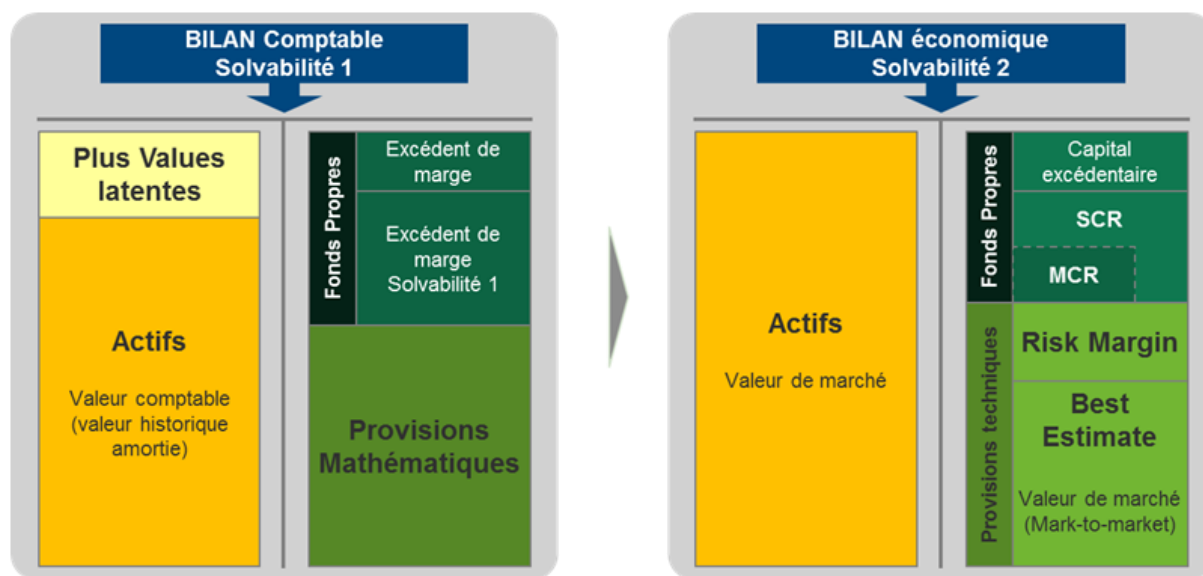


Figure 16: Comparaison du bilan sous les normes Solvabilité 1 et 2

### III-Le risque santé : Classification Santé SLT / Santé non SLT

Le module risque santé dans LMV particulièrement et au Maroc globalement reflète des risques découlant des engagements d'assurance non-vie. Il tient compte de l'incertitude pesant sur les résultats de l'organisme dans le cadre des engagements existants ainsi que ceux attendues dans les années à venir.

Le calcul d'un SCR Santé SLT requiert des chocs sur les taux de mortalité, les taux de morbidité etc, le SCR Santé Non-SLT par contre repose sur deux sous-modules de risque : primes/ provisions et rachats. Notre portefeuille étant composé de contrats annuels, nous ne prendrons pas en compte le risque de rachat. Les deux sous-module de risque : risque de prime et risque de provisionnement s'appuient sur les volumes des montants mis en jeu et sur une mesure de la volatilité. Cette volatilité dépend de la branche dans laquelle se situe la garantie, appelée LoB ou Lines Of Business.

Les LoB sont une segmentation des garanties dans le but d'un calcul mieux adapté des engagements liées à une activité considérée. En Santé Non-SLT, il existe trois LoB :

- **Les frais de santé** : liés à tout traitement ou soin, curatif ou préventif, pour maladies, accidents ou infirmités non consécutifs à un accident du travail.
- **La protection des revenus** : compensation financière suite à une maladie, accident ou infirmité non consécutif à un accident du travail.
- **La compensation pour salariés** : soins, traitements ou compensations financières relatifs à une maladie professionnelle ou à un accident du travail.

Le SCR associé à notre portefeuille santé étudié sera donc un SCR Santé Non-SLT. Plus spécifiquement, Les textes actuels laissent penser que le traitement des produits santé pourrait être classée dans la LoB « **frais de santé** ».

Enfin, La cartographie des risques se présente comme suit :

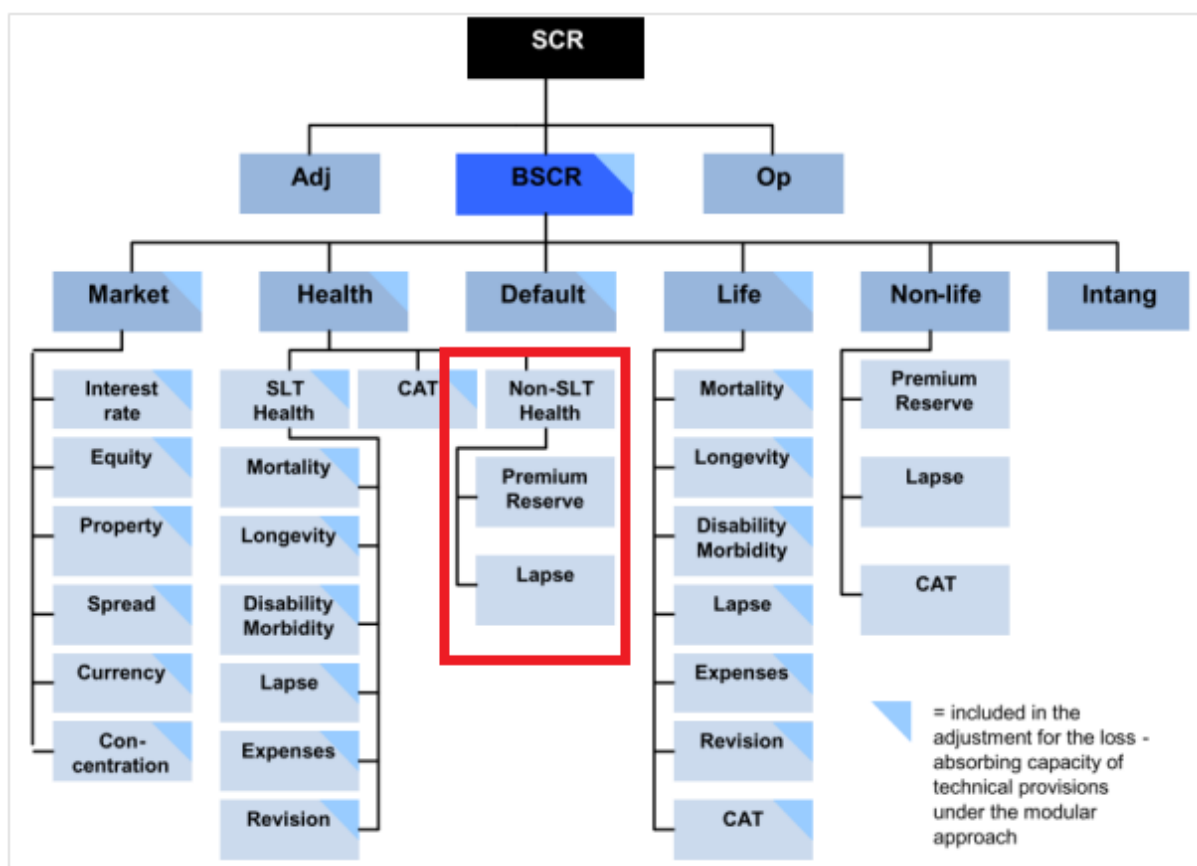


Figure 17: Cartographie des risques sous Solvabilité 2

### IV-Les provisions techniques:

#### IV-1. Le Best Estimate :

Le Best Estimate ou meilleure estimation des provisions, correspond (Directive Article 77) : « à la moyenne pondérée par leur probabilité des flux de trésorerie futurs, compte tenu de la valeur temporelle de l'argent (valeur actuelle attendue des flux de trésorerie futurs), estimée sur la base de la courbe des taux sans risque pertinente ».

Le Best Estimate représente donc la vision centrale ou probable des scénarii futurs.

L'actualisation des flux se fait par les taux sans risque, de maturité adéquate sur la base de la courbe fournie par la BAM.

$$BE = \sum_{t=1}^N \frac{flux_t}{(1+r)^t}$$

Avec :

$flux_t$  : Flux de règlements brut probables de l'année t

r : taux sans risque

N : l'horizon de projection

Dans notre cas la notion de Best Estimate sera utilisée afin d'évaluer les provisions pour sinistres à payer(PSAP).

#### IV-2.La Marge de risque :

La marge de risque est (Directive Article 77) « Calculée de manière à garantir que la valeur des provisions techniques est équivalente au montant que les entreprises d'assurance et de réassurance demanderaient pour reprendre et honorer les engagements d'assurance et de réassurance ».

Le taux du coût du capital retenu (Spécifications techniques du QIS5, TP.5.25) est de 6%.

Ainsi, la marge de risque ou coût du capital correspond à :

$$Marge\ de\ risque = CoCM = 6\% * \sum_{t \geq 0} \frac{SCR_{RU}(t)}{(1+r_{t+1})^{t+1}}$$

$SCR_{RU}(t)$  : Le SCR pour l'année t de l'entreprise de référence.

Cette entité ne sera pas calculée dans notre travail, elle ne s'inscrit pas dans le cad de l'étude.

#### V- Les capitaux requis

##### V-1.Le Minimum de Capital Requis(MCR)

Le minimum de capital requis (MCR) est le montant en dessous duquel les fonds propres ne peuvent pas descendre. Il est calculé de telle sorte qu'il correspond au besoin en capital permettant de couvrir une ruine à horizon de un an avec une probabilité de 85% (Article 129 de la Directive 2009/138/CE).Ainsi, il doit être compris entre 25% et 45% du SCR.

##### V-2.Solvency Capital Requirement(SCR)

L'objectif de Solvency II est d'harmoniser au niveau européen les réglementations concernant les entreprises d'assurance et de réassurance, de spécifier des niveaux minimums de capital

nécessaires pour que ces entreprises puissent exercer leur activité, et de préciser les modalités de calcul de ces niveaux.

Dans ce but, la nouvelle directive exige aux entreprises de détenir un montant de capital cible dans leurs fonds propres : le Solvency Capital Requirement (SCR). Ce capital doit permettre à ces organismes d'éviter une ruine dans l'année avec une probabilité de 99,5% (article 101 de la Directive 2009/138/CE). Ainsi, le SCR peut être calculé de deux manières :

- A l'aide de la « formule standard », proposée par le régulateur, C'est une formule qui se base sur l'utilisation d'une méthode reposant sur un coefficient de corrélation linéaire pour capter la dépendance entre les risques.
- A l'aide d'un « modèle interne », pensé et développé par la compagnie, et validé par le régulateur.

Nous nous contenterons dans notre étude de l'approche standard pour le calcul du SCR.

### V-3. Calcul du SCR santé Non- SLT:

Dans les spécifications techniques du QIS 5, le SCR santé non vie, noté  $SCR_{\text{santé non vie}}$ , se définit comme étant: le capital requis pour faire face au risque des activités d'assurance santé incluant de l'incertitude sur le rapport sinistres/engagements, le volume d'affaire et le niveau de prime associé. Il rassemble les deux sous modules des risques sur les primes et les provisions :

- Le risque de prime est un risque de sous tarification, c'est à dire le risque que les montants des sinistres et des frais liés aux sinistres soient supérieurs à ceux prévus dans la tarification.
- Le risque de réserve mesure l'incertitude dans l'estimation des engagements d'une compagnie d'assurance envers ses assurés. Les montants restant à payer des sinistres déjà survenus ne sont pas connus au moment du calcul des provisions, il réside donc un risque lié à la sous-évaluation des réserves.

Du point de vue calculatoire, le capital santé non vie requis pour le risque combiné primes et provisions correspond au produit d'une mesure de volume et d'un facteur standard, où le facteur standard est proche de trois fois l'écart-type du ratio combiné global et où la mesure de volume  $V$  représente la somme des primes de l'année à venir et des provisions nettes. Autrement dit :

$$SCR_{\text{santé non vie}} = \rho(\sigma) * V$$

Ou :

$V$  : volume des montants mis en jeux

$$V = V_{(\text{prime,lob})} + V_{(\text{res,lob})}$$

$\sigma$  : Une estimation de l'écart type du portefeuille santé non-vie

$\rho(\sigma)$  : Fonction de cet écart type

La fonction  $\rho(\sigma)$  est définie comme suit :

$$\rho(\sigma) = \frac{e^{(N_{0,995} * \sqrt{\log(\sigma^2 + 1)})}}{\sqrt{\sigma^2 + 1}} - 1$$

$N_{0,995}$  = Le quantile à 99,5% de la loi normale centrée réduite.

$$Health_{pr}^{Non Slt} = \rho(\sigma_{Non Slt Health}) * V_{\sigma_{Non Slt Health}}$$

Nous proposons la démonstration de cette formule dans l'Annexe 6.

On peut aussi écrire approximativement :

$$\rho(\sigma) \approx 3 * \sigma_{\text{santé non-vie}}$$

Avec :

$\sigma_{\text{santé non-vie}}$  : La volatilité globale pour le risque de réserve et de prime du SCR<sub>santé non vie</sub>, elle est calculée en agrégeant les différentes volatilités de chaque LoB avec un coefficient  $\alpha$  d'une matrice de corrélation égal à 0,5.

Comme nous travaillons sur un seul LoB alors :

$$\sigma_{\text{Santé non-vie}} = \sigma_{\text{LoB}}$$

$$= \frac{\sqrt{(\sigma_{(\text{prime,lob})} * V_{(\text{prime,lob})})^2 + 2 * \alpha * \sigma_{(\text{prime,lob})} * V_{(\text{prime,lob})} * \sigma_{(\text{res,lob})} * V_{(\text{res,lob})} + (\sigma_{(\text{res,lob})} * V_{(\text{res,lob})})^2}}{V_{(\text{prime,lob})} + V_{(\text{res,lob})}}$$

Pour le LoB « frais de santé », objet de notre étude, nous avons:

$$\sigma_{(\text{prime,lob})} = 4\% \quad , \quad \sigma_{(\text{res,lob})} = 10\%$$

Le volume et l'écart type sont généralement calculés pour chaque LoB santé et pour chaque risque (prime et réserve), puis ils sont agrégés pour obtenir un volume et un écart type global.

-Le volume du risque de prime pour un LoB donné est défini par la relation suivante :

$$V_{(\text{prime,lob})} = \max(P_{\text{LOB}}^{t,\text{written}}, P_{\text{LOB}}^{t,\text{earned}}, P_{\text{LOB}}^{t-1,\text{written}}) + P_{\text{LOB}}^{\text{PP}}$$

$P_{\text{LOB}}^{t,\text{written}}$  = Estimation du montant de primes émises durant l'année à venir pour chaque LOB

$P_{\text{LOB}}^{t,\text{earned}}$  = Estimation du montant de primes acquises durant l'année à venir pour chaque LOB

$P_{\text{LOB}}^{t-1,\text{written}}$  = Estimation du montant de primes émises durant l'année qui vient de s'écouler pour chaque LoB.

Cependant, comme le volume des primes acquises est faible par rapport au volume des primes émises, il ne sera pas pris en compte dans nos calculs.

$P_{LOB}^{PP}$  = Estimations des primes futures actualisées à recevoir pour les années suivant la première année de projection.

Or, selon les spécifications du QIS5, cette quantité n'est rajoutée que pour les contrats pluriannuels. Ainsi, elle sera négligée et vaudra zéro dans notre contexte.

### *VII-Etude de rentabilité :*

Il existe plusieurs méthodes pour mesurer la rentabilité d'une compagnie d'assurance : il est possible de s'appuyer sur son niveau de fonds propres, les niveaux de capital réglementaire ou d'analyser tout simplement ses résultats. En effet, La performance de l'entreprise se mesure souvent en fonction du résultat :

#### Sous les normes Solvabilité 1 :

Un indice très ancien et très utilisé pour s'assurer de l'existence d'un minimum de rentabilité des fonds propres est le ROE (Return on Equity). En effet, le ROE mesure en pourcentage le rapport entre le résultat net et les capitaux propres investis par les actionnaires de l'entreprise.

Il se calcule de la façon suivante :  $ROE = \frac{\text{Résultat Net}}{\text{Fonds propres}}$

Il s'analyse à l'horizon de 1 an.

