

# Approche par générateurs de scénarios économiques à l'ère de Solvency II

Adlane HAFFAR  
Faculté de Mathématiques (U.S.T.H.B)  
Boite postale n°32 Bab Ezzouar, 16111  
Alger Algérie  
adlene.haffar@usthb.edu.dz

Abdelouahab BOUBAA  
Faculté des Sciences Economiques,  
Commerciales et Sciences de Gestion  
(C.U.T)  
Ouade Merzouk, 42000 Tipaza Algérie  
boubaaa03@gmail.com

El-Mehdi BARÇA  
Faculté des Sciences Economiques,  
Commerciales et Sciences de  
Gestion (C.U.T)  
Ouade Merzouk, 42000 Tipaza  
Algérie  
madido@live.fr

## Résumé

Le présent article propose de développer un générateur de scénarios économiques de troisième génération, par la modélisation stochastique de divers actifs financiers et variables macroéconomiques, en prenant notamment en compte la dépendance préexistante entre ces dernières. À partir de valeurs historiques d'un certain nombre de variables économique-financières propres à l'économie Algérienne, nous allons dans une première étape, modéliser chaque série indépendamment des autres, puis nous allons élaborer à partir des paramètres estimés, une matrice de dépendances, afin d'effectuer des projections sur un horizon de long terme via un modèle à correction d'erreurs, puis, dans une seconde étape, nous allons à partir d'un modèle vectoriel autorégressif, mesurer les réponses de ces variables aux différents chocs pouvant survenir ; l'objectif étant de construire un tableau de bord décisionnel dynamique, qui pourrait éclairer les institutions financières dans le choix d'allocation de leurs actifs financiers, ou bien dans leur évaluation des risques, ainsi que de proposer aux investisseurs désirant de diversifier leurs portefeuilles, des outils performants d'aide à la décision.

**Mots clés :** *Modèle à correction d'erreurs, processus stochastique, projection, simulation, modèle VAR, solvabilité II.*

## Abstract

This article proposes to develop a third-generation economic scenario generator, by stochastic modeling of various financial assets and macroeconomic variables, taking into account in particular the pre-existing dependence. From historical values of a certain number of economic and financial variables specific to the Algerian economy, we go to a first step, model each series independently of the others, then we will develop from the estimated parameters, a dependency matrix, in order to make long-term projections via an error correction model, then, in a second step, we are going from an autoregressive vector model, measure the responses of these variables to the various shocks that may occur; the objective being to build a dynamic decision-making dashboard, which could enlighten financial institutions in the choice of allocation of their financial assets or in their risk assessment, as well as offering investors wishing to diversify their portfolios, efficient decision-support tools.

**Keywords:** *Error correction model, stochastic process, projection, simulation, VAR model, solvency II.*

## I. INTRODUCTION

Un générateur de scénarios économiques a de multiples utilisations en assurance, en particulier dans le cadre de la gestion actif/passif. En effet, en raison des évolutions prudentielles, et des méthodes de gestion ainsi que des faiblesses relevées dans l'évaluation des risques lors de la dernière crise financière, les assureurs doivent développer leur réflexion sur la modélisation des actifs de leur bilan (Haffar A, Teulon F, 2017).

Le développement du secteur financier est essentiel à une économie car il contribue à une manière efficace d'allocation des ressources entre emprunteurs et acheteurs (Levin, 2003). Eventuellement, il est fortement suggéré dans la vaste littérature empirique que le développement financier peut expliquer les différences ou l'importance de la croissance économique entre les pays (Fase et Abma, 2003, Levin, 2003, Levine, 2005, Ang, 2008, Hsueh et al., 2013). Étant donné qu'un marché financier bien développé est une exigence fondamentale à la croissance économique, (Law et Singh., 2014) et (Naceur et al., 2014), il est à nouveau suggéré dans leurs conclusions qu'un marché financier qui fonctionne bien, aide à faire correspondre les emprunteurs et les prêteurs, en canalisant les ressources vers les plus grandes voies d'investissement. Enfin, le dernier épisode de la récente crise des surprimes aux États-Unis et des récessions économiques mondiales a rationnellement motivé la compréhension empirique de l'impact du développement financier sur la croissance économique dans les économies développées (Sun et al., 2011, Naceur et al., 2014, Law et al., 2015).

