



Quelles alternatives à l'approche SdS dans un contexte d'ORSA ?

Version 1.0

SACEI 2012

Tristan PALERM
tpalerm@winter-associes.fr

Marc JUILLARD
mjuillard@winter-associes.fr



Préambule

L'article 45 de la directive Solvabilité 2 dispose que dans le cadre de son système de gestion des risques, chaque entreprise d'assurance procède à une évaluation interne de ses risques et de sa solvabilité.

↳ Analyse de l'évolution de la **solvabilité** sur la base d'une vision incluant le **plan stratégique** et retenant des hypothèses adaptées à **l'entreprise**.

La mise en place d'un processus d'ORSA nécessite de :

- Projeter **l'évolution des facteurs de risques** (taux, défaut, *spread*, action,...)
- **Définir une métrique** traduisant l'impact de ces risques (SCR simplifié, ANR,...)

On s'intéresse dans cette présentation à la projection du bilan prudentiel (le SCR pouvant être calculé par une formule fermée ou la formule standard).



SOMMAIRE

1. **Contexte**
2. Accélérateur SdS
3. Agrégation des trajectoires
4. Méthode LSM et « curve fitting »
5. « Replicating Portfolio »
6. Approche basée sur un taux de revalorisation analytique



1. Contexte

Que cherche-t-on à calculer ?

On se place dans un cadre de calcul de la ruine économique (**hors marge pour risque**). L'objectif de l'ORSA étant d'analyser la déformation du ratio de couverture dans le temps, cela conduit à **déterminer la distribution des SCR et des ANR futurs**.

$$\text{Partant de } SCR = FP_0 - VaR_{0,5\%}^P \left(FP_1 \times e^{-\int_0^1 r^A(u) du} \right) \approx FP_0 - P(0,1) \times VaR_{0,5\%}^P (FP_1)$$

On notera que l'ORSA :

- conduit à analyser la **déformation de la distribution des best estimate** ;
- conduit à des problématiques relativement proches que l'on soit en modèle interne ou en approche par formule standard.



1. Contexte

Quels postulats

Souvent les calculs sont effectués en retenant les hypothèses suivantes :

- Il existe un processus markovien Y_t décrivant les risques impactant l'évolution du bilan de la compagnie entre deux arrêts comptables :

$$V_1 = E_1^{P^A \otimes Q^F} \left(\sum_{j \geq 2} \delta_1(j) \times X_j \right) = E^{P^A \otimes Q^F} \left(\sum_{j \geq 2} \delta_1(j) \times X_j \mid Y_u, u \in [0, 1] \right)$$

- La connaissance en temps continu de Y_t n'est pas nécessaire :

$$V_1 = E^Q \left(\sum_{j \geq 2} \delta_1(j) \times X_j \mid Y_1 \right)$$

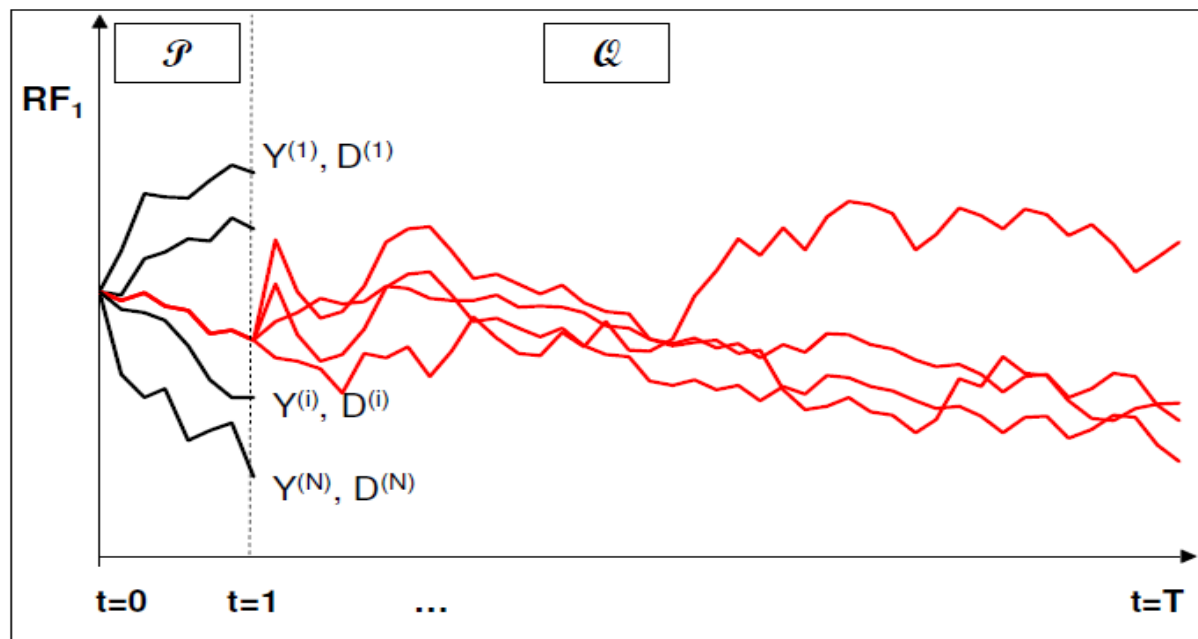
- Le best estimate dépend également d'un nombre fini de variables d'états, que l'on notera D , également markovien. D décrit l'état des polices.

$$V_1 = E^Q \left(\sum_{j \geq 2} \delta_1(j) \times X_j \mid (Y_1, D_1) \right)$$

1. Contexte

Approche SdS ?