#### Sous les normes Solvabilité 2 :

Dans la même perspective un bon indicateur de rentabilité de l'entreprise est le ratio résultat net/risque :  $RN/R = \frac{RN}{SCR}$

Il mesure le rendement des profits en termes de risque, c'est-à-dire la part des profits générés à chaque nouvelle prise de risque. Cet indicateur peut être très utile dans une optique de maximisation de résultat et de minimisation du risque car il permet de définir le niveau de risque à partir duquel l'entreprise perd en rentabilité. Il sera noté dans toute la suite « RN/R ».

### *VIII-Mise en œuvre :*

#### **VIII-1. Construction préliminaire du compte de résultats prévisionnel**

##### ***1) Définition du compte de résultats prévisionnel***

De manière générale, le compte de résultats est un outil comptable de synthèse qui reprend l'ensemble des activités de l'entreprise sur un exercice comptable. Le solde du compte de résultats est la différence entre les produits et les charges de l'entreprise et reflète le résultat réalisé par cette dernière. Un résultat positif (respectivement négatif) est signe de réalisation d'un bénéfice (respectivement perte).

Le compte de résultats prévisionnel comme son nom l'indique, permet de prévoir à l'avance ces bénéfices et pertes attendues et de juger de la rentabilité de l'entreprise et des fonds investis.

## 2) Calcul de la prime annuelle moyenne :

Le portefeuille étudié est composé initialement en début 2016 de 2000 bénéficiaires, chacun payant une prime annuelle moyenne HT de 3231 dhs. Cette prime a été calculée en tenant compte des franchises et de toutes les gammes du produit de la manière suivante :

L'âge moyen à l'entrée de la clientèle potentielle a été estimé à partir de l'âge moyen des produits commercialisés via le même canal de vente (groupe bancaire SG) et est égale à : 41,5 ans. Cet âge appartient à la tranche d'âge [41-50[.

De plus, l'analyse de la répartition de la population par franchise donne le tableau :

Tableau 47: % d'assuré par franchise

Franchise en DH	Nombre d'assuré	%
Sans	300	15%
5000	700	35%
10 000	900	45%
30 000	100	5%
Total	2 000	100%

Comme le produit prévoit 3 formules au choix, LMV se positionne sur la clientèle *bonne gamme* pour réaliser de la masse. Nous retenons donc la répartition par gamme suivante :

Bonne gamme	95%
Haute gamme	3,8%
Haute gamme*	1,2%

Ainsi, la formule permettant de calculer la prime moyenne se présente comme telle :

$$prime\ moyenne = \sum_{i=1}^3 \left( \sum_{j=1}^4 prime_j * \alpha_j \right) * \beta_i$$

Avec  $\alpha_j$  = % du contrat de franchise j

$\beta_i$  = % du contrat de gamme i

### 3) Calcul de la sinistralité :

Le marché des produits santé d'hospitalisation à l'international présente le tableau de statistiques suivant observé sur les 9 derniers mois :

Tableau 48: Statistiques assurance santé pour produits similaires

<b>Chiffre d'affaires en MAD</b>	12 985 262
<b>Nombre d'assurés</b>	4 457
<b>Nombre de sinistres Maroc</b>	30
<b>Montant des sinistres Maroc en MAD</b>	742 052
<b>Nombre des sinistres Etranger</b>	9
<b>Montant des sinistres Etranger en Euro</b>	95 662

Nous nous sommes servis du tableau ci-dessus pour calculer le coût moyen et la fréquence marché suivants :

Nous rappelons que :

- La fréquence est le rapport du nombre de sinistres sur le nombre d'assurés,
- Le coût moyen est le rapport du montant de sinistres sur leur nombre,

	<b>Maroc</b>	<b>Etranger</b>
<b>Sinistralité sur 9 mois en MAD</b>	742 052	1 032 636
<b>Fréquence</b>	0,67%	0,20%
<b>Coût moyen</b>	24 735	114 737

- Le passage d'une sinistralité (respectivement coût moyen) sur 9 mois à une sinistralité annuelle (respectivement coût moyen annuel) est fait en multipliant le montant par un coefficient de 12/9,
- Pour un maximum de prudence, nous supposons qu'à partir de 2017 notre fréquence est évaluée comme le double de la fréquence annualisée en 2016 :

	<b>Maroc</b>	<b>Etranger</b>
<b>Sinistralité annualisée en MAD</b>	32 980	152 983
<b>Fréquence annuelle</b>	1,79%	0,54%
<b>Coût moyen annuel</b>	32 980	152 983

Nous noterons par la suite la fréquence Maroc par  $FM_{i,j}$  et la fréquence Etranger par  $FE_{i,j}$ . La fréquence et le coût moyen seront pris comme constants pour l'élaboration du compte résultat prévisionnel déterministe.

Remarque : Nous avons converti le montant de sinistres en dhs via le taux de change Euro/dhs : 10,87

#### **4) Hypothèses du scénario central de prévision :**

La création d'un compte résultat simplifié repose sur différentes hypothèses suivant leurs contextes d'application. Certaines hypothèses sont définies dans le business plan de l'entreprise, d'autres par les conditions du marché financier ou les normes Solvabilité II.

Ces hypothèses concernent les composantes principales du CR qui sont les suivantes :

Les primes émises, les sorties du portefeuille, la sinistralité et les provisions techniques.

En effet :

Les primes pures émises de la ligne d'affaire « frais de santé » sont supposées prendre 5% de leurs valeurs tous les ans. Nous supposons également que le portefeuille connaît des sorties de 10% chaque année, celles-ci sont sous forme de résiliations ou décès.

Nous supposons aussi que les primes acquises constituent la moitié des primes émises chaque année.

La sinistralité est conçue comme étant la résultante du produit entre le coût moyen et le nombre de sinistres projetés.

Les provisions pour sinistre à payer (PSAP) seront calculées à leur valeur Best Estimate et prendront un pourcentage de 20% du montant de sinistres annuel.

Ces ratios sont pris, dans un premier lieu, une moyenne constante dans le temps.

Les frais de gestion des sinistres sont considérés toujours comme stables dans le temps, à 25% des primes émises par an. A cela s'ajoutent les commissions, fixées à 12% des primes émises (nette de frais de gestion) par an. Nous supposons par la suite que ce sont les seuls frais qui existent.

Les taux utilisés pour l'actualisation des provisions en Best Estimate sont déterminés par la courbe de taux sans risque fournie par la BAM. Pour des raisons de simplification, le service financier de LMV nous a communiqué le taux sans risque des bons de trésors. Il vaut en moyenne pour une maturité de 10 ans 3,5%.

#### **5) Evaluation déterministe du compte résultat prévisionnel**

Sur la base des hypothèses du scénario central, nous essayerons de construire un compte résultat prévisionnel sur un horizon de 10 ans.

Avant de passer aux prévisions d'activité, il est nécessaire de présenter les composantes du CR :

Tableau 49: Compte résultat détaillé

CR	Formule
<b>1-Affaires nouvelles(t)</b>	= (1+Taux d'accroissement des affaires)*nombre de bénéficiaires(t-1)
<b>2-Stock(t)</b>	= (Voir triangle 1)
<b>3-Chiffre d'affaires(CA)</b>	= (50%*Affaires nouvelles+Stock)*Prime
<b>4-Commissions</b>	=Taux de commissions*CA
<b>5-Frais de gestion</b>	=Taux de frais de gestion*(CA-Commissions)
<b>6-Sinistralité</b>	= (Voir tableau de sinistralité)
<b>7-BMS</b>	=MAX (20%*CA;27%*Moyenne (Sinistralité sur les 3 dernières années))
<b>8-Résultat brut de réassurance</b>	
<b>9-Résultat de réassurance</b>	
<b>10-Résultat net de réassurance</b>	
<b>11-PSAP</b>	=% des provisions(t)*Sinistralité(t)
<b>12-Produits financiers sur provisions</b>	=Taux de placement*PSAP(t)
<b>13-SCR</b>	=3*σ*V
<b>14-Produits financiers sur fonds propres</b>	=Taux de placement*BMS(t)
<b>15-RBE avant impôt</b>	=(3)-(4)-(5)-(6)+(11)+(13)
<b>16-IS</b>	=(14)*Taux d'imposition
<b>17-RBE après impôt</b>	=(14)-(15)
<b>18-ROE</b>	=(17)/(7)
<b>19-RN/R</b>	=(17)/(13)

- Le triangle permettant de calculer le stock des affaires par année et par génération est le suivant :

	2 016	2 017	2 018	2 019	2 020	2 021	2 022	2 023	2 024	2 025	2 026
<b>2 016</b>	2 000	1 800	1 620	1 458	1 312	1 181	1 063	957	861	775	697
<b>2 017</b>	-	2 100	1 890	1 701	1 531	1 378	1 240	1 116	1 004	904	814
<b>2 018</b>	-	-	2 205	1 985	1 786	1 607	1 447	1 302	1 172	1 055	949
<b>2 019</b>	-	-	-	2 315	2 084	1 875	1 688	1 519	1 367	1 230	1 107
<b>2 020</b>	-	-	-	-	2 431	2 188	1 969	1 772	1 595	1 435	1 292
<b>2 021</b>	-	-	-	-	-	2 553	2 297	2 068	1 861	1 675	1 507
<b>2 022</b>	-	-	-	-	-	-	2 680	2 412	2 171	1 954	1 758
<b>2 023</b>	-	-	-	-	-	-	-	2 814	2 533	2 280	2 052
<b>2 024</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	2 955	2 659	2 393
<b>2 025</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3 103	2 792
<b>Total Stock</b>	-	1 800	3 510	5 144	6 713	8 229	9 704	11 146	12 564	13 967	15 363

Les lignes du triangle représentent les générations pendant que les colonnes forment les exercices. Le passage d'un exercice à l'autre se fait grâce au taux de sortie qui rassemble le taux de résiliation et le taux de décès des souscripteurs. Parallèlement, le passage d'une génération à l'autre se fait via le taux d'accroissement. La diagonale représente l'année comptable. Nous noterons les cellules de ce tableau par  $S_{i,j}$ .

- o La sinistralité se calcule sur 3 étapes :

**Etape1** : Calcul du nombre de sinistres au Maroc à l'aide de la formule :

Nombre de sinistres au Maroc =  $FM_{i,j} \times S_{i,j}$

	2 016	2 017	2 018	2 019	2 020	2 021	2 022	2 023	2 024	2 025	2 026
2 016	18	32	29	26	24	21	19	17	15	14	13
2 017	-	19	34	31	27	25	22	20	18	16	15
2 018	-	-	20	36	32	29	26	23	21	19	17
2 019	-	-	-	21	37	34	30	27	25	22	20
2 020	-	-	-	-	22	39	35	32	29	26	23
2 021	-	-	-	-	-	23	41	37	33	30	27
2 022	-	-	-	-	-	-	24	43	39	35	32
2 023	-	-	-	-	-	-	-	25	45	41	37
2 024	-	-	-	-	-	-	-	-	27	48	86
2 025	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28	50
Total sinistres	18	51	83	113	142	171	198	225	252	279	319

**Etape 2** : Calcul du nombre de sinistres à l'étranger à l'aide d'une formule similaire :

Nombre de sinistres à l'étranger =  $FE_{i,j} \times S_{i,j}$

	2 016	2 017	2 018	2 019	2 020	2 021	2 022	2 023	2 024	2 025	2 026
2 016	5	10	9	8	7	6	6	5	5	4	4
2 017	-	6	10	9	8	7	7	6	5	5	4
2 018	-	-	6	11	10	9	8	7	6	6	5
2 019	-	-	-	6	11	10	9	8	7	7	6
2 020	-	-	-	-	7	12	11	10	9	8	7
2 021	-	-	-	-	-	7	12	11	10	9	8
2 022	-	-	-	-	-	-	7	13	12	11	9

<b>2 023</b>	-	-	-	-	-	-	-	8	14	12	11
<b>2 024</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	8	14	26
<b>2 025</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	15
<b>Total</b>	5	15	25	34	43	51	59	68	76	84	96

**Etape 3** : Calcul du montant de la sinistralité :

Ainsi, la sinistralité est calculée en appliquant la formule suivante :

Sinistralité = Nombre sinistres Maroc\*Coût moyen Maroc+ Nombre sinistres Etranger\*Coût moyen Etranger

L'application de cette formule nous fournit le tableau des montants de sinistralité annuels :

Année	Montant de sinistralité en MAD
2016	1 415 751
2017	4 034 890
2018	6 530 151
2019	8 920 823
2020	11 224 612
2021	13 457 816
2022	15 635 483
2023	17 771 555
2024	19 879 002
2025	21 969 934
2026	25 138 173

L'application des formules précédemment explicitées et nos hypothèses de base donnent les résultats suivants. Dans un souci de lisibilité des résultats, nous n'afficherons que les 5 premières années de projection :

	<b>2 016</b>	<b>2 017</b>	<b>2 018</b>	<b>2 019</b>	<b>2 020</b>	<b>2 021</b>
<b>Affaires nouvelles</b>	2 000	2 100	2 205	2 315	2 431	2 553
<b>Stock</b>	-	1 800	3 510	5 144	6 713	8 229
<b>CA</b>	3 231 000	9 208 350	14 902 988	20 358 935	25 616 600	30 713 176
<b>Commissions sur primes émises</b>	387 720	1 105 002	1 788 359	2 443 072	3 073 992	3 685 581
<b>Frais de gestion</b>	710 820	2 025 837	3 278 657	4 478 966	5 635 652	6 756 899
<b>Sinistralité</b>	1 415 751	4 034 890	6 530 151	8 920 823	11 224 612	13 457 816
<b>BE sinistralité</b>	22 472 270	26 853 321	31 297 894	35 832 991	40 482 695	45 268 396
<b>BMS</b>	646 200	1 841 670	2 980 598	4 071 787	5 123 320	6 142 635
<b>PSAP</b>	283 150	806 978	1 306 030	1 784 165	2 244 922	2 691 563

<b>Produits financiers sur PSAP</b>	11 326	32 279	52 241	71 367	89 797	107 663
<b>Produits financiers sur FP</b>	25 848	73 667	119 224	162 871	204 933	245 705
<b>RBE avant impôt</b>	753 883	2 148 567	3 477 286	4 750 312	5 977 074	7 166 248
<b>IS</b>	278 937	794 970	1 286 596	1 757 616	2 211 517	2 651 512
<b>RBE après impôt</b>	474 946	1 353 597	2 190 690	2 992 697	3 765 556	4 514 736
<b>ROE</b>	73%	73%	73%	73%	73%	73%
<b>SCR</b>	6 943 664	8 661 524	10 399 520	12 156 960	13 938 395	15 750 114
<b>RN/R</b>	7%	16%	21%	25%	27%	29%

Analyse des résultats et calcul du tarif sous Solvabilité 2:

- Analyse du SCR et du BE de la sinistralité :

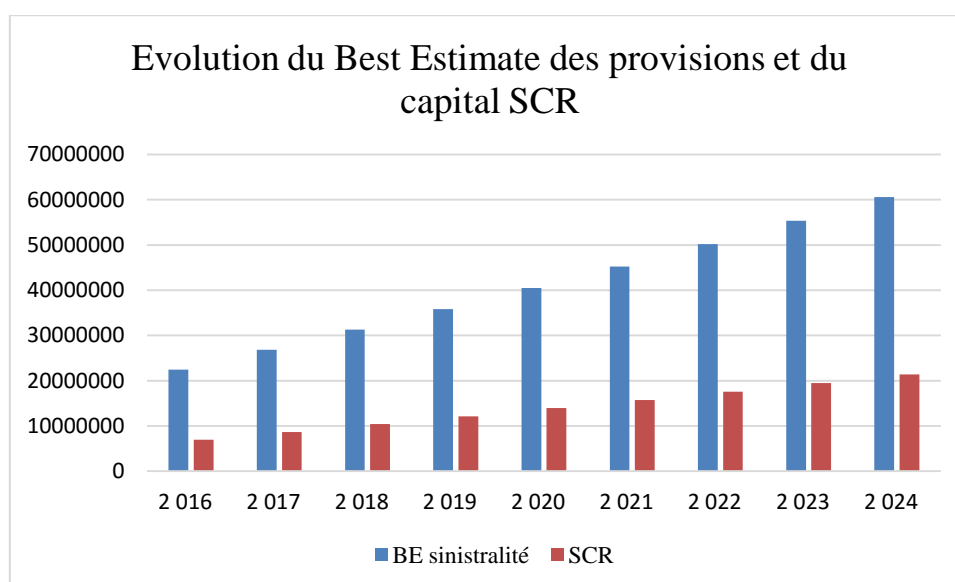


Figure 18: Evolution du BE des PSAP et du SCR

Le SCR calculé via la méthode déterministe croît annuellement de façon linéaire. Cela peut être justifié par l'augmentation du BE des PSAP sans oublier que les primes émises connaissent une hausse considérable chaque année.