Plusieurs recherches privilégiant le rôle du développement financier dans le moteur de la croissance économique (Schumpeter, 1911, Gurley et Shaw, 1967, Goldsmith, 1969, Mackinnon, 1973) ; il est suggéré dans leur analyse que la croissance économique conduit à un développement plus poussé du système financier et fournit également des incitations pour approfondir et élargir le système solide d'intermédiation financière (Rajan et Zingales, 1998).

On assiste donc depuis toujours à une évolution parallèle des deux plans, réglementaire et économique, cependant force est de constater que ce sont les exigences réglementaires et les sanctions potentielles en cas de non-respect des règles qui ont

incité et incitent encore les établissements à améliorer et à renforcer leurs dispositifs internes de risk management (Chardoillet, Salvat, Tournyol du Clos, 2010).

Au cours des dernières décennies, la littérature encore florissante sur les modèles basés sur des agents (certains des jalons incluent : Lux, 1995, Lux, 1998, Lux et Marchesi, 2000, Arthur et al., 1997, Levy et al., 1994, Föllmer et al., 2005), s'est avérée inestimable pour étudier et reproduire les propriétés statistiques des marchés financiers qui sont difficilement conciliables avec le paradigme de l'agent représentatif.

Les enjeux financiers liés à la gestion du capital ainsi que les nouvelles exigences des autorités de régulation, notamment à travers la mise en place de Solvabilité II, multiplient les contraintes sur le Risk Management dans le secteur de l'assurance et de la finance. Les risques auxquels sont exposées les grandes entreprises assurantielles sont multiples et de natures très diverses (Dreyfuss .M.L, 2013).

Cependant, la grande majorité des modèles proposés ne se concentrent généralement que sur un sous-ensemble de l'ensemble des faits stylisés reconnus, et en particulier sur les propriétés qui sont invariantes dans le temps. Celles-ci incluent généralement des faits liés aux taux de rendement, tels que la leptokurtose, l'absence d'auto-corrélation linéaire et le regroupement de la volatilité (Cioffi-Revilla, 2002). Une exception notable est le travail de (Kluger et McBride 2011), qui proposent un modèle qui reproduit la saisonnalité intrajournalière de l'activité du marché.

Parallèlement, les compagnies d'assurances sont culturellement peu habituées à raisonner en termes de risques opérationnels internes, bien que leur métier consiste à financer les risques purs de leurs clients (Kerebel, 2009).

Dans ce registre, un générateur de scénarios économiques peut avoir plusieurs utilisations, à savoir la prévision, la valorisation de produits financiers ou encore l'analyse des risques. Dans le cas de projections à court terme, il permet l'évaluation des prix d'équilibre de produits financiers. Lorsqu'il s'agit de projections à un horizon plus long terme, le générateur de scénarios économiques s'apparente à un outil d'aide à la décision dans le cadre de la gestion des risques. Avec la mise en place de Solvabilité II, les assureurs se tournent davantage vers les générateurs de scénarios économiques afin de mesurer les risques inhérents à leurs activités. De plus, un générateur de scénarios économiques permet de tenir compte d'horizon long termes de certains placements des assureurs (Planchet, Théron, Kamega, 2009).

L'allocation stratégique d'actifs ne consiste plus seulement en la valorisation des engagements réglementés. De nos jours, cette dernière doit tenir compte d'objectifs de rentabilités sous contraintes des risques qu'elle engendre. C'est dans ce cadre que peuvent s'inscrire les générateurs stochastiques de scénarios économiques (Giroux, 2013).