En $t=1$, on simule des réalisations des variables d'état sur la première période puis on valorise le *best estimate* associé à chaque réalisation.



$$V_1^{(i)} = E^Q \left(\sum_{j \geq 2} \delta_1(j) \times X_j \mid (Y_1^{(i)}, D_1^{(i)}) \right)$$

Comme en 0, on estime ces termes par simulation, ce qui conduit à poser :

$$\tilde{V}_1^{(i)}(K_1^{(i)}) = \frac{1}{K_1^{(i)}} \sum_{k=1}^{K_1^{(i)}} \sum_{j \geq 2} \delta^{(i,k)}(j) \times X_j^{(i,k)}$$

1. Contexte

Approche SdS ?

La principale problématique liée à l'approche SdS se situe au niveau du volume de simulations nécessaires afin d'obtenir la convergence.

Si on considère :

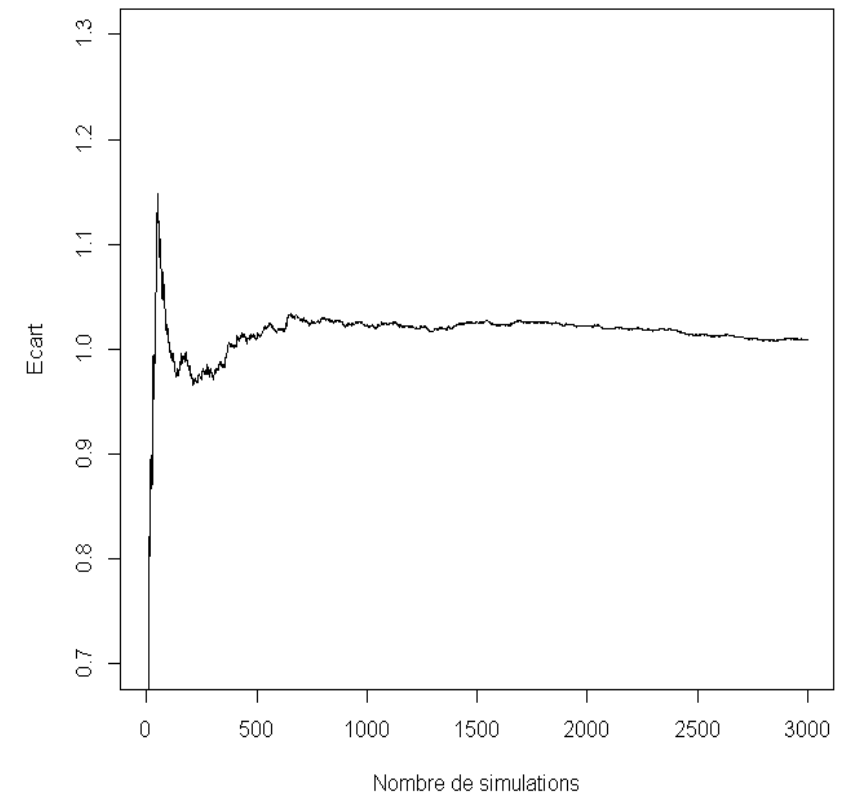
- un contrat UC dont le sous-jacent est modélisé par un processus log-normal ;
- un taux court modélisé par processus de Vasicek ;

La convergence du « *best estimate* » empirique vers sa valeur théorique est lente :

- après 1 000 tirages, écart d'environ 1,5 %
- après 100 000, écart d'environ 0,15%.

⚠ Il y a un effet de levier sur les fonds propres

Ecart de convergence en fonction du nombre de simulations





1. Contexte

Approche SdS ?

Dans le cas des simulations secondaires, trois méthodologies sont applicables :

- retenir un très grand nombre de simulations secondaires afin d'obtenir une convergence acceptable en tout point ;
- ajuster le nombre de simulations K_i :
 - en fonction de la variance conditionnelle ;
 - de façon à retrouver des prix de marché d'instruments financiers présentant des caractéristiques proches de celles du passif.

Il reste alors à déterminer le nombre de simulations primaires afin d'assurer la convergence du quantile empirique. Ce dernier choix est délicat dans le sens où **au-delà de la volatilité des facteurs de risques, c'est l'impact de cette volatilité sur la volatilité des fonds propres qui nous intéresse.**



1. Contexte

Approche SdS ?

On observe une prise de conscience du caractère peu efficace des approches SdS :

Calculation of economic capital for complex life insurance liabilities requires a nested stochastic approach, but the considerable run-times associated with many asset-liability models can mean that this technique is not always practical. As a result many insurers are seeking next generation modelling solutions to give them fast and accurate results in order to manage their businesses, whilst meeting the growing burden of regulatory compliance.

Barrie & Hibbert

http://www.barrhibb.com/products_and_services/detail/liability_proxy_generator/

Aussi il convient d'analyser des approches alternatives ou complémentaires.



1. Contexte

Quelles limites dans le cas des trajectoires à dire d'experts ?