- Analyse des indices de rentabilité :

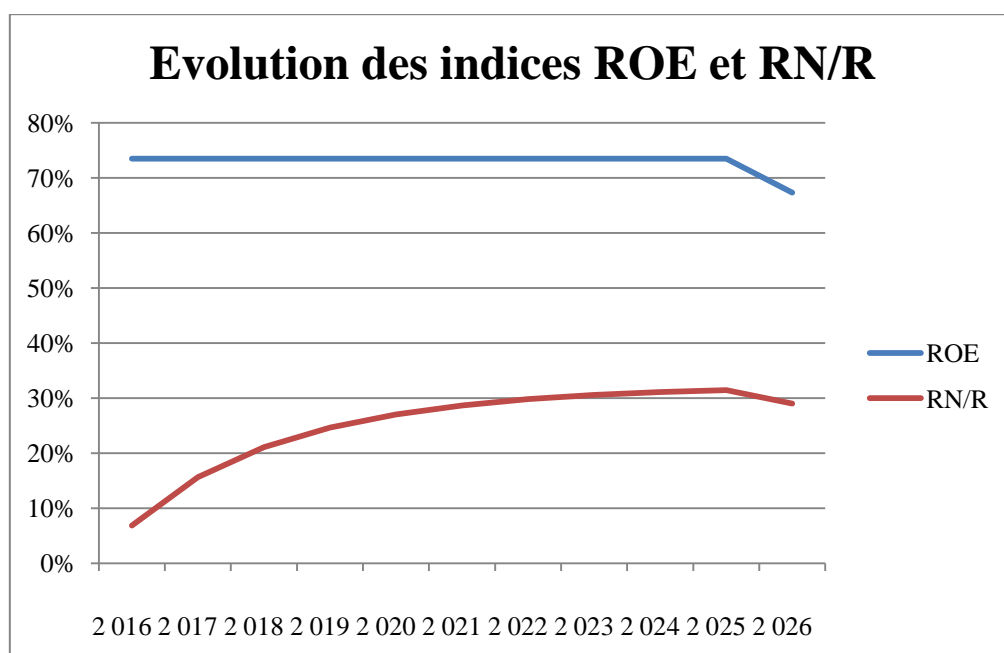


Figure 19: Evolution des indices de rentabilité

Nous remarquons que les deux indices RN/R et ROE n'ont pas un même rythme d'évolution:

L'indice ROE est presque constant sur les 10 ans de projection et vaut exactement 73% contrairement à l'indice RN/R qui est croissant. En effet, l'indice du résultat net sur risque débute avec un pourcentage de 6% pour atteindre 31% après 10ans.

De plus, le tarif sous les exigences solvabilité relatif à un RN/R de 50% est de 4252 MAD.

### VIII-2. Construction stochastique de comptes résultats prospectifs:

En réalité, la cadence d'accroissement des affaires nouvelles, des sorties du portefeuille, de la sinistralité, etc est loin d'être constante dans le temps .Ce qui nous a poussé à développer un outil de simulation et de prévision du compte résultat de l'entreprise(CR).Cet outil se base sur la génération aléatoire des taux annuels d'accroissement des affaires, de sorties, etc autour du scénario central précédemment explicité.

#### 1) Analyse des scénarii probables :

Afin de générer des exercices comptables et parce que le produit HI ne dispose pas d'historique, nous avons recensé un nombre de cas probables à la baisse comme à la hausse des taux du scénario central. Ces cas ont pour but de prévoir toutes les possibilités d'évolution du compte résultat et par conséquent se prémunir contre le risque de sous ou sur évaluation des primes ou provisions. Les taux résultants seront pris dans l'ordre de leur génération et appliqués comme tels aux paramètres centraux de l'outil (nombre de bénéficiaires, prime,

coût moyen) pour générer par la suite des compte résultats prévisionnels qui s'étalent sur l'horizon de projection.

Ainsi, à partir du scénario central :

<b>Taux entrée</b>	5%
<b>Taux sortie</b>	10%
<b>Taux PSAP</b>	20%
<b>Fréquence Maroc</b>	1,79%
<b>Fréquence étranger</b>	0,54%

La construction des prévisions d'activité en conditions « normales » par la méthode proposée ici nécessite des paramètres indiquant la probable évolution du portefeuille étudié. Une analyse des prévisions d'activité pour des produits santé similaires nous a permis de poser comme scénarii probable :

<b>Cas probables</b>	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4	Cas 5
<b>Taux entrée</b>	5,6%	4,8%	4,9%	5,1%	4,5%
<b>Taux sortie</b>	10,56%	10,48%	10,49%	10,51%	10,45%
<b>Taux PSAP</b>	20,4%	16%	21%	17%	22%
<b>Fréquence Maroc</b>	1,65%	1,82%	1,70%	1,75%	1,84%
<b>Fréquence étranger</b>	0,65%	0,64%	0,6%	0,4%	0,5%

Ainsi, les erreurs relatives de prévisions sont :

<b>Taux entrée</b>	12,0%	-4,0%	-2,6%	2,3%	-11,0%
<b>Taux sortie</b>	-16,0%	-5,0%	11,0%	-8,0%	5,0%
<b>Taux PSAP</b>	2,0%	-19,0%	5,0%	-14,0%	11,0%
<b>Fréquence Maroc</b>	-7,8%	1,6%	-5,0%	-2,2%	3,0%
<b>Fréquence étranger</b>	2,0%	-14,0%	7,0%	4,0%	-12,0%

Rappel : Erreur de prévision = (taux prévu-taux central)/taux central

➤ Etude statistique des erreurs de prévisions :

<b>Paramètre</b>	<b>Moyenne des erreurs</b>	<b>Variance des erreurs</b>
<b>Taux entrée</b>	-0,007	0,58%
<b>Taux sortie</b>	- 0,026	0,91%
<b>Taux PSAP</b>	-0,030	1,32%
<b>Fréquence Maroc</b>	-0,021	0,16%
<b>Fréquence étranger</b>	-0,026	0,75%

Nous constatons donc que le paramètre ayant la variance la plus élevée est le taux des provisions pour sinistres à payer. Les taux d'entrées, sorties et fréquences ont une faible variance permettant ainsi de générer des exercices comptables proches du scénario central.

Afin d'identifier les relations existantes entre les différents paramètres de l'outil nous étudierons ensuite la corrélation entre ces derniers. Il est à rappeler que pour deux variables a et b, la corrélation se calcule de la manière suivante :

$$Corr_{a,b} = \frac{Cov_{a,b}}{\sqrt{v_a} * \sqrt{v_b}}$$

De plus, la formule utilisée pour calculer la covariance entre deux paramètres j et k pour un échantillon de taille n :

$$Cov_{ij} = \frac{1}{n} * \sum_k x_{ki} * x_{kj} - x_i * x_j$$

La commande « Corr » du Logiciel statistique R fournit la matrice de corrélations des erreurs suivante :

	Taux d'entrée	Taux de sortie	PSAP	Fréq Maroc	Fréq étranger
Taux entrée	1,0000	0,4477	0,0980	- 0,3273	<b>- 0,7110</b>
Taux sortie	0,4477	1,0000	0,1718	-0,4832	- 0,5142
Taux PSAP	0,0980	0,1718	1,0000	- 0,5872	-0,1415
Fréq Maroc	-0,3273	-0,4832	-0,5872	1,0000	-0,1293
Fréq étranger	<b>-0,7110</b>	-0,5142	-0,1415	-0,1293	1,0000

Par conséquent, les paramètres les plus corrélés sont le taux d'entrée et la fréquence à l'étranger. Cette corrélation n'est pas due au lien entre les postes mais aux paramètres des scénarii probables choisis. Les autres paramètres simulés sont faiblement corrélés donc sous ou sur estimer l'un affecte peu les autres.

Nous en déduisons que les entrées du portefeuille, ses sorties et ses provisions et sinistralité ont des erreurs faiblement corrélées signifiant que le changement dans l'un des paramètres à la hausse ou à la baisse n'affectera pas de manière directe les autres.

➤ Calcul de la matrice variance-covariance :

La commande « Cov » du logiciel statistique R nous donne le résultat suivant :

<b>Taux entrée</b>	0,01739	0,00786	0,00091	-0,00434	- 0,01014
<b>Taux sortie</b>	0,00786	0,01770	0,00160	-0,00646	-0,00740
<b>Taux PSAP</b>	0,00091	0,00160	0,00491	-0,00414	-0,00107
<b>Fréq Maroc</b>	-0,00434	-0,00646	-0,00414	0,01010	-0,00141
<b>Fréq étranger</b>	-0,01014	-0,00740	-0,00107	-0,00141	0,01170

Cette matrice servira de base à la génération des exercices qui nous permettront de paramétrer notre outil selon les conditions du scenario central.

### II-2-2 Génération d'un vecteur gaussien

- Simulation de lois normales via la méthode de Box-Muller

Cette méthode consiste à générer deux nombres aléatoires à distribution normale centrée réduite, à partir de deux nombres aléatoires de loi uniforme U [0,1] :

Soit  $U_1$  et  $U_2$  deux simulations de la loi uniforme sur [0,1], les formules suivantes permettent d'obtenir  $X_1$  et  $X_2$  de loi normale centrée réduite :

$$X_1 = \sqrt{-2\ln(U_1)} * \cos(2\pi U_2)$$

$$X_2 = \sqrt{-2\ln(U_1)} * \sin(2\pi U_2)$$

Nous n'utiliserons pas cette méthode par la suite car le logiciel R peut générer directement des lois normales.

- La décomposition de Cholesky:

La décomposition de Cholesky permet de corrélérer des vecteurs gaussiens.

Théorème : Soit  $\Gamma$  une matrice symétrique définie positive, il existe une unique matrice A triangulaire inférieure à diagonale positive telle que :  $\Gamma=AA^t$ . On appelle A la racine carrée de  $\Gamma$  et on note  $A=\sqrt{\Gamma}$ . A est aussi nommée décomposition de Cholesky de  $\Gamma$ .

Pratiquement, le mécanisme se compose de deux étapes :

Etape1 : Construction de la première colonne.

On pose :  $\Sigma_{1,1} = \sqrt{\Gamma_{1,1}}$  puis pour  $i = \{2, \dots, d\}$  on a :  $\Sigma_{i,1} = \frac{\Gamma_{i,1}}{\Sigma_{1,1}}$

Etape2 : Nous construisons par récurrence le reste des colonnes (Pour  $j = \{2, \dots, d\}$ )

On pose: pour  $i = \{1 \dots j-1\}$   $\Sigma_{i,j} = 0$ ,

$$\Sigma_{j,j} = \sqrt{(\Gamma_{j,j} - \sum_{k=1}^{j-1} \Sigma_{j,k}^2)} \text{ Avec } i = \{j+1, \dots, d\} \text{ Et } \Sigma_{i,j} = \frac{\Gamma_{i,j} - \sum_{k=1}^{j-1} \Sigma_{j,k} \Sigma_{i,k}}{\Sigma_{j,j}}$$

➤ Simulation d'un vecteur gaussien :

Il existe plusieurs méthodes de simulation d'un vecteur gaussien. En effet, la normalité d'un vecteur peut être obtenue via la projection univariée de ses composantes, la forme de sa fonction caractéristique ou par transformation affine. Dans notre cas, et pour des raisons de simplicité de la méthode, nous utiliserons une transformation affine pour générer un vecteur gaussien.

Dés lors, X est un vecteur gaussien si :

$\exists m \in \mathbb{R}^d$  et  $A \in \mathcal{M}_d(\mathbb{R})$  une matrice symétrique définie positive telle que:

$$X = m + AN \text{ où } N \sim \mathcal{N}(0, I_d)$$

On a :

$$E(X) = m + A * E(N)$$

$$\begin{cases} E(X) = m + A * E(N) \\ V(X) = \Sigma_x = AA^t \end{cases}$$

On simule donc un vecteur gaussien  $X \sim \mathcal{N}(m, \Sigma_x)$  à partir du vecteur des espérances des composantes m et de la matrice de variance-covariance  $\Sigma_x$ . Il s'agit alors de déterminer A tel que :  $\Sigma_x = AA^t$

Or, si M est une matrice symétrique et définie positive alors elle possède une décomposition de la forme précédente où A est une matrice triangulaire inférieure. Cette décomposition est appelée décomposition de Cholesky. Cette décomposition s'obtient en déterminant chaque élément de la matrice A terme à terme. R propose directement la décomposition de Cholesky à l'aide de la fonction Chol(). Ainsi, pour simuler un vecteur gaussien de dimension d, de moyenne m et de matrice de variance-covariance  $\Sigma_x$  (qui est une matrice symétrique définie positive) on simule des lois normales centrées réduites à l'aide de la méthode de Box-Muller, on calcule la décomposition de Cholesky de  $\Sigma_x$  et on calcule  $X = m + AN$ .

➤ Application à la matrice de variance-covariance des erreurs relatives :

Nous choisissons d'utiliser un vecteur gaussien pour obtenir une simulation des erreurs relatives de prévisions.

Nous simulons donc un vecteur gaussien centré réduit de dimension 5 (qui est le nombre de paramètres de l'outil central) et de matrice de variance-covariance ci-dessus.

Le logiciel R nous permet de déduire la décomposition de Choleski de notre matrice de variance-covariance via la commande *Chol*, nous obtenons la matrice :

0,1319	0,0596	0,0069	-0,0329	-0,0769
-	0,1190	0,0100	-0,0378	-0,0237
-	-	0,0690	-0,0511	-0,0044
-	-	-	0,0705	-0,0718
-	-	-	-	0,0073

Nous simulons maintenant cinq lois normales centrées réduites dont les valeurs sont notées

$N = (n_i)$  avec  $i = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ . Notons  $E = (e_i)$  avec  $i = \{1, 2, 3, 4, 5\}$  le vecteur des erreurs relatives, obtenu grâce au produit matriciel :

$$E = \text{Cholski} * N$$

Notons maintenant  $C = (c_i)$  avec  $i = \{1, 2, 3, 4, 5\}$  le vecteur des taux de prévisions centrales. Nous obtenons un vecteur aléatoire de cinq paramètres noté  $P = (p_i)$  avec  $i = \{1, 2, 3, 4, 5\}$  grâce aux calculs :  $p_i = (1 + e_i) * c_i$

L'idée est donc de générer 10 séries de 5 paramètres. Chaque série de paramètres nous permettra de générer un exercice à l'aide de la méthode expliquée au début de cette partie.