À la différence de l'activité bancaire, le risque en assurance n'est pas à court terme mais plutôt à un horizon de quelques années ; ceci justifie encore un peu plus le recours aux générateurs de scénarios économiques (Planchet, Théron, Jacquemin, 2005).

De ce qui précède, on constate que la principale problématique de la mise en place d'un générateur de scénarios économiques est le choix des éléments composant le modèle : l'économie est représentée par un certain nombre de variables fondamentales. L'objectif d'un générateur de scénarios économiques est alors de modéliser ces différentes variables, tout en tenant compte de leur dépendance, afin de décrire les états du monde plus ou moins probables sur lesquels l'économie pourra aboutir au terme d'un horizon de temps donné. Dans le cas de compagnies d'assurance et de fonds de placement, il s'agit notamment des variables affectants différents postes du bilan : taux d'intérêt, performance des actions ou encore inflation.

## II. DATA

Pour les besoins de notre étude empirique, nous avons utilisé des séries macroéconomiques, des séries financières et des séries immobilières, dont les observations sont annuelles, et dont l'évolution débute à partir de l'an 2007 jusqu'à l'an 2020 (15 ans). Les détails sur ces séries temporelles sont représentés dans le tableau suivant :

TABLE 1  
 DONNEES UTILISEES POUR LA PROJECTION DES VARIABLES  
 ECONOMIQUES ET FINANCIERES.

Séries brutes	Séries traitées	Source
Indice des prix à la consommation	Taux d'inflation	Bases de données de la Banque Mondiale
Indice d'actualisation des prix des matériaux de construction	Rendement de l'immobilier	Centre National d'Assistance Technique
Valeur d'une action	Rendement de l'action Excès du rendement de l'action	Société de Gestion de la Bourse des Valeurs Mobilière
Taux d'intérêt du marché monétaire	Taux d'intérêt à court terme	Base de données du Fond Monétaire International
Taux d'intérêt des OAT 10 ans (Obligation Assimilables du Trésor à échéance de 10 ans)	Taux d'intérêt à long terme	Banque d'Algérie

À titre d'illustration, le graphique ci-après présente les données retenues pour le calibrage.

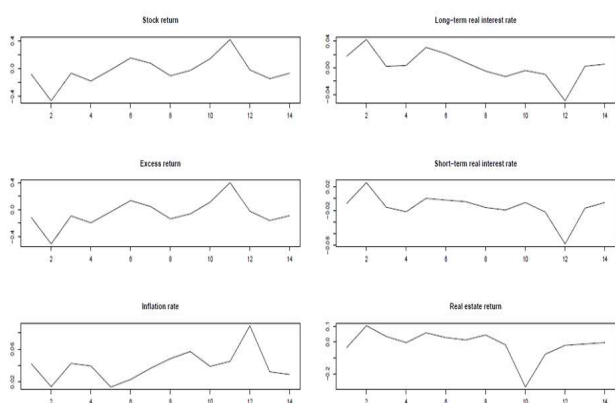


Fig. 1 Illustration des données historiques.

Nous constatons que le rendement de l’action et l’excès du rendement de l’action sont les séries les plus volatiles, il vient en second le rendement de l’immobilier, puis les taux d’intérêt réels court et long terme.

### III. MÉTHODOLOGIE

Notre approche méthodologique s’articule autour des étapes suivantes :