A l'opposé des approches SdS les approches basées sur des trajectoires à dire d'experts peuvent être retenues.

Il convient tout de même de garder en tête les limites associées à cette approche :

- présuppose que la situation « à risque » est connue (quels facteurs de risques, quelle structure de dépendance,...) ;
- ne permet pas de savoir précisément si le niveau de prudence associé aux trajectoires est en accord avec le niveau retenu dans l'appétit pour le risque ;
- présence de potentiels biais épistémiques.



1. Contexte

Quelles alternatives ?

Trois types de méthodologies sont envisageables :

1. Diminuer le nombre de simulations nécessaires :

- Nteukam et Planchet [2012] ;
- Optimisation de l'approche SdS : Devineau et Loisel [2009].

2. Recourir à des formules fermées :

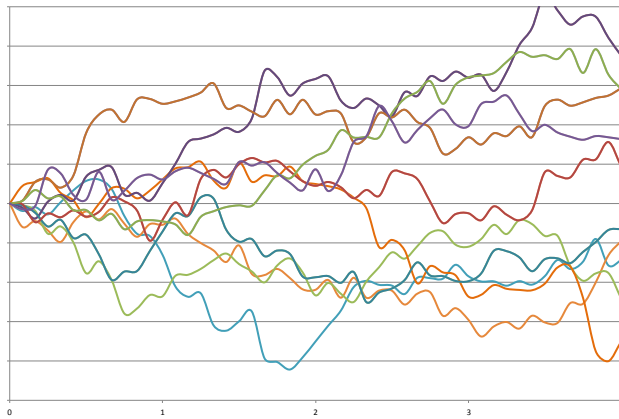
- l'algorithme LSM (*cf.* Bauer et *al.* [2010]) ;
- les approches par portefeuilles de réplication (*cf.* Revelen [2009]) ;
- Les approches basées sur un taux de revalorisation analytique (*cf.* Planchet [2012]) ;

3. Travailler sur des trajectoires à dire d'experts et à dire de modèle

1. Contexte

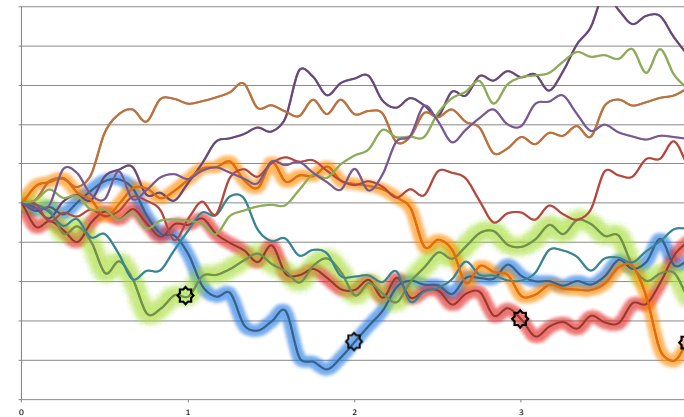
Principe des trajectoires à dire de modèle

1. Projection des facteurs de risques sous l'univers historique



2. Sélection des trajectoires défavorables

Correspondant au quantile empirique de l'ANR calculé sur la base de formules fermées simplifiées.



3. Confrontation des trajectoires issues du modèle avec celles à dire d'experts

Puis calcul du bilan S2 et du ratio de couverture pour les trajectoires retenues.



SOMMAIRE

1. Contexte
2. **Accélérateur SdS**
3. Agrégation des trajectoires
4. Méthode LSM et « curve fitting »
5. « Replicating Portfolio »
6. Approche basée sur un taux de revalorisation analytique



2. Accélérateur SdS

Principe de l'accélérateur SdS (Devineau-Loisel)

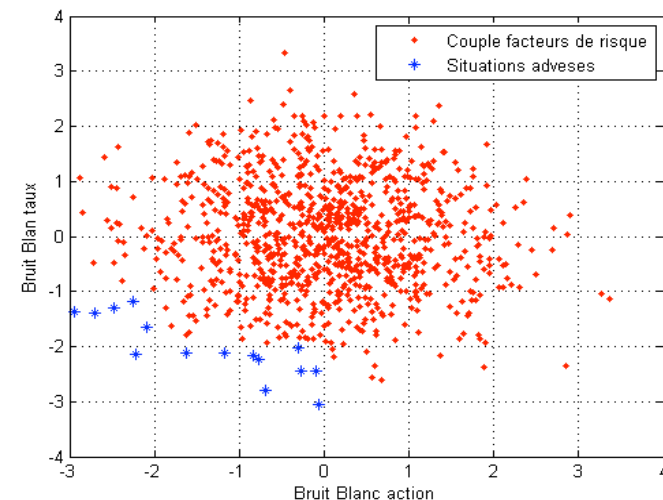
Le calcul du SCR repose sur les trajectoires situées au niveau des quantiles. Seules les simulations se situant dans la queue de distribution seront utiles pour la détermination du montant de fonds propres nécessaire.

Le principe repose alors sur la détermination de ces pires cas, à l'aide de facteurs de risques, afin de prioriser les simulations sur ces projections et de pouvoir réduire le temps de calcul.