## 2) Résultats de la simulation

Exemple : Voilà six séries chacune composée de cinq paramètres comme suit :

Exercice	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5	N+6
<b>Taux entrée</b>	6,62%	5,42%	3,53%	5,38%	4,03%	5,79%
<b>Taux sortie</b>	10,53%	10,92%	10,20%	10,94%	9,36%	11,32%
<b>Taux PSAP</b>	21,59%	17,79%	24,10%	19,77%	23,37%	19,86%
<b>Fréq Maroc</b>	1,86%	1,90%	1,43%	1,56%	1,88%	1,97%
<b>Fréq étranger</b>	0,538%	0,537%	0,545%	0,542%	0,538%	0,537%

En appliquant ces paramètres sur nos données initiaux (nombre de bénéficiaires, montant de prime annuelle et coût moyen) nous trouvons dans un premier temps le tableau d'accroissement des affaires suivant :

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
2016	2000	2 120	2 255	2 350	2 501	2 604	2 759	2 898
2017	0	1 783	1 892	2 046	2 062	2 284	2 298	2 498
2018		-	1 783	1 717	1 795	1 883	2 015	2 080
2019		-	-	1 618	1 506	1 639	1 661	1 824
2020		-	-	-	1 420	1 375	1 446	1 504
2021		-	-	-	-	1 296	1 213	1 310
2022		-	-	-	-	-	1 144	1 099
2023		-	-	-	-	-	-	1 036
Total stock	0	1783,4	3 675	5 381	6 783	8 477	9 777	11 350

- Montant de sinistralité au Maroc :

La fréquence Maroc nous permet, à partir du tableau précédent, de générer le tableau d'évolution du nombre de sinistres suivant :

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
2016	18	19	20	21	23	23	25	26
2017	-	33	35	38	38	42	43	46
2018	-	-	34	33	34	36	38	40
2019	-	-	-	23	21	23	24	26
2020	-	-	-	-	22	22	23	24
2021	-	-	-	-	-	24	23	25
2022	-	-	-	-	-	-	23	22
2023	-	-	-	-	-	-	-	16
Total sinistres	18	52	89	115	139	171	197	224

Ainsi, en multipliant le nombre de sinistre par le coût moyen Maroc nous trouvons :

Exercice	Montant de sinistralité
2016	593 641
2017	1 723 375
2018	2 947 985
2019	3 790 430
2020	4 573 611
2021	5 637 245
2022	6 513 407
2023	7 392 465

- Montants de sinistralité à l'étranger:

En suivant les mêmes étapes de calcul de la sinistralité au Maroc, nous aboutissons aux montants de sinistralité suivants :

Exercice	Montant de sinistralité
2016	826 109
2017	2 342 800
2018	3 953 822
2019	5 414 729
2020	6 639 428
2021	8 076 769
2022	9 209 595
2023	10 566 097

Comme vu précédemment, le montant de sinistralité global n'est que la somme entre les montants de sinistralité au Maroc et ceux dépensés à l'étranger.

Finalement nous trouvons le compte résultat suivant :

Exercice	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Affaires nouvelles	2 000	2 132	2 248	2 327	2 453	2 551
Stock	-	1 783	3 675	5 381	6 783	8 477
CA	3 231 000	9 207 028	15 506 554	21 145 327	25 877 343	31 511 318
Commissions	387 720	1 104 843	1 860 787	2 537 439	3 105 281	3 781 358
Frais de gestion	710 820	2 025 546	3 411 442	4 651 972	5 693 015	6 932 490
Sinistralité	1 419 750	4 066 175	6 901 808	9 205 160	11 213 039	13 714 014
BMS	646 200	1 841 406	3 101 311	4 229 065	5 175 469	6 302 264
PSAP	283 950	878 033	1 227 953	2 218 236	2 216 608	3 205 609
PSAP actualisées	283 950	848 341	1 146 307	2 000 722	1 931 646	2 699 036
BE des PSAP (sur 10 ans)	23 471 123	26 876 544	29 859 165	32 562 605	34 361 616	36 729 520
produit fin sur PSAP	11 358	189 599	218 474	534 545	438 182	749 301
Produit fin sur FP	25 848	73 656	124 052	169 163	207 019	252 091
Résultat avant IS	749 916	2 273 719	3 675 045	5 454 464	6 511 208	8 084 847
ROE 1	73%	78%	75%	81%	79%	81%
SCR	7 429 057	9 167 806	10 818 536	12 306 221	13 413 766	14 800 214
RN/R	6%	16%	21%	28%	31%	34%

Remarque : Nous nous sommes contentés d'afficher les cinq premières années de prévisions pour avoir une plus grande lisibilité du tableau.

➤ Illustration :

La projection des provisions pour sinistres à payer et du capital requis santé non vie sur les années simulées a mené au résultat suivant :

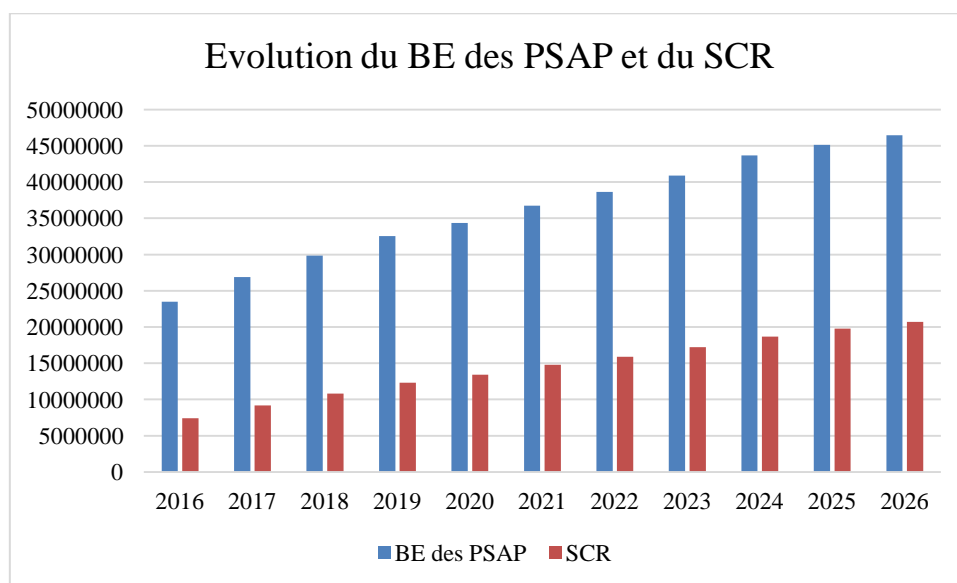


Figure 20: Evolution des provisions en BE et du SCR santé non vie

Nous remarquons ainsi une forte amélioration annuelle des provisions et du capital requis. Par ailleurs, il existe une légère différence de l'allure du graphe par rapport à l'approche déterministe qui était plus lisse.

### 3) Rentabilité du produit HI :

Le graphe suivant trace l'évolution de l'indice de rentabilité RN/R relatif au portefeuille santé HI sur les années de projection :

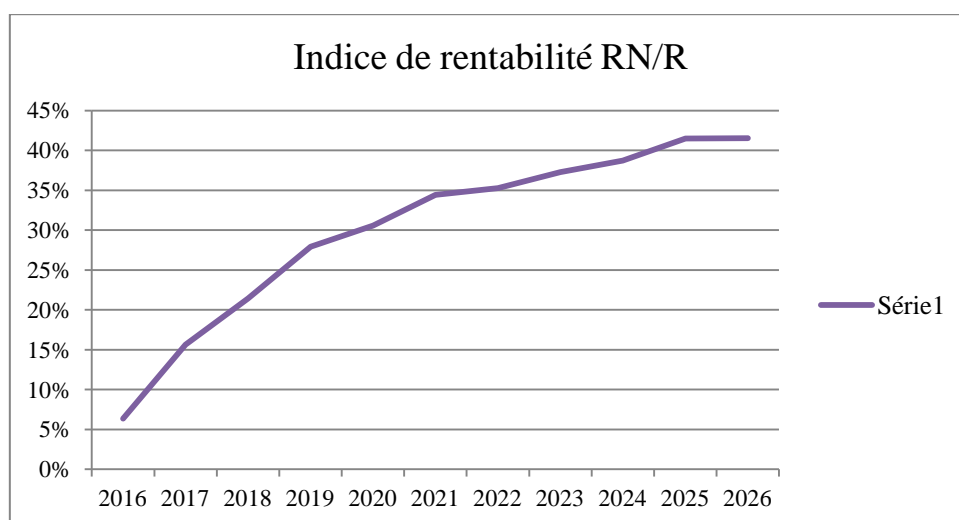


Figure 21: Evolution de l'indice de rentabilité RN/R

Le produit santé HI est donc rentable : Bien que le RN/R connaisse de légères fluctuations dans le temps, il est d'une valeur moyenne pondérée par le SCR de 33 % sur les 10 ans de projections.

➤ Calcul du tarif sous exigences Solvabilité II :

Les prévisions présentées, permettent d'entrevoir comment nous pouvons utiliser le nouveau cadre réglementaire pour analyser la pertinence des tarifs existants du produit HI ou en envisager de nouveaux.

Les tarifs existants permettent de garantir un pourcentage pondéré RN/R de 33% sur les 10 premières années. Visons un taux moyen pondéré de 50% nous avons eu recours au Solveur Excel pour estimer la cotisation annuelle correspondante.

Ainsi, pour garantir un pourcentage RN/R moyen de 50% sur les 10 premières années nous devons passer de l'ancien tarif à un tarif de 3949,2 MAD.

### VIII-3. Simulateur de compte résultat choqué :

#### 1) Principe de simulation :

➤ Etapes de simulation :

L'idée est de pouvoir développer un outil permettant de simuler des scénarii choqués relatifs à chaque projection des montants des primes, provisions et sinistres futurs pour établir un compte technique simplifié.

Les stress-tests sont développés sous VBA EXCEL.

Dans un premier temps, nous introduisons nos inputs dans notre interface VBA selon les étapes suivantes :

- 1) Déterminer le nombre de simulation total
- 2) Introduire les valeurs initiales des variables qu'on va stresser. : valeurs du scénario central
- 3) Préciser les valeurs des coefficients d'aggravation à appliquer pour chaque input.
- 4) Appuyer sur le bouton « Simulation »

Le but de ces simulations est de générer des valeurs d'inputs pour chaque compte de résultats. Ces valeurs sont déterminées en appliquant à chaque fois un coefficient d'aggravation sur la valeur initiale des paramètres du scénario central.

➤ Génération de nombres aléatoires :

Pour générer nos inputs aléatoires choqués nous avons opté pour des fonctions prédéfinies sur Excel, cette génération de nombres aléatoires de loi uniforme est essentielle à la mise en œuvre des simulations pour chaque paramètre. Parmi les générateurs pseudo-aléatoires disponible sur Excel, nous trouvons le générateur Rand () et RandBetween ().

Ce sont des générateurs congruentiels, qui font partie des générateurs pseudo-aléatoires. En effet, un générateur congruentiel est défini par :

Le choix d'une graine  $X_0$  qui définit la qualité de la simulation,

Un calcul récursif à partir de cette graine  $X_{n+1} = (kX_n + p)$  module  $m$ ,

Avec  $k$ ,  $p$  et  $m$  des entiers positifs.

Il suffit ensuite de diviser par  $m$  les  $X_i$  obtenus ainsi pour obtenir les réalisations

$U_i = \frac{X_i}{m}$  d'une variable  $U$  de loi uniforme sur l'intervalle  $[0,1]$ . On notera  $p$  la période du générateur, cette dernière étant inférieure ou égale à  $m$ , les  $X_i$  prenant leurs valeurs dans l'ensemble  $\{0, \dots, p-1\}$ . Dans le cas où  $p=m$ , la période du générateur sera dite complète.

➤ Création des paramètres choqués

Pour créer une infinité d'inputs choqués, nous avons procédé à la génération aléatoire des paramètres définis ci-dessous :

- Taux de sortie
- Taux d'entrée
- Taux de PSAP

Et ce selon la formule suivante :

Taux choqué=RandBetween (Taux minimal, Taux maximal)

Pour les quantités fréquence, coût moyen au Maroc et à l'étranger, la simulation se réalise via la relation suivante :

Valeur choquée= (1+ RandBetween (Taux de choc minimal, taux de choc maximal) )\*Valeur du scénario central

Pour l'input nombre de bénéficiaires, la formule de simulation est la suivante :

Nombre de bénéficiaires choqué = RandBetween (Nombre de bénéficiaires minimal, Nombre de bénéficiaires maximal)

Avec :

La borne minimale de toutes les variables = La valeur initiale prise dans le scénario central

La borne maximale de toutes les variables =La valeur initiale prise dans le scénario central\*Un coefficient d'aggravation

Ce coefficient d'aggravation est choisi aléatoirement.

Nous rappelons que :

Nombre de sinistre au Maroc /à l'étranger choqué = Fréquence au Maroc /à l'étranger choquée \* Stock de l'exercice calculé par le biais du triangle de projection du nombre de bénéficiaires.

Sinistralité au Maroc/ à l'étranger choquée= Nombre de sinistres au Maroc choquée\*Coût moyen au Maroc /à l'étranger choqué

Remarque : Vu que notre taux de PSAP central est égal à 80%, nous avons pris pour simuler comme borne inférieure de ce taux 78% et borne supérieur 87% et cela pour un maximum de prudence.

➤ Exemple de simulation :

A titre illustratif, nous avons choisi de simuler 10 fois les paramètres choqués. Le tableau résultat est le suivant :

i	Nombre de bénéficiaires simulé	Choc Fréquence	Choc Coût moyen	Taux de sortie simulé	Taux d'accroissement simulé	Taux PSAP simulé
1	1 782	23%	22%	19%	6%	82%
2	1 792	20%	25%	15%	8%	87%
3	1 644	22%	10%	18%	6%	86%
4	1 979	15%	17%	12%	8%	84%
5	1 969	25%	11%	19%	8%	84%

6	1 601	20%	19%	14%	6%	82%
7	1 737	19%	11%	20%	10%	87%
8	1 749	29%	13%	18%	9%	85%
9	1 959	23%	11%	19%	6%	87%
10	1 873	21%	24%	15%	9%	82%
Paramètre moyen	1 809	22%	16%	17%	8%	85%

## 2) Application :

La mise en œuvre du principe de simulation décrit ci-dessus sur 1000 simulations de scénarii choqués a abouti aux taux stressés moyens suivants :

	Stress
Hypothèses d'aggravation de la fréquence	20%
Hypothèses d'aggravation du CM	17%

Variables	Valeurs simulées
Taux d'accroissement choqué	7%
Taux de sortie choqué	15%
Taux de règlement des sinistres choqué	85%

Notre nombre de bénéficiaire est simulé aléatoirement et a pour valeur à 2016 : 1795 bénéficiaires.

Ainsi notre triangle de projection des affaires souscrites est le suivant :

Projection des affaires	2 016	2 017	2 018	2 019	2 020	2 021	2 022	2 023	2 024
2 016	<b>1 795</b>	1 526	1 297	1 102	937	796	677	575	489
2 017		1 921	1 633	1 388	1 180	1 003	852	724	616
2 018			2 055	1 747	1 485	1 262	1 073	912	775
2 019				2 199	1 869	1 589	1 350	1 148	976
2 020					2 353	2 000	1 700	1 445	1 228
2 021					-	2 518	2 140	1 819	1 546
2 022					-	-	2 694	2 290	1 946
2 023					-	-	-	2 882	2 450
2 024					-	-	-	-	3 084
<b>Stock</b>	-	1 526	2 929	4 237	5 470	6 650	7 792	8 913	10 026

Ainsi d'après le tableau ci-dessus, nous avons pu obtenir les flux de stock annuels projetés. Nous nous sommes servis de ces flux pour calculer le nombre de sinistres.

Le calcul e la fréquence choquée nous a donné le tableau suivant :

Année	2016	à partir de 2017
Fréquence Maroc	1,08%	2,15%
Fréquence Etranger	0,32%	0,65%

En utilisant le tableau des projections du nombre de bénéficiaires ci-dessus et les fréquences choquées nous avons obtenu le nombre de sinistres projeté suivant :

Triangle de projection du nombre de sinistres au Maroc:

	2 016	2 017	2 018	2 019	2 020	2 021	2 022	2 023	2 024
2 016	19	33	28	24	20	17	15	12	11
2 017	-	21	35	30	25	22	18	16	13
2 018	-	-	22	38	32	27	23	20	17
2 019	-	-	-	24	40	34	29	25	21
2 020	-	-	-	-	25	43	37	31	26
2 021	-	-	-	-	-	27	46	39	33
2 022	-	-	-	-	-	-	29	49	42
2 023	-	-	-	-	-	-	-	31	53
2 024	-	-	-	-	-	-	-	-	33
Total	19	54	85	115	143	170	197	223	249

Triangle de projection du nombre de sinistres à l'étranger :

	2 016	2 017	2 018	2 019	2 020	2 021	2 022	2 023	2 024
2 016	6	10	8	7	6	5	4	4	3
2 017	-	6	11	9	8	6	6	5	4
2 018	-	-	7	11	10	8	7	6	5
2 019	-	-	-	7	12	10	9	7	6
2 020	-	-	-	-	8	13	11	9	8
2 021	-	-	-	-	-	8	14	12	10
2 022	-	-	-	-	-	-	9	15	13

<b>2 023</b>	-	-	-	-	-	-	-	9	16
<b>2 024</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	10
<b>Total</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Le tableau ci-dessous présente le coût moyen choqué en dhs:

CM Maroc	38 587
CM Etranger	178 990

Il est à noter que :

Le coût moyen choqué sur les 10 années de projection = Coût moyen du scénario central × stress à appliquer sur le coût moyen.