- Choix des variables économique-financières objets d’étude ; nous avons opté pour un ensemble de séries chronologiques ayant un impact direct sur le portefeuille des investisseurs individuels et institutionnels, à savoir le taux d’inflation, le rendement de l’immobilier, les taux d’intérêt à court et long termes, ainsi que le rendement et l’excès de rendement des actions.
- Choix de l’horizon de projection ; nous avons opté pour une période de projection de 15 ans, qui débute en 2020 et se termine en 2035, ceci est justifié par la faible profondeur des observations historique, ainsi que par les incertitudes qui caractérise la situation économique dans son ensemble.
- Modélisation des séries chronologiques par un modèle autorégressif d’ordre  $p$  ; ceci nous permettra de dégager les paramètres des modèles qui seront usités dans la partie dédiée à la projection, après avoir effectué les tests d’adéquation sur chaque modèle.
- Estimation de la matrice de corrélation de l’historique des erreurs, puis génération de la matrice de corrélation projetée des erreurs, par une factorisation de *Cholesky* puis par simulation de Monte Carlo.
- Réalisation des projections sur un horizon de 15 ans *via* un modèle à correction d’erreurs, en prenant en considération les dépendances futures entre nos variables économique-démographiques ; nous allons projeter pour chaque série chronologique une valeur moyenne ainsi qu’un intervalle de confiance au seuil  $\alpha$  de 10 %.
- Mesure des réponses aux chocs des variables économique-financières *via* un modèle vectoriel

autorégressif, en prenant en compte notamment la même période de projection.

### IV. ÉTUDE EMPIRIQUE

Cette partie est principalement consacrée à la mise en œuvre opérationnelle du modèle d’Ahlgrim sur les générateurs de scénarios économiques. Nous allons ainsi présenter les données retenues pour l’estimation des paramètres et les projections effectuées à partir de ces ajustements.

#### A. Les résultats du calibrage du modèle d’Ahlgrim

Nous allons présenter les résultats et les tests de validation du calibrage du modèle *d’Ahlgrim* effectué avec nos données. L’ensemble des codes R associés à ces estimations sont en annexes.

#### Modèle sur l’inflation

La mesure de l’inflation à la date  $t$  est :

$$q_t = \ln \frac{IPC_t}{IPC_{t-1}}$$

Où  $IPC_t$  représente l’indice des prix à la consommation à la date  $t$ .

Le tableau suivant recense les différents paramètres nécessaires à l’alimentation de l’algorithme du modèle d’inflation.

TABLE 2  
 ESTIMATION DES PARAMETRES DU MODELE SUR L’INFLATION.

Paramètre	Intitulé	Valeur
$\kappa_q$	Vitesse de retour à la moyenne	2,30355
$\mu_q$	Taux d’inflation moyen	0,03918815
$\sigma_q$	Ecart type de l’erreur	0,04396906

Le tableau suivant reprend les principaux résultats sur les tests d’adéquation réalisés.

TABLE 3  
 TESTS D’ADEQUATION DU MODELE SUR L’INFLATION.

Test	Résultat	Interprétation
$R^2_{ajusté}$	0,009751	Le pouvoir explicatif du modèle est de 0,9%
Fisher	P = 0,7482	Le modèle global n’est pas significatif
Student (constante)	P = 0,024	La constante est significative
Student (variable)	P = 0,748	Le coefficient de la variable n’est pas significatif

Moyennerésidus	1,50E-20	La moyenne des résidus est considérée nulle
Breusch-Godfrey	P = 0,271	Présenced'autocorrélationd'ordrep = 1
ARCH(1)	P = 0,5554	Présenced'hétéroscédasticitéd'ordreq = 1
Jarque-Bera	P = 0,2147	Hypothèse de normalité des résidus non vérifiée

Modèle sur l'immobilier

La mesure du rendement de l'immobilier à la date t est égale à

$$(re)_t = \ln \frac{IAP_t}{IAP_{t-1}}$$

Où IAP<sub>t</sub> représente l'indice d'actualisation des prix des matériaux de construction à la date t.

Le tableau suivant recense les différents paramètres nécessaires à l'alimentation de l'algorithme du modèle sur l'immobilier.

TABLE 4  
ESTIMATION DES PARAMETRES DU MODELE SUR L'IMMOBILIER.

Paramètre	Intitulé	Valeur
$\kappa_q$	Vitesse de retour à la moyenne	1,305808
$\mu_q$	Taux de rendement réel moyen	-0,008780407
$\sigma_q$	Ecart type de l'erreur	0,157272

Le tableau suivant reprend les principaux résultats sur les tests d'adéquation réalisés

TABLE 5  
TESTS D'ADEQUATION DU MODELE SUR L'IMMOBILIER.