2. Accélérateur SdS

Mise en œuvre de l'accélérateur SdS (Devineau-Loisel)

- ✓ Détermination des facteurs de risques prépondérants (actions, taux, mortalité...).
- ✓ Définition d'une norme permettant de quantifier le risque de chacune des simulations primaires.
- ✓ Calcul de la valeur des facteurs de risque pour chacune des simulations selon la norme choisie.
- ✓ Représentation des simulations à l'aide d'un nuage de points.
- ✓ Isolation par itération des situations à risque en périphérie du nuage.
- ✓ Calculs réalisés sur ces trajectoires.





2. Accélérateur SdS

Avantages et limites de l'accélérateur SdS (Devineau-Loisel)

Avantages

- ✓ L'avantage principal repose sur la réduction de simulations primaires réalisées et le gain de temps de calcul qui en résulte, car seules les trajectoires à risque seront simulées.
- ✓ De 10 à 16 fois plus rapides que la méthode SdS classique.
- ✓ Met en avant les situations à risque pour la compagnie.

Limites

- ✓ Lors de l'ajout de facteurs de risque et ce, sur toute la durée du plan moyen de traitement, le nombre de points à tester augmente fortement, ce qui limite les gains de temps de traitement.



SOMMAIRE

1. Contexte
2. Accélérateur SdS
3. **Agrégation des trajectoires**
4. Méthode LSM et « curve fitting »
5. « Replicating Portfolio »
6. Approche basée sur un taux de revalorisation analytique

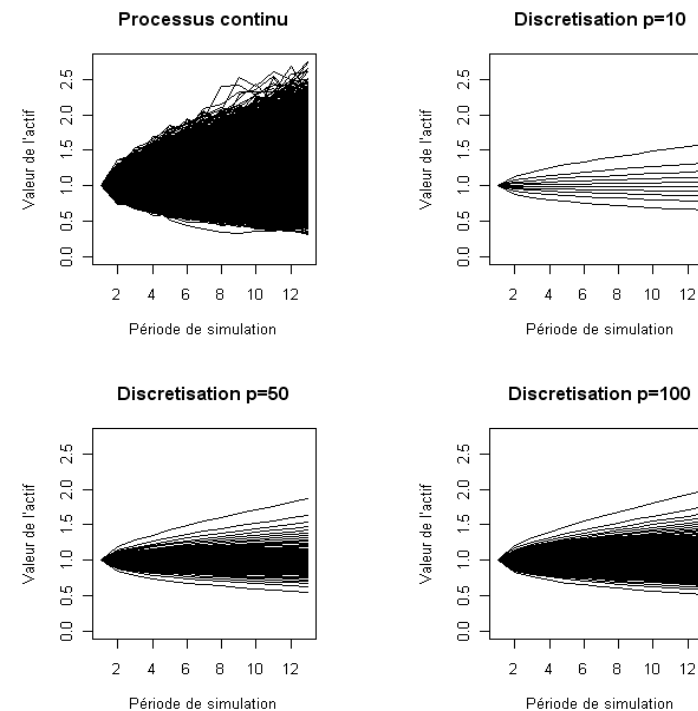
3. Agrégation des trajectoires

Principe de l'agrégation des trajectoires

Cette technique repose sur l'agrégation des trajectoires de l'actif qui consiste à regrouper le faisceau des trajectoires du processus initial en fonction des quantiles. En résumant les évolutions possibles de l'actif en un nombre limité de trajectoires, cela conduit à proposer un nombre limité de scénarios de l'évolution de l'actif, chacun de ces scénarios étant pondéré par une probabilité de survenance.

Exemple

Trajectoires des processus discrétisés vs trajectoires du processus continu pour $p=10,50,100$, où p correspond au nombre de trajectoire.





3. Agrégation des trajectoires

Mise en œuvre de l'agrégation des trajectoires

- ✓ Détermination des trajectoires similaires. Deux méthodes:
 - Fixer les trajectoires et déterminer les probabilités d'occurrences associées;
 - Fixer des probabilités d'occurrences et déterminer les trajectoires moyennes associées.

- ✓ La deuxième méthode est retenue ici. Une trajectoire est alors sélectionnée pour chaque sous-ensemble et est pondérée par sa probabilité d'occurrence.

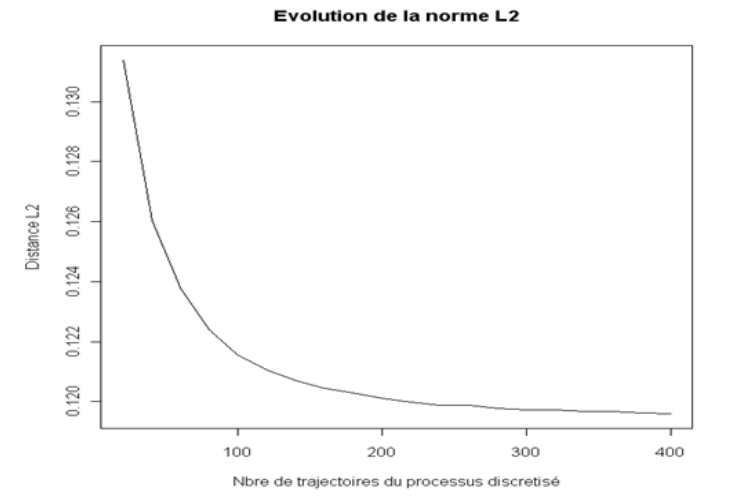
- ✓ Comparaison entre les processus discrétisé et continu pour savoir si le nombre de trajectoires retenues est suffisant pour avoir une bonne approximation.