Le produit du coût moyen et du nombre de sinistres total nous donne le tableau des montants de sinistralité suivant :

Année	Montant de sinistralité en dhs
2 016	1 783 973
2 017	4 941 606
2 018	7 865 360
2 019	10 607 101
2 020	13 212 089
2 021	15 720 052
2 022	18 166 105
2 023	20 581 534
2 024	22 994 473

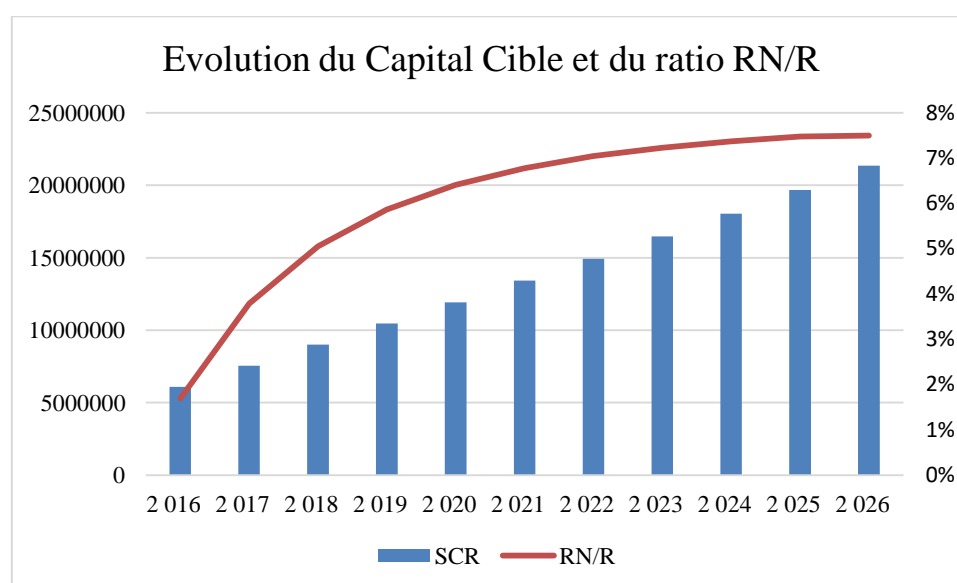
Finalement, notre compte de résultat simulé est le suivant :

	2 016	2 017	2 018	2 019	2 020	2 021
<b>Affaires nouvelles</b>	1 795	1 921	2 055	2 199	2 353	2 518
<b>Stock</b>	-	1 526	2 929	4 237	5 470	6 650
<b>CA</b>	2 899 823	8 032 508	12 785 027	17 241 686	21 476 055	25 552 712
<b>Commissions sur primes émises</b>	347 979	963 901	1 534 203	2 069 002	2 577 127	3 066 325
<b>Frais de gestion</b>	637 961	1 767 152	2 812 706	3 793 171	4 724 732	5 621 597
<b>Sinistralité</b>	1 783 973	4 941 606	7 865 360	10 607 101	13 212 089	15 720 052
<b>BE Sinistralité</b>	19 671 586	23 404 416	27 143 823	30 925 118	34 777 071	38 722 667
<b>BMS</b>	579 965	1 606 502	2 557 005	3 448 337	4 295 211	5 110 542
<b>PSAP</b>	267 596	741 241	1 179 804	1 591 065	1 981 813	2 358 008
<b>Produits financiers sur PSAP</b>	10 704	29 650	47 192	63 643	79 273	94 320

<b>Produits financiers sur FP</b>	23 199	64 260	102 280	137 933	171 808	204 422
<b>RBE avant impôt</b>	163 812	453 759	722 230	973 988	1 213 189	1 443 480
<b>IS</b>	60 610	167 891	267 225	360 376	448 880	534 088
<b>RBE après impôt</b>	103 201	285 868	455 005	613 613	764 309	909 393
<b>ROE</b>	18%	18%	18%	18%	18%	18%
<b>SCR</b>	6 082 935	7 549 567	9 008 766	10 466 550	11 932 270	13 415 412
<b>RN/R</b>	2%	4%	5%	6%	6%	7%

Pour avoir un tableau lisible, nous nous sommes contentés d'afficher les 5 premières années de projection.

### 3) Analyse des résultats et calcul du tarif Solvabilité 2:



Nous remarquons d'après le compte de résultat et le graphe ci-dessus que le RN/R du produit HI, ainsi que le SCR sont croissants. Cependant, les chocs pris dans l'exemple ont affecté négativement la rentabilité du produit. En effet, le RN/R moyen sur 10 ans passe de 28% (scénario central) à 6%.

D'autre part, visant un RN/R de 50% sur 10 ans sous les hypothèses de nos scénarii choqués, le solveur Excel nous a fourni un tarif moyen sous solvabilité 2 de 5250 dhs.

#### VIII-4. Confrontation des résultats

Visant un ratio RN/R moyen de 50% sur 10 ans, la construction d'un tarif moyen sous les contraintes réglementaires de Solvabilité 2 selon l'approche déterministe, stochastique et les stress tests a abouti à trois résultats. Ces tarifs sont différents du tarif moyen initial : 3231 dhs.

En effet, le tarif des stress tests a comme valeur 5250 dhs, qui est le plus élevé des trois tarifs. Ce résultat est logique car les stress tests prévoient la vision la plus pessimiste.

Le tarif obtenu via la méthode stochastique est proche de la dite déterministe et a pour valeur : 3949,2 dhs. En effet, il est calculé en se basant sur des paramètres qui tournent autour du scénario central.

*Conclusion :*

Dans tous nos calculs et simulations le capital réglementaire est en permanence couvert par les fonds propres économiques, l'entreprise peut donc moyennant les tarifs proposés respecter les exigences de la Directive Solvabilité 2. Aussi, les tarifs calculés sous ces mêmes exigences sont légèrement plus haut que les tarifs existants.

D'autre part, nous concluons que la problématique d'allocation de capital et conception du tarif ne concerne pas simplement le développement et la mise en place d'une méthode de calcul ou simulation mais repose globalement sur la définition des hypothèses, des objectifs et des indicateurs de rentabilité qui permettent la bonne mise en place de l'appétence au risque afin de respecter les attentes de chaque acteur et décisionnaire.

## *Conclusion générale:*

Dans le contexte concurrentiel existant au sein du marché de l'assurance santé, chaque compagnie d'assurance vise à constituer le meilleur tarif qui permettra d'honorer à tout moment ses engagements vis-à-vis ses assurés

À travers ce mémoire, nous avons eu l'occasion d'étudier deux méthodes de tarification majeures appliquées en assurance santé :

La tarification empirique déterministe dont l'idée est de décomposer le risque en « Fréquence x Coût » pour chaque acte médical donné. Cette approche est jugée peu informative sur d'éventuelles variations de la sinistralité annuelle et moins facilement adaptable aux différents types de remboursements possibles. Cependant, elle demeure la méthode la plus utilisée dans ce type de tarification au Maroc.

La tarification stochastique : l'utilisation des modèles linéaires généralisés (GLM) nous a permis d'identifier, parmi les données disponibles, celles qui influent le plus sur la consommation en soins médicaux d'un assuré, et de quantifier cette influence. Cette tarification s'est avérée fructueuse vu le seuil de significativité des variables explicatives utilisées et la pertinence des modalités obtenues par la segmentation de l'algorithme « CHAID ». Cette segmentation propre au modèle linéaire généralisé permet à la compagnie de se prémunir contre le risque inhérent à l'assurance maladie de manière plus adéquate.

Une tarification empirique a été aussi mise en place pour déterminer le tarif d'un nouveau produit qui garantit une couverture hospitalière au Maroc ainsi qu'à l'international. L'étude a porté sur la conception d'une base tarifaire puis la construction d'un tarif convenable à tous les types de remboursement que prévoit ledit produit.

La mise en place des dispositifs de tarification Solvabilité 2 est d'abord une nécessité bientôt réglementaire et aussi l'occasion pour les assureurs de réviser les procédures en place et de vérifier la pertinence de leur tarif. En effet, la directive Solvabilité 2, exige des entreprises du secteur assurantiel de détenir un montant de capital cible dans leurs fonds propres : le Solvency Capital Requirement (SCR) pour éviter les cas majeurs de crise où l'entreprise risquerait de faillir à ses engagements.

Ensuite, il a fallu s'assurer de la viabilité du tarif du produit HI récemment lancé et quantifier les exigences réglementaires y afférent. Pour cela, nous avons appliqué une méthode

*Conclusion générale:*

d'allocation de capital via le modèle standard. Nous avons ainsi développé un modèle de projection simple de l'activité de l'entreprise.

En effet, nous avons construit un outil de projection des bilans d'exploitations. Ceci nous a permis dans un premier temps d'identifier le profil de risque de l'entreprise associé au produit.

Les résultats de l'étude ont prouvé que les tarifs obtenus à travers la méthode empirique ou encore stochastique sont viables et permettent de respecter les exigences réglementaires de Solvency 2 sur le plan moyen et long terme.

Enfin, une extension intéressante de notre étude serait d'aller au delà de l'approche standard pour construire un tarif en adoptant un modèle interne. Celui ci est jugé plus pertinent et plus adaptable aux risques propres à l'entreprise. En effet, le modèle interne permet aux assureurs d'étudier plus en détails les facteurs de risque qu'ils jugent prépondérants.

*Bibliographie :*

*Bibliographie :*

**Livres :**

- Arthur CHARPENTIER, Mathématiques de l'assurance non-vie : Tome, Principes fondamentaux de théorie de risque. Edition Economica, 2005.

**Rapport :**

- International Federation of Health Plans.
- Ministère français de la santé.
- Fédération marocaine des sociétés d'assurance et de réassurance

**Mémoires :**

- AMGUIRID Fouad, Problématiques de la garantie arrêt de travail dans le cadre de Solvabilité 2, Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Statisticien Mention Actuariat, promotion 2011.
- Emma GONDRAN et Romain LAGRESLEN, Appétence au risque et allocation de capital à partir de critères de performances sous solvabilité 2, Mémoire présenté devant l'ENSAE Paris Tech pour l'obtention du diplôme de la filière Actuariat et l'admission à l'Institut des Actuaire.
- Maurel EDZIVANTALI et Mericain CLAUDE, Calcul du Best Estimate et du Solvency Capital Requirement sous solvabilité<sup>2</sup>, Mémoire présenté à l'INSEA pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur option Actuariat-Finance d'Etat année universitaire 2012/2013.
- ENAJEH Amine et AIT ZEOUAY Soukaina, Tarification et provisionnement en assurance maladie groupe de base. Mémoire présenté à l'INSEA pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur option Actuariat-Finance d'Etat année universitaire 2014/2015.
- Bastien GODRIX, Prévisions d'activité de mutuelles santé sous les réglementations Solvabilité I et II. Mémoire présenté devant l'Institut de Science Financière et d'Assurances pour l'obtention du diplôme d'Actuaire de l'Université de Lyon 2011/2012.
- Mahrach Nada et Merouane Soukayna, Benchmark de méthodes de modélisation des dépenses en assurance maladie. Mémoire présenté à l'INSEA pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur option Actuariat-Finance d'Etat année universitaire 2014/2015.

*Webographie :*

- [www.famidac.fr](http://www.famidac.fr)
- [www.medigo.com](http://www.medigo.com)
- [www.atih.sante.fr](http://www.atih.sante.fr)
- [www.asn-online.org](http://www.asn-online.org)
- [www.ch-sens.fr](http://www.ch-sens.fr)
- [www.ecoledudos.org](http://www.ecoledudos.org)
- [www.ethictransplantation.blogspot.com](http://www.ethictransplantation.blogspot.com)
- [www.snof.org](http://www.snof.org)
- [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
- [www.ressources-actuarielles.net](http://www.ressources-actuarielles.net)
- [www.anam.ma](http://www.anam.ma)

## Liste des Annexes :

### Annexe 1 : Théorie de l'ACM

L'ACM est une technique de l'analyse de données qui permet d'analyser un nuage de points, pour lequel on cherche le système d'axes susceptible d'en fournir la meilleure représentation. Etant donné l'espace vectoriel  $R^K$ , dans lequel on définit une métrique, on situe un nuage de  $N$  points munis d'une masse.

Le but est alors de calculer l'inertie totale de ce nuage, de déterminer ses axes d'inertie et de projeter les points dans la base formée par ces axes. L'analyse des correspondances permet d'analyser les différents liens entre variables qualitatives.

Les données peuvent être regroupées sous deux formats :

- Dans un tableau disjonctif complet  $K_{ij}$
- Dans un tableau de Burt, défini par  $B = K_{ij} * K_{ij}$

a) Les contributions absolues

L'ACM quantifie la part prise par une modalité dans l'inertie expliquée d'un axe. Pour cela, les contributions (absolues) des modalités à l'inertie selon les axes sont interprétées.

La contribution d'une modalité  $j$  à l'axe  $k$  est :  $C(i, j) = \frac{n_j}{p*n} * a_{jk}^2 * \frac{1}{\lambda_k}$

Où :

$n_j$  est l'effectif de la modalité  $j$ ,

$p$  est le nombre de variables actives dans l'ACM,

$n$  est le nombre total d'individus,

$a_{jk}$  est la coordonnée de la modalité  $j$  sur l'axe  $k$ ,

$\lambda_k$  est la valeur propre associée à l'axe  $k$ .

Ces quantités permettent d'interpréter les axes factoriels en mettant en évidence les modalités des variables actives qui contribuent le plus à leur fabrication.

Nous qualifierons de significatives, les modalités de variables dont la contribution est supérieure au poids qu'elles représentent :

$$C(i, j) > \frac{n_j}{n * p}$$

Dans la pratique, une technique simplificatrice est utilisée : retenir les modalités qui ont une contribution supérieure à la contribution moyenne (l'inverse du nombre de modalités).

b) La qualité de représentation des modalités des variables actives

La qualité de représentation de chaque modalité sur un axe factoriel, se mesure par le cosinus carré (encore appelé contribution relative) de l'angle entre le vecteur représentant cette modalité et sa projection dans le sous espace principal.

Plus ce cosinus est grand, plus la position de la modalité en projection est proche de sa position réelle dans l'espace. La qualité de représentation d'une modalité dans un plan factoriel s'apprécie ainsi en faisant la somme des cosinus carrés sur les axes étudiés.

Nous nous intéresserons uniquement aux modalités dont la somme des cosinus carrés sur les axes retenus est non négligeable.