Test	Résultat	Interprétation
R <sup>2</sup> ajusté	0,07378	Le pouvoir explicatif du modèle est de 7,378%
Fisher	P = 0,3693	Le modèle global n'est pas significatif
Student (constante)	P = 0,812	La constante n'est pas significative
Student (variable)	P = 0,369	Le coefficient de la variable n'est pas significatif
Moyennerésidus	1,74E-18	La moyenne des résidus est considérée nulle
Breusch-Godfrey	P = 0,3825	Présenced'autocorrélationd'ordrep = 1
ARCH(1)	P = 0,6683	Présenced'hétéroscédasticitéd'ordreq = 1
Jarque-Bera	P = 7,357e-06	Hypothèse de normalité des résidus vérifiée

Modèle sur les taux d'intérêt réels

En pratique, on déduit les taux d'intérêt réels à long terme et à court terme des taux d'inflation et des taux d'intérêt nominaux par la relation suivante :

$$r = \frac{(1 + i_r)}{(1 + q)} - 1$$

$$l = \frac{(1 + i_l)}{(1 + q)} - 1$$

Où  $i_l$  et  $i_r$  représentent respectivement les taux d'intérêt nominaux à long terme les taux d'intérêt nominaux, et  $q$  représente le taux d'inflation.

Le tableau suivant recense les différents paramètres nécessaires à l'alimentation de l'algorithme du modèle sur les taux d'intérêt réels à long terme.

TABLE 6  
ESTIMATION DES PARAMETRES DU MODELE SUR LES TAUX D'INTERETS REELS A LONG TERME.

Paramètre	Intitulé	Valeur
$\kappa_q$	Vitesse de retour à la moyenne	1.05767
$\mu_q$	Taux d'intérêtréelmoyen	0.00226795
$\sigma_q$	Ecart type de l'erreur	0.03390632

TABLE 7  
TESTS D'ADEQUATION DU MODELE SUR LES TAUX D'INTERETS REELS A LONG TERME

Test	Résultat	Interprétation
R <sup>2</sup> ajusté	0.1246	Le pouvoir explicatif du modèle est de 12,46%
Fisher	P = 0.2369	Le modèle global n'est pas significatif
Student (constante)	P = 0.814	La constante n'est pas significative
Student (variable)	P = 0.237	Le coefficient de la variable n'est pas significatif
Moyennerésidus	6.505213e-19	La moyenne des résidus est considérée nulle
Breusch-Godfrey	P = 0.4692	Présenced'autocorrélationd'ordrep = 1
ARCH(1)	P = 0.7434	Présenced'hétéroscédasticitéd'ordreq = 1
Jarque-Bera	P = 0.7831	Hypothèse de normalité des résidus non vérifiée

Le tableau suivant recense les différents paramètres nécessaires à l'alimentation de l'algorithme du modèle sur les taux d'intérêt réels à court terme.

TABLE 8  
ESTIMATION DES PARAMÈTRES DU MODÈLE SUR LES TAUX  
D'INTÉRÊTS RÉELS À COURT TERME.

Paramètre	Intitulé	Valeur
$\kappa_q$	Vitesse de retour à la moyenne	0.6440663
$\sigma_q$	Ecart type de l'erreur	0.03301297

Le tableau suivant reprend les principaux résultats sur les tests d'adéquation réalisés.

TABLE 9  
TESTS D'ADÉQUATION DU MODÈLE SUR LES TAUX D'INTÉRÊTS  
RÉELS À COURT TERME.