3. Agrégation des trajectoires

Avantages et limites de l'agrégation des trajectoires

Avantages

- ✓ A partir de la norme L2 retenue, on constate qu'à partir de 100 trajectoires sélectionnées, on obtient un bon compromis entre précision et coûts en termes de temps de calcul.



Limites

- ✓ Nécessite de connaître la distribution initiale des trajectoires à sélectionner afin de pouvoir estimer la probabilité d'occurrence des trajectoires similaires.
- ✓ En discrétisant le processus initial, les valeurs extrêmes de celui-ci sont sous-estimées par la discrétisation. Si dans une logique « best estimate », on obtient une bonne estimation, son utilisation dans le cadre des estimations des valeurs extrêmes peut conduire à des résultats biaisés.



SOMMAIRE

1. Contexte
2. Accélérateur SdS
3. Agrégation des trajectoires
4. **Méthode LSM et « curve fitting »**
5. « Replicating Portfolio »
6. Approche basée sur un taux de revalorisation analytique



4. Méthodes LSM et curve fitting

Principes de ces méthodes

Le BEL est soumis à un nombre fini de facteurs de risques (risques majeurs limités). ➡ On peut écrire le BEL en fonction de ces risques :

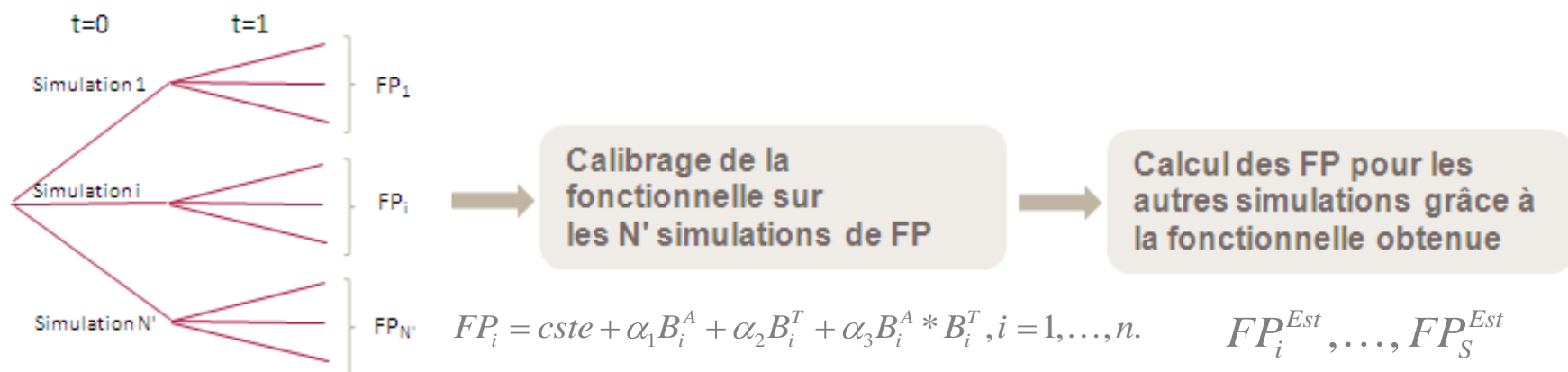
$$BEL_t = f(Risque_t^1, \dots, Risque_t^n)$$

Les méthodes LSM (Least Square Monte Carlo) et « curve fitting » reposent sur ce principe : le but est de calibrer une forme paramétrique permettant de représenter la distribution des Fonds Propres économiques à un horizon de 1 an.

4. Méthodes LSM et curve fitting

Mise en œuvre de la méthode curve fitting

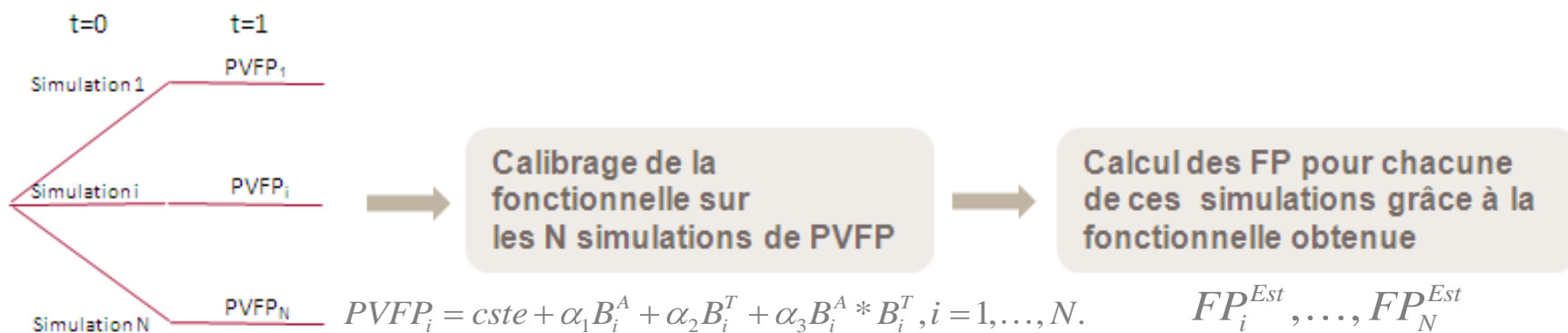
- ✓ Sélection des N' , $N' < N$ pires simulations primaires.
- ✓ Lancement des simulations secondaires pour chacune des N' simulations primaires.
- ✓ Calibrage de la forme paramétrique permettant d'exprimer les fonds propres économiques grâce aux valeurs obtenues aux étapes précédentes.
- ✓ On applique la fonctionnelle aux autres simulations pour obtenir la distribution entière des fonds propres.