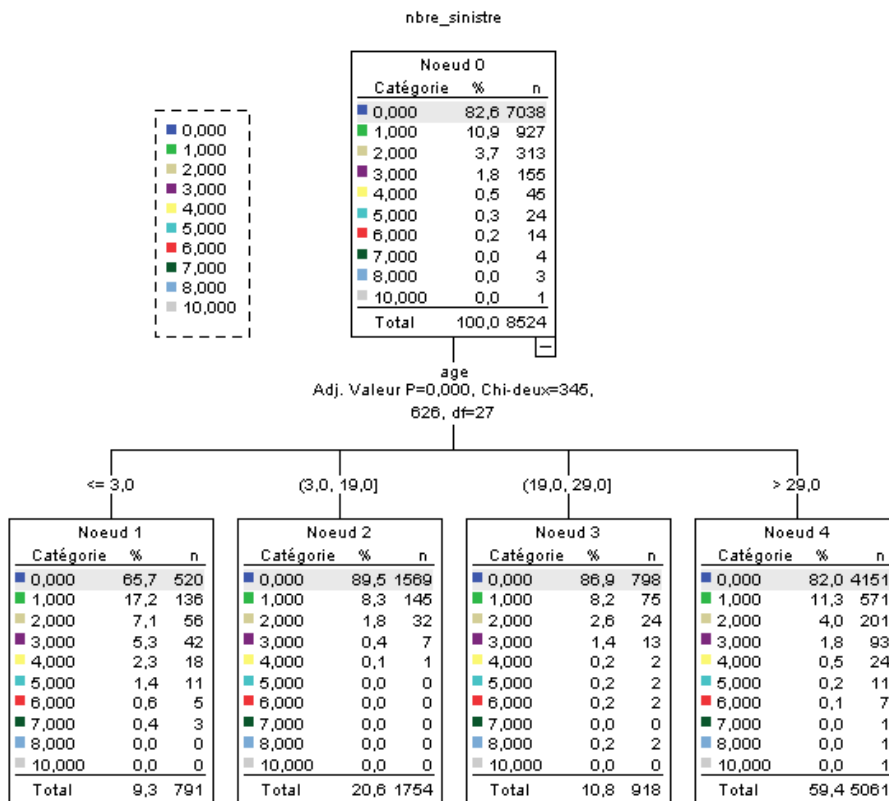
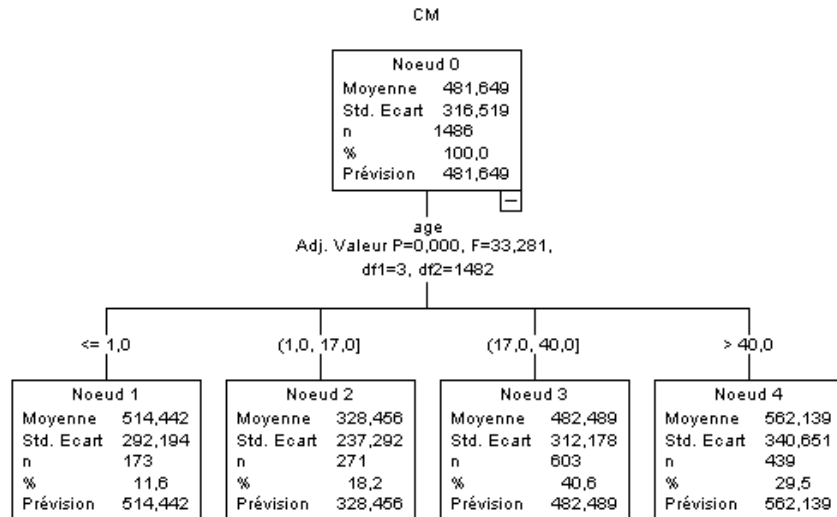
En pratique, parmi les modalités retenues pour leur contribution aux différents axes, on ne garde que celles dont le cosinus carré n'est pas trop faible (supérieur à 0.1).

Cela permet de retirer de l'analyse les modalités dont la qualité de projection sur l'axe en question n'est pas suffisante pour donner lieu à une interprétation significative.

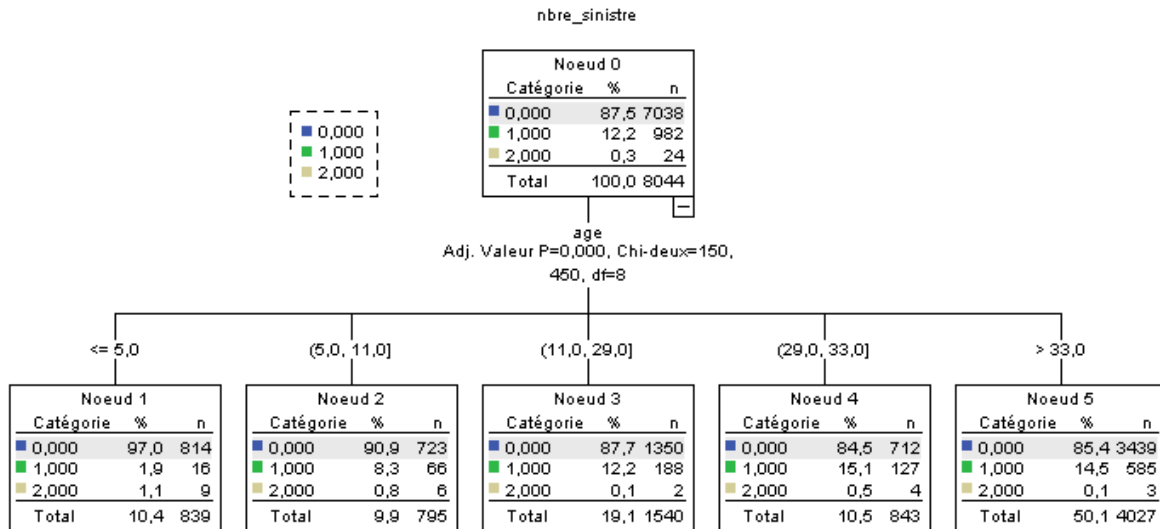
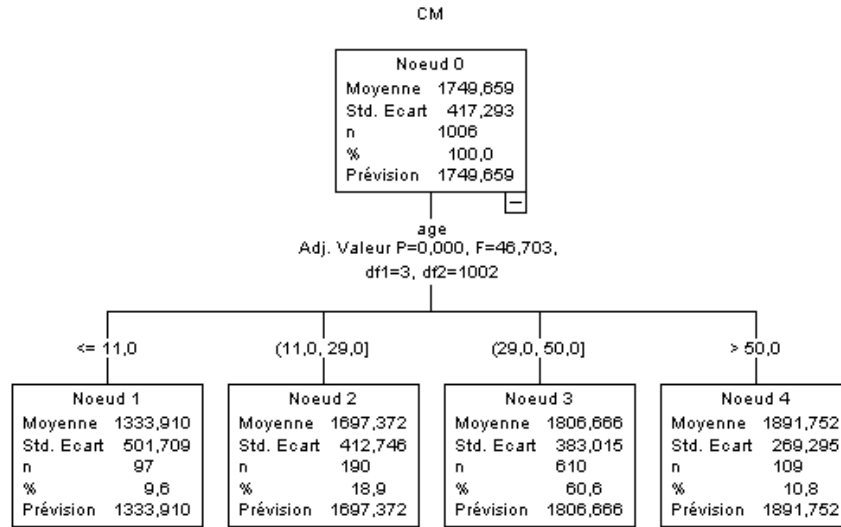
**Annexe 2 : Segmentation de la variable âge pour chaque poste médical**

**Radiologie**

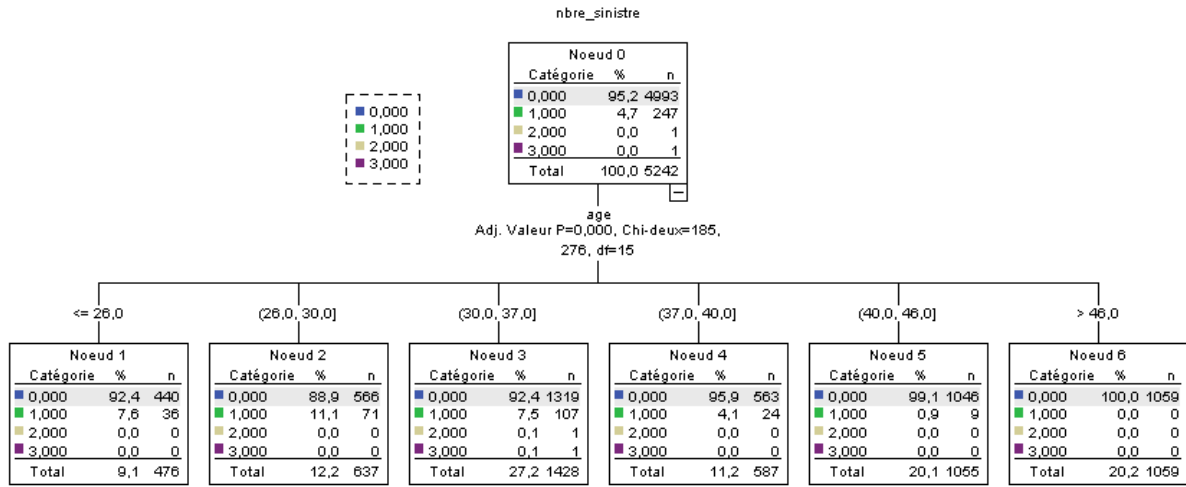
**Coût moyen & Fréquence**



**Optique**



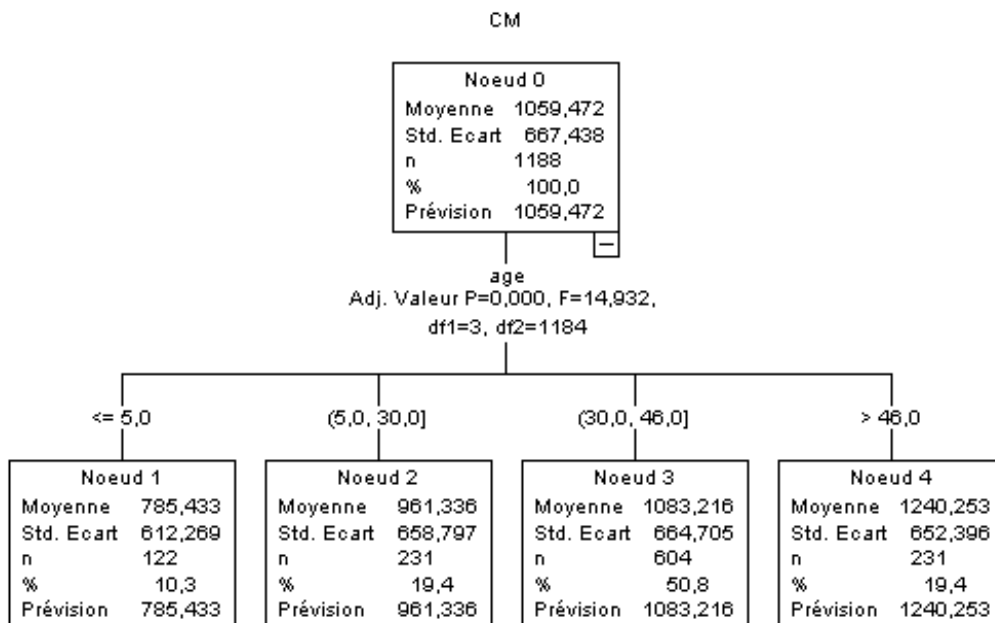
**Maternité**

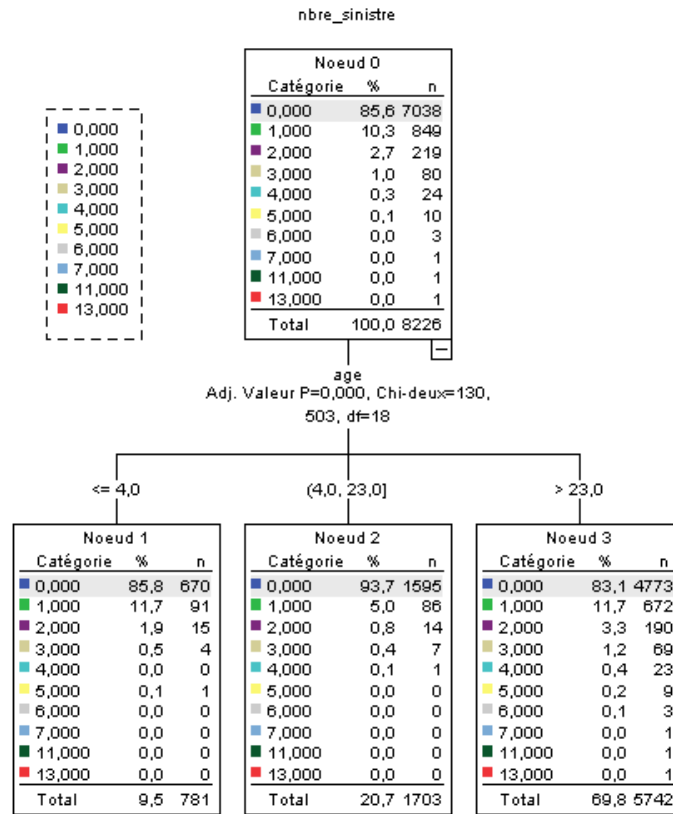


Pour le Coût moyen Maternité l'âge a été fourni par la procédure FASTCLUS de SAS :