Test	Résultat	Interprétation
R <sup>2</sup> ajusté	0.2172	Le pouvoir explicatif du modèle est de 21,72%
Fisher	P = 0.1084	Le modèle global n'est pas significatif
Student (variable)	P = 0.108	Le coefficient de la variable n'est pas significatif
Moyennerésidus	- 0,01105956	La moyenne des résidus est considérée presque nulle
Breusch-Godfrey	P = 0.5804	Présenced'autocorrélationd'ordrep = 1
ARCH(1)	P = 0.936	Présenced'hétéroscédasticitéd'ordreq = 1
Jarque-Bera	P = 0.5369	Hypothèse de normalité des résidus non vérifiée

### Modèle sur les actions

Pour déterminer la moyenne et la volatilité de l'excès de rendement des actions, on définit la mesure de l'excès de rendement des actions à la date  $t$  par

$$x_t = \ln \frac{S_t}{S_{t-1}} - i_{r,t}$$

Où  $S_t$  représente le cours de l'action à la date  $t$  et  $i_{r,t}$  représente les taux d'intérêt nominaux à court terme.

Le tableau suivant recense les différents paramètres nécessaires à l'alimentation de l'algorithme du modèle sur les actions.

TABLE 10  
ESTIMATION DES PARAMÈTRES DU MODÈLE SUR LES  
ACTIONS.

Paramètre	Intitulé	Valeur
$\mu_s$	Excès de rendementmoyen	-0,0513899
$\sigma_s$	Ecart type de l'excès des actions	0.2018853

### B. Projections issues des calibrages

Sur la base des résultats statistiques du calibrage, nous allons faire une projection qui va porter sur trois classes

d'actifs : le rendement des actions, les prix des zéro-coupon (en réel et nominal) et le rendement de l'immobilier.

Toutes les projections présentées sont une moyenne des valeurs obtenues à partir de  $N = 10\,000$  simulations et sont réalisées jusqu'à la date  $T = 20$  ans. En termes d'illustration, au-delà des valeurs moyennes, les quantiles à 10 % et à 90 % sont également présentés. Par ailleurs, pour l'ensemble des projections, on suppose qu'à l'origine (en  $t = 0$ ) :

- Le taux d'inflation est égal à 2,92 % ;
- Le taux d'intérêt réel à court terme est égale à -0,66 % ;
- Le taux d'intérêt réel à long terme est égale à 0,56 % ;
- Le taux de rendement dans l'immobilier est égal à -0,27 %.

En outre, pour le prix des zéro-coupons, on considère que l'on souhaite évaluer aujourd'hui (en  $t = 0$ ) le prix de deux obligations zéro-coupon, l'une qui paie 1 en réel à la date  $t = M = 1$  an, et l'autre qui paie 1 en nominal à la date  $t = M = 1$  an.

Lors des projections, il convient de tenir compte de la corrélation observée entre les résidus des modèles calibrés et à ce effet, les erreurs de spécification des modèles projetés sont simulés *ex ante* (pour toutes les simulations et sur l'ensemble de la durée de projection).

En pratique, pour chaque modèle projeté, les erreurs de spécifications doivent s'écrire comme une combinaison linéaire (qui dépend directement de la structure de la matrice de corrélation des résidus) des erreurs des autres modèles. Les coefficients de cette combinaison linéaire sont déterminés en utilisant la méthode de factorisation de *Cholesky*, et les valeurs des variables aléatoires représentent les erreurs utilisées dans ces combinaisons linéaires sont générées selon une loi normale centrée réduite.

Au terme de ces opérations, on dispose d'une matrice contenant les erreurs des modèles projetés, pour chaque simulation et sur l'ensemble de la durée de projection.

La matrice de corrélation entre les résidus des modèles utilisés est présentée dans le tableau suivant :

TABLE 11  
CORRÉLATION DE L'HISTORIQUE DES RÉSIDUS.