4. Méthodes LSM et curve fitting

Mise en œuvre de la méthode LSM

- ✓ Toutes les simulations primaires sont effectuées.
- ✓ Seulement 1 simulation secondaire est effectuée pour chacune des N simulations primaires.
- ✓ Calibrage de la forme paramétrique pour les PVFP (valeur actualisée des profits futurs) obtenues.
- ✓ Calcul des fonds propres grâce à la relation $FP_1 = ANAV_1 + PVFP_1 + X_1$, où l'ANAV est la valeur des actifs nets réévalués et X_1 les profits non distribués.





4. Méthodes LSM et curve fitting

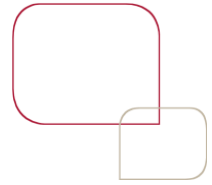
Avantages et limites de ces méthodes

Avantages

- ✓ Ces méthodes permettent de réduire considérablement les simulations.
- ✓ 50 fois plus rapides que la méthode SdS classique.
- ✓ Une fois calibrée, permet de tester plusieurs scénarios.

Limites

- ✓ Le choix des régresseurs nécessite un avis d'expert.
- ✓ Méthodologie lourde à mettre en place pour ajuster la fonctionnelle.
- ✓ Stabilité dans le temps, en cas d'évolution de la valeur des passifs et des facteurs de risque.



SOMMAIRE

1. Contexte
2. Accélérateur SdS
3. Agrégation des trajectoires
4. Méthode LSM et « curve fitting »
5. « **Replicating Portfolio** »
6. Approche basée sur un taux de revalorisation analytique



5. « Replicating portfolio »

Principe de la méthode « Replicating portfolio »

- ✓ Répliquer le passif à l'aide d'un portefeuille d'actifs financiers que l'on peut valoriser à l'aide de formules fermées en $t=0$ et en $t=1$.
- ✓ Utilisation de la réplication pour calculer une approximation du « best estimate » et non pas dans un objectif de couverture.
- ✓ A l'issue des simulations « monde-réel » on détermine la valeur du portefeuille de réplication et la valeur des fonds propres.
- ✓ Détermination d'un portefeuille qui minimise l'écart quadratique entre la valeur actualisée du passif et celle du portefeuille de réplication.
- ✓ Deux approches : méthode classique et méthode alternative pour le calibrage du portefeuille.

5. « Replicating portfolio »

Mise en œuvre de la méthode « Replicating portfolio »

Approche standard

- ✓ Construction de scénarios économiques.
- ✓ Choix de l'univers d'actifs A_1, A_2, \dots, A_k , grâce à un avis d'experts.
- ✓ Calcul des poids w_i du portefeuille par minimisation des écarts quadratiques entre la valeur actuelle du passif et les valeurs actuelles des actifs utilisés pour la réplication:

$$f(w_i) = \sum_{i=1}^n (PV_{Passif_i} - w_i PVA_i)^2$$

Approche alternative

- ✓ Validation de la réplication.
- ✓ Utilisation de la réplication grâce à l'application des formules fermées.
- ✓ Calcul du capital à l'aide d'une forme paramétrique.
- ✓ On réplique chaque terme de la forme paramétrique à l'aide d'un sous-portefeuille de réplication.



5. « Replicating portfolio »

Avantages et limites de la méthode « Replicating portfolio »

Avantages

- ✓ Gain sur le temps de calcul par rapport aux « simulations dans les simulations ».
- ✓ Grâce aux très bons résultats de l'utilisation des formes paramétriques, on obtient par transitivité de très bons résultats pour l'approche alternative.

Limites

- ✓ Nécessite un jugement d'expert pour choisir les actifs utilisés dans le portefeuille de réplication.
- ✓ Mal adapté au contexte français du fait de la complexité des clauses de participation aux bénéfices.
- ✓ Une réplication satisfaisante de la valeur économique des passifs peut conduire à des estimations peu robustes du capital économique.



SOMMAIRE

1. Contexte
2. Accélérateur SdS
3. Agrégation des trajectoires
4. Méthode LSM et « curve fitting »
5. « Replicating Portfolio »
6. **Approche basée sur un taux de revalorisation analytique**

6. Taux de revalorisation analytique

Principe du modèle

Les méthodes *Curve Fitting*, *LSM* et portefeuille de réplication présentent un inconvénient : le choix des régresseurs.