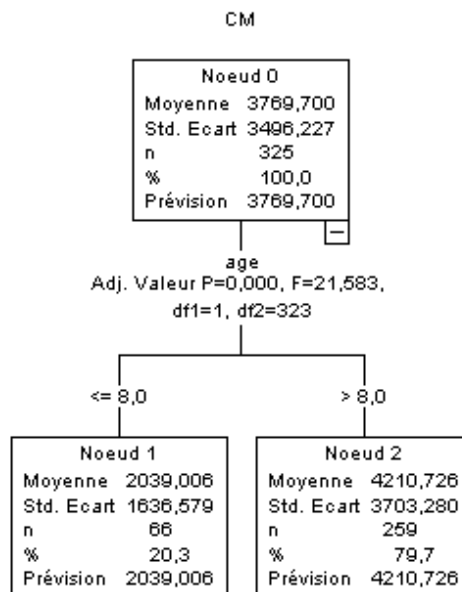
Classe	code
<=34	1
>34	2

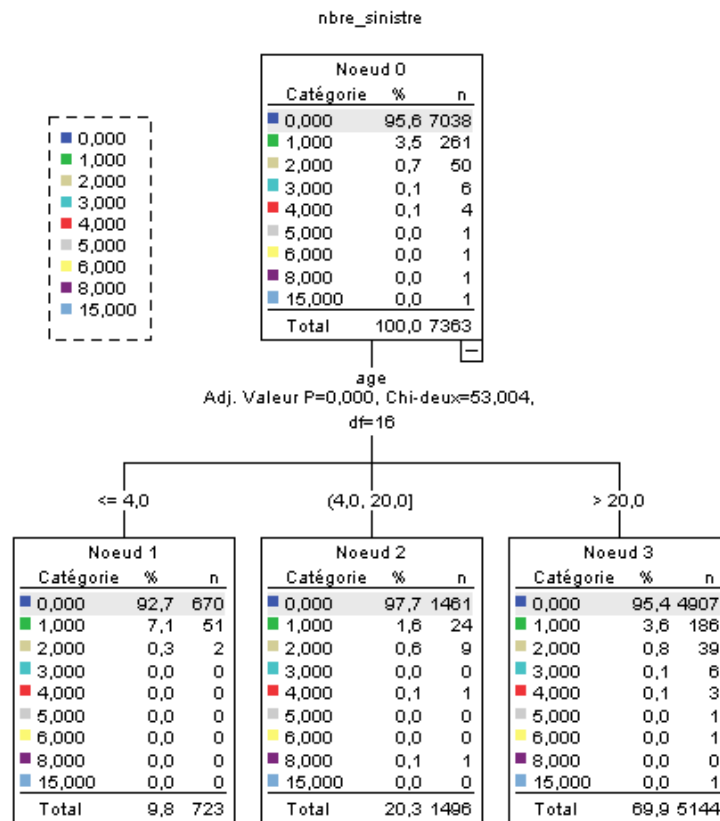
**Analyse**



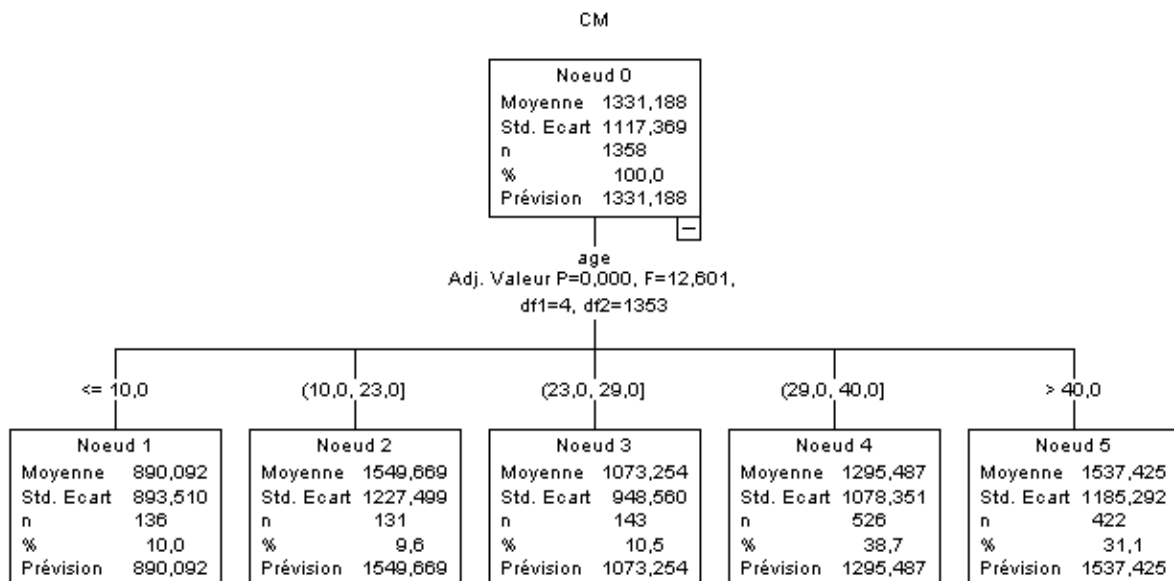


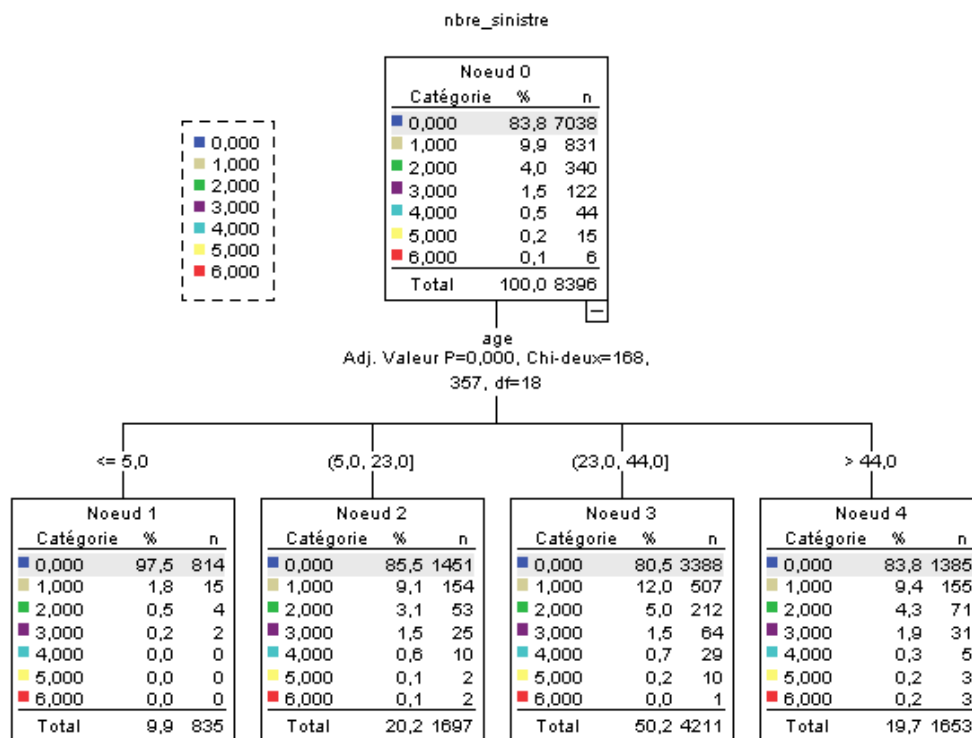
## Hospitalisation



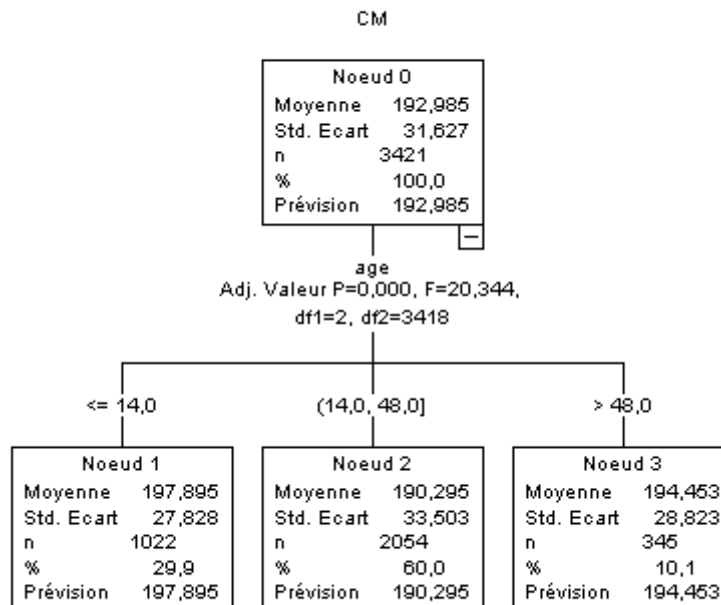


**Dentaire**

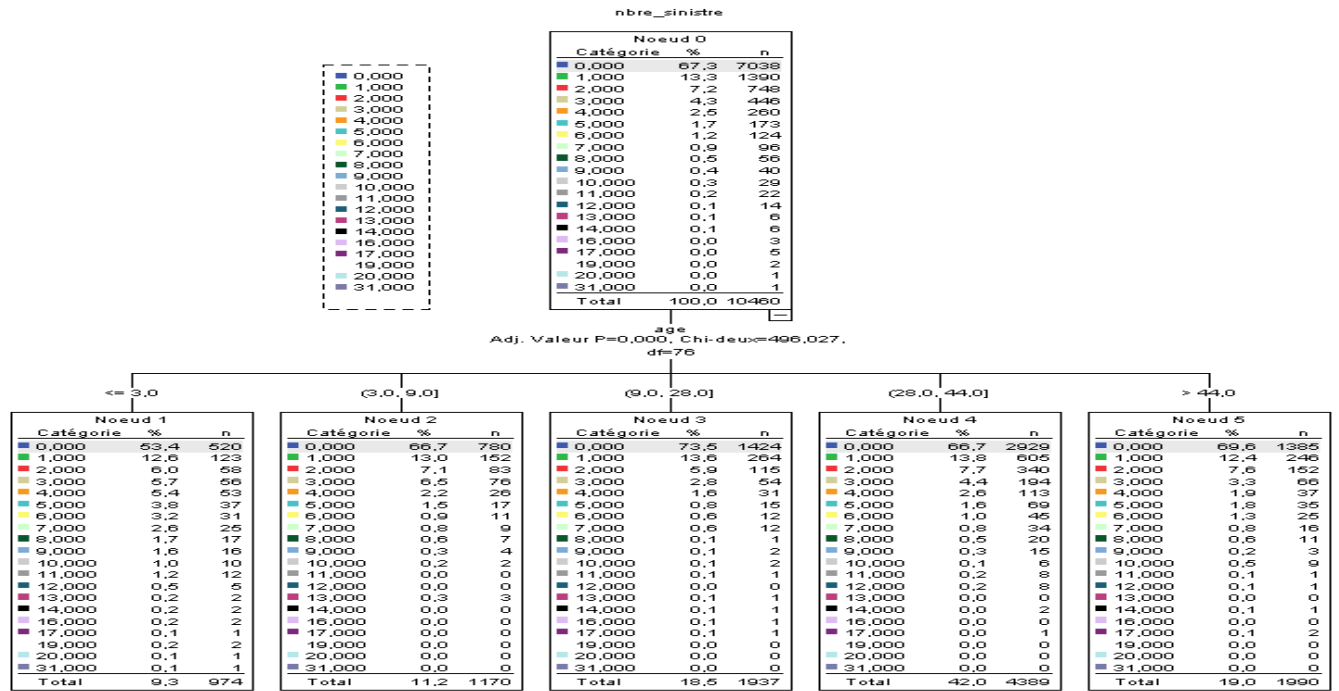




### Soins ambulatoires



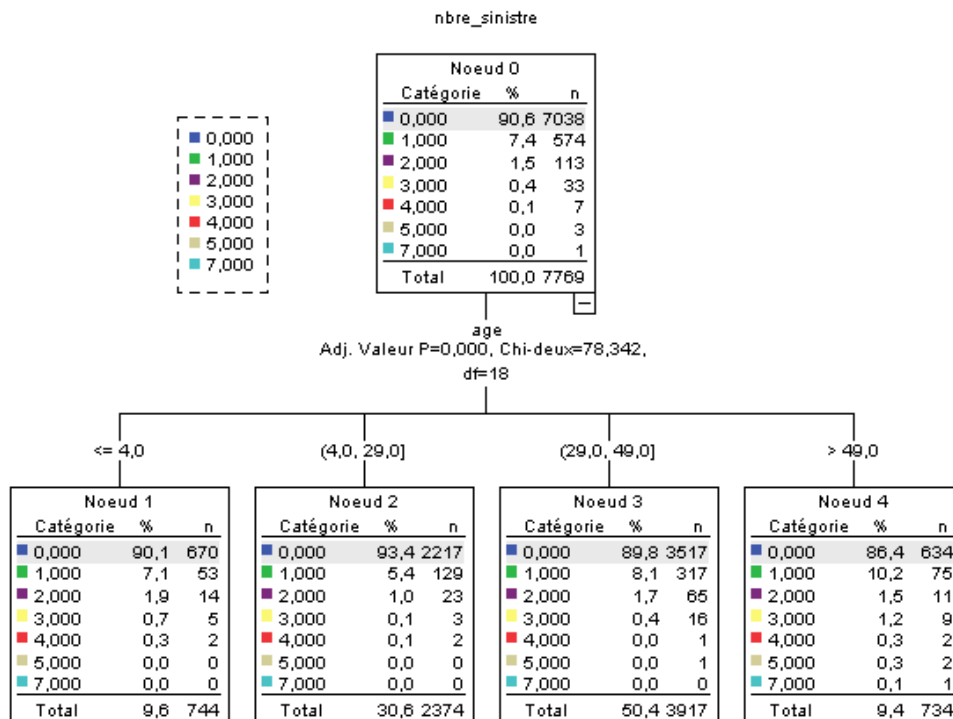
Liste des Annexes :



Autres

Pour le Coût moyen « Autres » l'âge a été fourni par la procédure FASTCLUS de SAS :

Classe	code
<=16	1
>16	2



**Annexe 3 : GLM**

**Radiologie :**

Coût moyen

Informations sur le modèle	
<b>Data Set</b>	MALADIE.CMRadio
<b>Distribution</b>	Gamma
<b>Link Function</b>	Log
<b>Dependent Variable</b>	CM
<b>Scale Weight Variable</b>	nbre_sinistre

Analyse des valeurs estimées du paramètre de vraisemblance maximum								
Paramètre	DDL	Valeur estimée	Erreur type	Intervalle de confiance de Wald à 95 %		Khi-2 de Wald	Pr > Khi-2	
<b>Intercept</b>	1	5.3177	0.0251	5.2686	5.3669	45004.3	<.0001	
<b>tranche_age</b>	1	-0.7935	0.0414	-0.8745	-0.7124	368.04	<.0001	
<b>tranche_age</b>	2	-0.3496	0.0315	-0.4113	-0.2878	123.09	<.0001	
<b>tranche_age</b>	4	0.1360	0.0294	0.0784	0.1937	21.39	<.0001	
<b>sexe</b>	0	-0.0011	0.0338	-0.0674	0.0652	0.00	0.9733	
<b>sexe</b>	2	-0.0635	0.0263	-0.1149	-0.0120	5.85	0.0156	
<b>Scale</b>	1	1.1976	0.0308	1.1387	1.2594			

Fréquence :

Informations sur le modèle	
<b>Data Set</b>	MALADIE.FreqRadio
<b>Distribution</b>	Negative Binomial
<b>Link Function</b>	Log

Informations sur le modèle	
<b>Dependent Variable</b>	nbre_sinistre
<b>Offset Variable</b>	offset

Analyse des valeurs estimées du paramètre de vraisemblance maximum								
Paramètre		DDL	Valeur estimée	Erreur type	Intervalle de confiance de Wald à 95 %		Khi-2 de Wald	Pr > Khi-2
<b>Intercept</b>		1	-0.4544	0.0429	-0.5384	-0.3704	112.38	<.0001
<b>tranche_age</b>	1	1	0.8553	0.0716	0.7150	0.9956	142.79	<.0001
<b>tranche_age</b>	2	1	-0.7788	0.0844	-0.9442	-0.6133	85.07	<.0001
<b>tranche_age</b>	3	1	-0.2871	0.0895	-0.4625	-0.1117	10.30	0.0013
<b>sexe</b>	0	1	-0.2008	0.0756	-0.3490	-0.0526	7.05	0.0079
<b>sexe</b>	1	1	-0.6251	0.0564	-0.7356	-0.5145	122.72	<.0001
<b>Dispersion</b>		1	1.2747	0.0923	1.0938	1.4557		

## *Hospitalisation*

### Coût moyen

Informations sur le modèle	
<b>Data Set</b>	MALADIE.CMHospi
<b>Distribution</b>	Gamma
<b>Link Function</b>	Log
<b>Dependent Variable</b>	CM
<b>Scale Weight Variable</b>	nbre_sinistre

Analyse des valeurs estimées du paramètre de vraisemblance maximum								
Paramètre		DDL	Valeur estimée	Erreur type	Intervalle de confiance de Wald à 95 %		Khi-2 de Wald	Pr > Khi-2
Intercept		1	8.6020	0.0737	8.4577	8.7464	13641.0	<.0001
tranche_age	1	1	-0.4971	0.1950	-0.8793	-0.1149	6.50	0.0108
TYPE_BENEFICIAIRE	2	1	-0.3724	0.1712	-0.7080	-0.0368	4.73	0.0296
TYPE_BENEFICIAIRE	3	1	-0.5082	0.1788	-0.8586	-0.1579	8.08	0.0045
sexe	0	1	0.4006	0.1732	0.0611	0.7401	5.35	0.0207
sexe	2	1	-0.1950	0.1025	-0.3958	0.0059	3.62	0.0571
Scale		1	1.1064	0.0779	0.9637	1.2702		

Fréquence :

Informations sur le modèle	
Data Set	MALADIE.FreqHospi
Distribution	Negative Binomial
Link Function	Log
Dependent Variable	nbre_sinistre
Offset Variable	offset

Analyse des valeurs estimées du paramètre de vraisemblance maximum								
Paramètre	DDL	Valeur estimée	Erreur type	Intervalle de confiance de Wald à 95 %		Khi-2 de Wald	Pr > Khi-2	
Intercept	1	-2.7387	0.1524	-3.0373	-2.4401	323.11	<.0001	
tranche_age	1	0.7716	0.2259	0.3289	1.2143	11.67	0.0006	
tranche_age	3	0.5373	0.1662	0.2115	0.8631	10.45	0.0012	
Dispersion	1	4.9292	0.6786	3.5992	6.2592			

### Ambulatoires

Coût moyen :

Informations sur le modèle	
Data Set	MALADIE.CMAmbu
Distribution	Gamma
Link Function	Log
Dependent Variable	CM
Scale Weight Variable	nbre_sinistre

Analyse des valeurs estimées du paramètre de vraisemblance maximum								
Paramètre	DDL	Valeur estimée	Erreur type	Intervalle de confiance de Wald à 95 %		Khi-2 de Wald	Pr > Khi-2	
Intercept	1	5.2499	0.0034	5.2433	5.2565	2446898	<.0001	
tranche_age	1	0.0574	0.0057	0.0462	0.0686	101.28	<.0001	
Scale	1	14.3842	0.3453	13.7231	15.0771			

**Note:** The scale parameter was estimated by maximum likelihood.

Fréquence :

Informations sur le modèle	
<b>Data Set</b>	MALADIE.FreqAmbu
<b>Distribution</b>	Negative Binomial
<b>Link Function</b>	Log
<b>Dependent Variable</b>	nbre_sinistre
<b>Offset Variable</b>	offset