		Résidus				
		Tx_Inflation	Rdt_Immobilier	Tx_reel_long	Tx_reel_court	Rdt_exc_actions
Résidus	Tx_Inflation	1	-0,04040	-0,9730	-0,86949	-0,001686
	Rdt_Immobilier	0,040408	1	0,06658	0,13934437	-0,213950
	Tx_reel_long	0,973054	0,06658	1	0,90207659	-0,089708
	Tx_reel_court	0,869490	-0,13934	0,90207	1	-0,048176
	Rdt_exc_actions	0,001686	-0,21395	-0,08970	-0,04817	1

La matrice de corrélation entre les erreurs projetées permet de s'assurer de la cohérence entre la corrélation des résidus historiques et la corrélation des erreurs projetées, comme illustrer dans le tableau suivant :

TABLE 12  
 CORRÉLATION DES ERREURS PROJÉTÉES.

		Résidus				
		Tx Inflation	Rdt Immobilier	Tx reel long	Tx reel court	Rdt excès actions
Résidus	Tx Inflation	1	-0,04772	-0,96182	-0,83213	-0,00438
	Rdt Immobilier	-0,0477	1	0,06959	-0,1163	-0,18557
	Tx reel long	-0,9618	0,06959	1	0,87127	-0,07651
	Tx reel court	-0,8321	-0,1163	0,87127	1	-0,04132
	Rdt excès actions	-0,0043	-0,18557	-0,0765	-0,04132	1

*Projection du rendement des actions*

Pour le modèle d'Ahlgrim et al., nous considérons que le taux de rendement des actions est :

$$s_t = i_{r,t} + x_t$$

Où

- $i_{r,t}$  représente les taux d'intérêt nominaux à court terme ;
- $x_t$  représente l'excès de rendement des actions.

La projection des taux d'intérêt nominaux à court terme est une combinaison de la projection des taux d'inflation et des taux d'intérêt réels à court terme, avec :

- Une projection de l'inflation réalisée à partir de la formule discrète, avec pour valeur initiale  $q_0 = 2,92 \%$ .
- Une projection des taux d'intérêt réels à court terme réalisée à partir des formules discrètes des taux à court terme et des taux à long terme, avec pour valeur initiale  $r_0 = -0,66 \%$  pour les taux réels à court terme et  $l_0 = 0,56 \%$  pour les taux réels à long terme.
- Concernant la projection de l'excès de rendement des actions, elle est réalisée à partir de la discrétisation du modèle de Black & Scholes.

Sur ces bases, on obtient les projections suivantes pour les taux d'intérêt nominaux à court terme et les excès de rendement des actions.

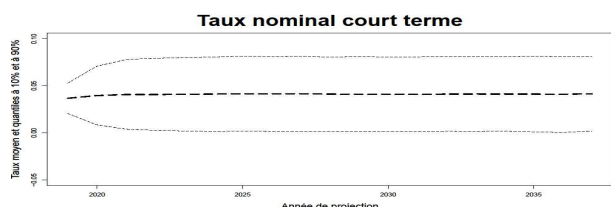


Fig. 2 Projection du taux d'intérêt nominal de court terme.

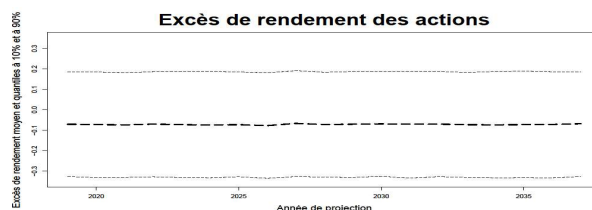


Fig. 3 Projection de l'excès de rendement des actions.

La projection des rendements totaux des actions correspondante est présentée ci-dessous.

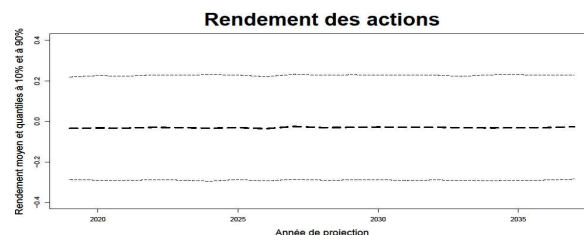


Fig. 4 Projections du rendement des cours de l'action.