Bauer et al. [2010]



#	Regression Function	Mean (SCR)
1	$\hat{\alpha}_0^{(N)} + \hat{\alpha}_1^{(N)} \cdot A_1$	1007.3
2	$\hat{\alpha}_0^{(N)} + \hat{\alpha}_1^{(N)} \cdot A_1 + \hat{\alpha}_2^{(N)} \cdot A_1^2$	1165.5
3	$\hat{\alpha}_0^{(N)} + \hat{\alpha}_1^{(N)} \cdot A_1 + \hat{\alpha}_2^{(N)} \cdot A_1^2 + \hat{\alpha}_3^{(N)} \cdot r_1$	1272.6
4	$\hat{\alpha}_0^{(N)} + \hat{\alpha}_1^{(N)} \cdot A_1 + \hat{\alpha}_2^{(N)} \cdot A_1^2 + \hat{\alpha}_3^{(N)} \cdot r_1 + \hat{\alpha}_4^{(N)} \cdot r_1^2$	1276.5
5	$\hat{\alpha}_0^{(N)} + \hat{\alpha}_1^{(N)} \cdot A_1 + \hat{\alpha}_2^{(N)} \cdot A_1^2 + \hat{\alpha}_3^{(N)} \cdot r_1 + \hat{\alpha}_4^{(N)} \cdot r_1^2 + \hat{\alpha}_5^{(N)} \cdot L_1$	1233.2
6	$\hat{\alpha}_0^{(N)} + \hat{\alpha}_1^{(N)} \cdot A_1 + \hat{\alpha}_2^{(N)} \cdot A_1^2 + \hat{\alpha}_3^{(N)} \cdot r_1 + \hat{\alpha}_4^{(N)} \cdot r_1^2 + \hat{\alpha}_5^{(N)} \cdot L_1 + \hat{\alpha}_6^{(N)} \cdot x_1$	1233.9
7	$\hat{\alpha}_0^{(N)} + \hat{\alpha}_1^{(N)} \cdot A_1 + \hat{\alpha}_2^{(N)} \cdot A_1^2 + \hat{\alpha}_3^{(N)} \cdot r_1 + \hat{\alpha}_4^{(N)} \cdot r_1^2 + \hat{\alpha}_5^{(N)} \cdot L_1 + \hat{\alpha}_6^{(N)} \cdot x_1 + \hat{\alpha}_7^{(N)} \cdot A_1 \cdot e^{r_1}$	1241.3
8	$\hat{\alpha}_0^{(N)} + \hat{\alpha}_1^{(N)} \cdot A_1 + \hat{\alpha}_2^{(N)} \cdot A_1^2 + \hat{\alpha}_3^{(N)} \cdot r_1 + \hat{\alpha}_4^{(N)} \cdot r_1^2 + \hat{\alpha}_5^{(N)} \cdot L_1 + \hat{\alpha}_6^{(N)} \cdot x_1 + \hat{\alpha}_7^{(N)} \cdot A_1 \cdot e^{r_1} + \hat{\alpha}_8^{(N)} \cdot L_1 \cdot e^{r_1}$	1244.5
9	$\hat{\alpha}_0^{(N)} + \hat{\alpha}_1^{(N)} \cdot A_1 + \hat{\alpha}_2^{(N)} \cdot A_1^2 + \hat{\alpha}_3^{(N)} \cdot r_1 + \hat{\alpha}_4^{(N)} \cdot r_1^2 + \hat{\alpha}_5^{(N)} \cdot L_1 + \hat{\alpha}_6^{(N)} \cdot x_1 + \hat{\alpha}_7^{(N)} \cdot A_1 \cdot e^{r_1} + \hat{\alpha}_8^{(N)} \cdot L_1 \cdot e^{r_1} + \hat{\alpha}_9^{(N)} \cdot e^{A_1/10000}$	1245.9

Table 4: Estimated SCR for different choices of the regression function, $K_0 = 1, 500, 000$, $N = 320, 000$, LSM Approach

On propose par la suite une méthode alternative contournant cette problématique en se focalisant sur une vision analytique du modèle ALM.

6. Taux de revalorisation analytique

Principe du modèle

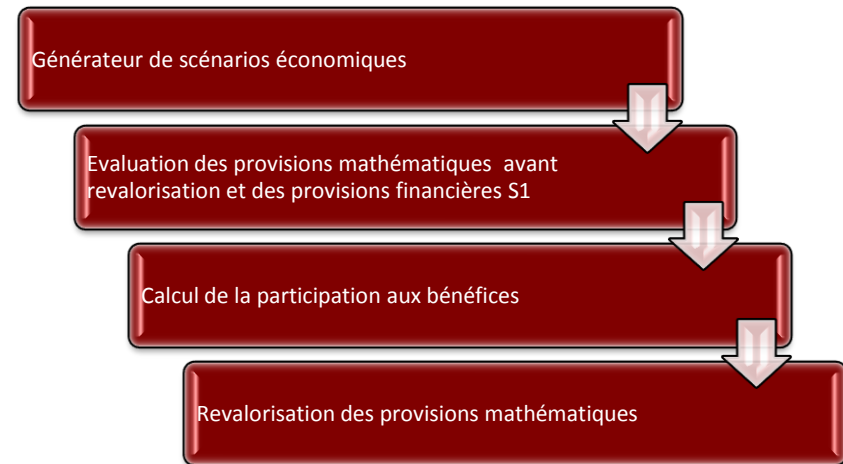
Dans le cas d'un contrat d'épargne, le point le plus chronophage se situe au niveau du **module** ALM.