Analyse des valeurs estimées du paramètre de vraisemblance maximum								
Paramètre		DDL	Valeur estimée	Erreur type	Intervalle de confiance de Wald à 95 %		Khi-2 de Wald	Pr > Khi-2
<b>Intercept</b>		1	1.2789	0.0564	1.1684	1.3894	514.31	<.0001
<b>tranche_age</b>	2	1	-0.7906	0.0724	-0.9325	-0.6486	119.18	<.0001
<b>tranche_age</b>	3	1	-1.2082	0.0672	-1.3400	-1.0765	323.05	<.0001
<b>tranche_age</b>	4	1	-0.8632	0.0558	-0.9725	-0.7539	239.59	<.0001
<b>sexe</b>	0	1	-0.2761	0.0527	-0.3793	-0.1728	27.47	<.0001
<b>sexe</b>	1	1	-0.4858	0.0390	-0.5624	-0.4093	154.83	<.0001
<b>Dispersion</b>		1	1.7045	0.0563	1.5941	1.8148		

**Analyse :**

Coût moyen :

Informations sur le modèle	
<b>Data Set</b>	MALADIE.CMAnalyse
<b>Distribution</b>	Gamma
<b>Link Function</b>	Log

Liste des Annexes :

Informations sur le modèle	
<b>Dependent Variable</b>	CM
<b>Scale Weight Variable</b>	nbre_sinistre

Analyse des valeurs estimées du paramètre de vraisemblance maximum							
Paramètre	DDL	Valeur estimée	Erreur type	Intervalle de confiance de Wald à 95 %		Khi-2 de Wald	Pr > Khi-2
<b>Intercept</b>	1	6.5699	0.0244	6.5220	6.6178	72255.5	<.0001
<b>tranche_age</b>	1	-0.2714	0.0655	-0.3998	-0.1430	17.17	<.0001
<b>tranche_age</b>	2	-0.1336	0.0483	-0.2282	-0.0389	7.65	0.0057
<b>tranche_age</b>	4	0.1146	0.0473	0.0218	0.2073	5.86	0.0155
<b>Scale</b>	1	1.8176	0.0696	1.6861	1.9593		

Fréquence :

Informations sur le modèle	
<b>Data Set</b>	MALADIE.FreqAnalyse
<b>Distribution</b>	Negative Binomial
<b>Link Function</b>	Log
<b>Dependent Variable</b>	nbre_sinistre
<b>Offset Variable</b>	offset

Analyse des valeurs estimées du paramètre de vraisemblance maximum								
Paramètre	DDL	Valeur estimée	Erreur type	Intervalle de confiance de Wald à 95 %		Khi-2 de Wald	Pr > Khi-2	
<b>Intercept</b>		1	-0.8845	0.0318	-0.9468	-0.8222	774.29	<.0001
<b>tranche_age</b>	1	1	-0.2550	0.1031	-0.4571	-0.0529	6.12	0.0134
<b>tranche_age</b>	2	1	-1.0417	0.0964	-1.2306	-0.8528	116.77	<.0001
<b>Dispersion</b>		1	1.3185	0.1158	1.0916	1.5455		

### *Dentaire*

Coût moyen :

Informations sur le modèle	
<b>Data Set</b>	MALADIE.CMDentaire
<b>Distribution</b>	Gamma
<b>Link Function</b>	Log
<b>Dependent Variable</b>	CM
<b>Scale Weight Variable</b>	nbre_sinistre

Analyse des valeurs estimées du paramètre de vraisemblance maximum								
Paramètre	DDL	Valeur estimée	Erreur type	Intervalle de confiance de Wald à 95 %		Khi-2 de Wald	Pr > Khi-2	
<b>Intercept</b>		1	7.2836	0.0358	7.2135	7.3537	41455.3	<.0001
<b>tranche_age</b>	1	1	-0.4566	0.0741	-0.6017	-0.3114	38.01	<.0001
<b>tranche_age</b>	2	1	-0.1871	0.0574	-0.2997	-0.0745	10.60	0.0011
<b>tranche_age</b>	3	1	-0.1392	0.0484	-0.2341	-0.0443	8.27	0.0040
<b>Scale</b>		1	1.1325	0.0395	1.0576	1.2127		

Liste des Annexes :

Fréquence :

Informations sur le modèle	
<b>Data Set</b>	MALADIE.FreqDentaire
<b>Distribution</b>	Negative Binomial
<b>Link Function</b>	Log
<b>Dependent Variable</b>	nbre_sinistre
<b>Offset Variable</b>	offset

Analyse des valeurs estimées du paramètre de vraisemblance maximum								
Paramètre	DDL	Valeur estimée	Erreur type	Intervalle de confiance de Wald à 95 %		Khi-2 de Wald	Pr > Khi-2	
<b>Intercept</b>	1	-2.4049	0.1972	-2.7914	-2.0185	148.79	<.0001	
<b>tranche_age</b>	2	1.6849	0.2022	1.2886	2.0811	69.44	<.0001	
<b>tranche_age</b>	3	1.9361	0.1976	1.5489	2.3233	96.05	<.0001	
<b>tranche_age</b>	4	1.8304	0.2036	1.4313	2.2294	80.81	<.0001	
<b>sexe</b>	0	-0.3014	0.0874	-0.4728	-0.1301	11.89	0.0006	
<b>sexe</b>	1	-0.4215	0.0582	-0.5355	-0.3075	52.49	<.0001	
<b>Dispersion</b>	1	1.4645	0.1103	1.2483	1.6808			

Statistiques LR pour Analyse de Type 3			
Source	DDL	Khi-2	Pr > Khi-2
<b>tranche_age</b>	3	154.07	<.0001
<b>sexe</b>	2	53.29	<.0001

## Optique

### Coût moyen

Informations sur le modèle	
<b>Data Set</b>	MALADIE.CMOptique
<b>Distribution</b>	Gamma
<b>Link Function</b>	Log
<b>Dependent Variable</b>	CM
<b>Scale Weight Variable</b>	nbre_sinistre

Analyse des valeurs estimées du paramètre de vraisemblance maximum							
Paramètre	DDL	Valeur estimée	Erreur type	Intervalle de confiance de Wald à 95 %		Khi-2 de Wald	Pr > Khi-2
<b>Intercept</b>	1	7.4325	0.0217	7.3900	7.4751	117159	<.0001
<b>tranche_age</b>	1	-0.2711	0.0358	-0.3412	-0.2010	57.44	<.0001
<b>tranche_age</b>	3	0.0620	0.0249	0.0133	0.1108	6.22	0.0126
<b>tranche_age</b>	4	0.1084	0.0360	0.0379	0.1790	9.09	0.0026
<b>Scale</b>	1	11.0459	0.4853	10.1345	12.0394		

### Fréquence:

Informations sur le modèle	
<b>Data Set</b>	MALADIE.FreqOptique
<b>Distribution</b>	Poisson
<b>Link Function</b>	Log
<b>Dependent Variable</b>	nbre_sinistre
<b>Offset Variable</b>	offset

Analyse des valeurs estimées du paramètre de vraisemblance maximum							
Paramètre	DDL	Valeur estimée	Erreur type	Intervalle de confiance de Wald à 95 %		Khi-2 de Wald	Pr > Khi-2
Intercept	1	-1.1307	0.0536	-1.2358	-1.0256	444.45	<.0001
tranche_age	1	-1.1582	0.1782	-1.5076	-0.8089	42.23	<.0001
tranche_age	2	-0.3931	0.1243	-0.6368	-0.1495	10.00	0.0016
tranche_age	3	-0.1749	0.0846	-0.3408	-0.0091	4.27	0.0387
sexe	0	-0.2578	0.1008	-0.4555	-0.0602	6.54	0.0106
sexe	1	-0.3492	0.0681	-0.4827	-0.2157	26.28	<.0001
Scale	0	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000		

## *Transport*

### Coût moyen

Informations sur le modèle	
Data Set	MALADIE.TRANSPORT2
Distribution	Normal
Link Function	Identity
Dependent Variable	ln_CM
Scale Weight Variable	nbre_sinistre

Analyse des valeurs estimées du paramètre de vraisemblance maximum								
Paramètre	DDL	Valeur estimée	Erreur type	Intervalle de confiance de Wald à 95 %		Khi-2 de Wald	Pr > Khi-2	
Intercept	1	4.4532	0.1267	4.2049	4.7016	1235.23	<.0001	
tranche_age	1	0.8101	0.3913	0.0433	1.5770	4.29	0.0384	
Scale	1	3.4328	0.2822	2.9220	4.0329			

Statistiques LR pour Analyse de Type 3			
Source	DDL	Khi-2	Pr > Khi-2
tranche_age	1	4.17	0.0412

Fréquence:

Informations sur le modèle	
Data Set	MALADIE.TRANSPORT
Distribution	Negative Binomial
Link Function	Log
Dependent Variable	nbre_sinistre
Offset Variable	offset

Analyse des valeurs estimées du paramètre de vraisemblance maximum								
Paramètre	DDL	Valeur estimée	Erreur type	Intervalle de confiance de Wald à 95 %		Khi-2 de Wald	Pr > Khi-2	
Intercept	1	-0.1007	0.0201	-0.1401	-0.0613	25.09	<.0001	
tranche_age	2	3.8078	0.1174	3.5776	4.0379	1051.77	<.0001	
Dispersion	1	65.8507	0.7132	64.4528	67.2486			

**Annexe 4 : Grilles tarifaires des postes médicaux**

<b>Radiologie</b>	Femme	Homme
<=1	674	402
1_3	465	278
3_17	91	54
17_19	148	88
19_29	242	144
29_40	322	192
>40	375	224

<b>Dentaire</b>	Femme	Homme
<=5	83	55
5_10	449	295
10_23	588	386
23_29	756	496
29_40	793	520
40_44	911	598
>44	820	538

<b>Optique</b>	Femme	Homme
<=5	131	92
5_11	281	198
11_29	458	323
29_50	580	409
>50	608	429

<b>Hospitalisation</b>	A		C		E	
	H	F	H	F	H	F
<=4	463	381	319	263	279	229
4_8	214	176	147	121	129	106
8_20	352	290	242	200	212	174
>20	602	496	415	341	362	298

<b>Ambulatoire</b>	Femme	Homme
<=3	725	446
3_9	329	202
9_14	217	133
14_28	205	126
>28	289	178

<b>Transport</b>	Prime	Pure
<=32	175	
>32	499	

<b>Autres</b>	Homme	Femme
<=29	148	277
29-49	206	387
49-52	332	623
>52	263	494

<b>Analyse</b>	Femme	Homme
<=4	238	110
4_5	100	46
5_23	115	53
23_30	366	169
30_46	419	193
>46	469	216

**Annexe 5 : Démonstration de la formule standard du calcul du SCR Santé Non-SLT**

Notons la perte qu'on réalise sur une année :

$$\varepsilon = S_n - \pi_n$$

Ou :

$S_n$  : désigne le montant des sinistres survenus au cours de l'année

$\pi_n$ : désigne le montant de primes couvrant la garantie sur l'année

Posons  $x_n$ : le montant de sinistres réglé pendant l'année n et  $p_n$ : le montant de provision en début d'année. On a alors :  $S_n = x_n + p_{n+1} - p_n$

Le volume du portefeuille pour l'année n correspond aux primes de l'année auxquelles s'ajoutent les provisions de début d'année.

$$V_n = p_n + p_{n+1}$$

Le ratio R combiné est défini comme suit :

$$R = \frac{x_n + p_{n+1}}{V_n} = \frac{x_n + p_{n+1}}{\pi_n + p_n}$$

La Value at Risk 99,5% de la perte, constitue le capital de risque requis. Cette quantité est définie comme voici :  $P(\varepsilon < Var_{99,5\%}^\varepsilon) = 0.95$

La connaissance de la distribution de permettrait donc de déterminer le capital requis.

D'après les spécifications QIS5. Le ratio combiné suit une loi log-normal. On note  $\mu_R$  et  $\sigma_R$  la volatilité et l'écart-type associés:  $R \sim LR(\mu_R; \sigma_R^2)$

On peut aussi écrire :  $P\left(\frac{\varepsilon}{V_n} + 1 < \frac{Var_{99,5\%}^\varepsilon}{V_n} + 1\right) = 0.995$

Or:  $\frac{\varepsilon}{V_n} + 1 = \frac{S_n - \pi_n}{\pi_n + p_n} + 1 = \frac{x_n + p_{n+1} - p_n - \pi_n}{p_n + \pi_n} + 1 = \frac{x_n + p_{n+1}}{\pi_n + p_n} = R$

D'où :  $P\left(R < \frac{Var_{99,5\%}^\varepsilon}{V_n} + 1\right) = 0.995$

On a alors :  $\frac{Var_{99,5\%}^\varepsilon}{V_n} + 1 = Var_{99,5\%}^R$

Or comme  $R \sim LN(\mu_R; \sigma_R^2)$  donc  $\ln(R) \sim N(\tilde{\mu}_R; \tilde{\sigma}_R^2)$

$P(R < Var_{99,5\%}^R) = 0.995 \Leftrightarrow P(\ln(R) < \ln(Var_{99,5\%}^R)) = 0.995$

$$\Leftrightarrow P\left(\frac{\ln(R) - \tilde{\mu}_R}{\tilde{\sigma}_R} < \frac{\ln(Var_{99,5\%}^R) - \tilde{\mu}_R}{\tilde{\sigma}_R}\right) = 0.995$$

$$\Leftrightarrow P\left(\frac{\ln(R) - \tilde{\mu}_R}{\tilde{\sigma}_R} < N_{0,995}\right) = 0,995$$

Liste des Annexes :

Où  $N_{0,995}$  le quantile 99.5% d'une loi normal standard.

En remplaçant on a donc :  $N_{0,995} = \frac{\ln(Var_{99.5\%}^R) - \widetilde{\mu}_R}{\widetilde{\sigma}_R}$

C'est-à-dire :  $Var_{99.5\%}^R = \exp(N_{0,995} * \widetilde{\sigma}_R + \widetilde{\mu}_R)$

Comme  $\frac{Var_{99.5\%}^E}{V_n} + 1 = Var_{99.5\%}^R$  , On obtient que le capital requis vaut :

$$Var_{99.5\%}^E = (\exp(N_{0,995} * \widetilde{\sigma}_R + \widetilde{\mu}_R) - 1) * V_n$$

Rappel :

Si  $y = e^x$  où  $X \sim N(\widetilde{\mu}; \widetilde{\sigma}^2)$  alors  $y \sim N(\mu; \sigma^2)$  avec  $\begin{cases} \widetilde{\mu} = \ln(\mu) - \frac{1}{2} * \ln(1 + \frac{\sigma^2}{\mu^2}) \\ \widetilde{\sigma}^2 = \ln(1 + \frac{\sigma^2}{\mu^2}) \end{cases}$

Ici on a donc :  $\begin{cases} \widetilde{\mu}_R = \ln(\mu_R) - \frac{1}{2} * \ln(1 + \frac{\sigma_R^2}{\mu_R^2}) \\ \widetilde{\sigma}_R^2 = \ln(1 + \frac{\sigma_R^2}{\mu_R^2}) \end{cases}$

St en remplaçant :

$$Var_{99.5\%}^E = \left( \exp\left( N_{0,995} * \sqrt{\ln\left(1 + \frac{\sigma_R^2}{\mu_R^2}\right)} \right) * \exp\left( \ln(\mu_R) - \frac{1}{2} * \ln\left(1 + \frac{\sigma_R^2}{\mu_R^2}\right) \right) - 1 \right) * V_n$$

$$Var_{99.5\%}^E = \left\{ \frac{\exp\left( N_{0,995} * \sqrt{\ln\left(1 + \frac{\sigma_R^2}{\mu_R^2}\right)} \right)}{\sqrt{1 + \frac{\sigma_R^2}{\mu_R^2}}} * \mu_R - 1 \right\} * V_n$$

On suppose qu'en moyenne le ratio combiné vaut 100% c'est-à-dire que  $\mu_R = 1$ .

On a finalement que le capital de risque requis vaut :

$$Var_{99.5\%}^E = \underbrace{\left\{ \frac{\exp\left( N_{0,995} * \sqrt{\ln(1 + \sigma_R^2)} \right)}{\sqrt{1 + \sigma_R^2}} - 1 \right\}}_{\rho(\sigma_{Non Slt Health})} * \underbrace{V_n}_{V_{\sigma_{Non Slt Health}}}$$

Cela permet de comprendre la formule donnant le capital requis :

$$Health_{pr}^{Non Slt} = \rho(\sigma_{Non Slt Health}) * V_{\sigma_{Non Slt Health}}$$

*Liste des Annexes :*