Or dans l'optique de minimiser le volume des rachats conjoncturels, la **revalorisation** appliquée est souvent **calée sur le taux court nominal**.

Partant de ce constat, Planchet et *al.* [2012] proposent des **approximations analytiques** du *best estimate* en considérant que l'écart entre le taux de revalorisation continu et le taux court suit un processus **d'Ornstein-Uhlenbeck** :

$$d\omega(t) = k \times (\omega_\infty - \omega(t))dt + \sigma_\omega dB(t)$$

$$BEL(t, T) = PM \times \sum_{u=t+1}^T \frac{l_{u-1}}{l_t} \times (q_{u-1} \times \theta_1(\omega(t), u-t) + \theta_2(\omega(t), u-t)) + \frac{l_T}{l_t} \times \theta_1(\omega(t), T-t)$$





6. Taux de revalorisation analytique

Mise en œuvre

1

- Ajustement d'un jeu de paramètres à chaque pas de projection historique
- Validation de la qualité du modèle (minimisation de l'écart quadratique).

2

- Analyse des facteurs de risque Y_i expliquant l'évolution des jeux de paramètres. On cherchera à exprimer ces facteurs sur la base de grandeurs issues des comptes statutaires.

3

- Projection de N valeurs de marché de l'actif, de la valeur de rachat et des facteurs de risque.
- Estimation de N de jeux de paramètres du modèle

4

- Transformation des N valeurs de rachat en *best estimate*;
- Calculs des métriques d'appétit pour le risque (quantile empirique du ratio de couverture,)



6. Taux de revalorisation analytique

Description du modèle

En synthèse ce modèle analytique présente les caractéristiques suivantes :

- un modèle basé sur le principe de **faibles opportunités d'arbitrage** ;
- un *best estimate* principalement soumis à des **risques financiers** ;
- un modèle présentant un **paramétrage simple** (vitesse de retour à la moyenne, tendance à long termes et volatilité du bruit blanc) ;
- permet d'obtenir une **valorisation du *best estimate* instantanée** pouvant donc être retenue dans une logique d'ORSA.

Si ce type de modèle permet de contourner le principal inconvénient des approches LSM (i.e. le choix des régresseurs) il est de ce fait moins souple et pourrait s'avérer inefficace en cas de processus de réduction des risques trop complexes.



Conclusion

	Accélérateur SdS	LSM et curve fitting	"Replicating Portfolio"	Taux de revalorisation analytique
Avantages	<p>Réduction du nombre de simulations ;</p> <p>Gain de temps (10 à 16 fois plus rapide) ;</p> <p>Met en avant les situations à risque pour la compagnie.</p>	<p>Réduction du nombre de simulations ;</p> <p>Gain de temps (50 fois plus rapide) ;</p> <p>Une fois calibré, modèle facile à utiliser.</p>	<p>Gain sur le temps de calcul ;</p> <p>Résultats pertinents pour la méthode alternative.</p>	<p>Réduit le risque opérationnel ;</p> <p>Facilement utilisable pour confirmer les modèles à dire d'experts.</p>
Inconvénients	<p>Gain de temps de traitement limité lors de l'ajout de facteurs de risques.</p>	<p>Choix des régresseurs ;</p> <p>Coûts d'implémentation élevés ;</p> <p>Problème de stabilité dans le temps.</p>	<p>Jugement d'expert pour le choix des actifs ;</p> <p>Utilisation d'actifs fictifs.</p>	<p>Modèle peu souple : N'est pas applicable dans toutes les situations ;</p>



Bibliographie

- ❑ BAUER D., BERGAMANN D., REUB A., [2010] « Solvency II and Nested Simulations – a Least-Squares Monte Carlo Approach. » Présentation ARIA Annual meeting.
- ❑ DEVINEAU L., LOISEL S. [2009] "Construction d'un algorithme d'accélération de la méthode des «simulations dans les simulations» pour le calcul du capital économique Solvabilité II", Bulletin Français d'Actuariat, vol.9, n°17;
- ❑ DEVINEAU L., CHAUVIGNY M. [2010] « Replicating portfolios: techniques de calibrage pour le calcul du capital économique »,
- ❑ PLANCHET F., NTEUKAM O., [2012] « Stochastic Evaluation of Life Insurance Contracts : Model Point on Asset Trajectories & Measurement of the Error Related to Aggregation », *Insurance: Mathematics and Economics*, doi: 10.1016/j.insmatheco.2012.09.001.
- ❑ PLANCHET F., THERONDP.E., JUILLARD M. [2011] Modèles financiers en assurance. Analyses de risque dynamiques, Paris: Economica;
- ❑ PLANCHET F., JUILLARD M., BONNIN F. [2012] « Calculs de best estimate de contrats d'épargne par des formules fermées - Application à l'ORSA », Les cahiers de recherche de l'ISFA, 2012.5.
- ❑ REVELEN J. [2009] « Replicating Portfolio et capital économique en assurance vie », Mémoire d'ingénieur, ISFA/ Ecole Centrale de Lyon.