*Projection du prix des zéro-coupon (en réel)*

Le prix des zéro-coupon en réel se déduit des paramètres des modèles de taux à deux facteurs (vitesses de retour à la moyenne, moyennes de long terme, écarts types).

En pratique, les projections des taux seront directement reprises des travaux sur la projection du rendement des actions, travaux au sein desquels nous avons projeté les taux à court terme et les taux à long terme. Les graphiques suivants présentent ces deux projections.

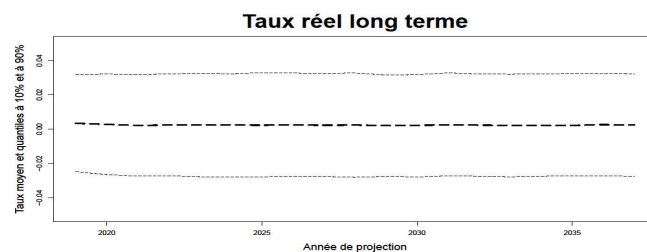


Fig. 5 Projection des taux d'intérêt réels à long terme.

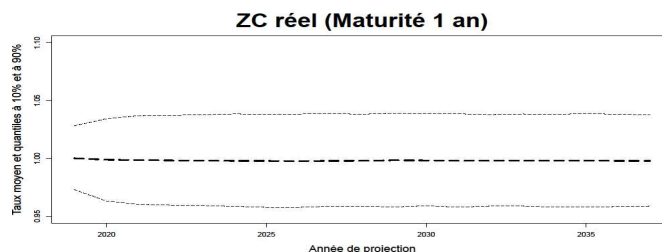


Fig. 6 Projection du prix des zéro-coupon en réel.

*Projection du prix des zéro-coupon (en nominal)*

Dans le cadre de l'évaluation des prix des zéro-coupon en nominal, il convient de tenir compte de l'inflation.

Les simulations réalisées dans le cadre de la projection du rendement des actions ont utilisé la projection de l'inflation suivante.

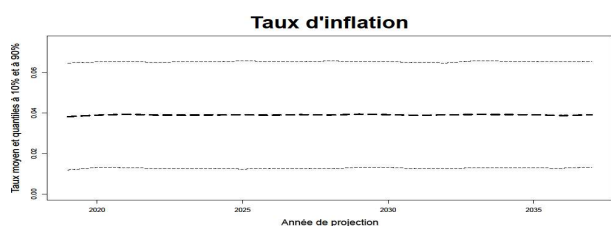


Fig. 7 Projection de l'inflation.

Cette projection de l'inflation est utilisée pour déterminer les prix des zéro-coupon en nominal. En pratique, pour établir le prix des zéro-coupon en nominal, nous reprenons la relationsuivante :

$$P_{nom}(t, T) = P_{real}(t, T)P_{inf}(t, T)$$

Le prix des zéro-coupon en retenant le taux d'inflation est calculé à partir de la formule explicite du calcul du prix des zéro-coupon dans le cadre d'une dynamique de taux de type Vasicek à un facteur.

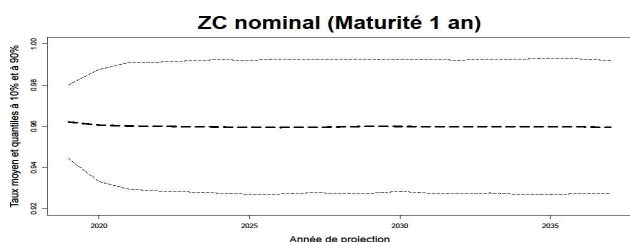


Fig. 8 Projection du prix des zéro-coupon en nominal.

### Projection du rendement de l'immobilier

La dynamique proposée par Ahlgrim pour le rendement de l'immobilier est identique à celle de l'inflation : il s'agit d'un modèle de type Vasicek à un facteur. La projection est réalisée à partir de la formule discrète, avec pour valeur initiale  $(r_e)_0 = -0,27\%$ .

Les résultats des projections obtenues sont présentés ci-après.

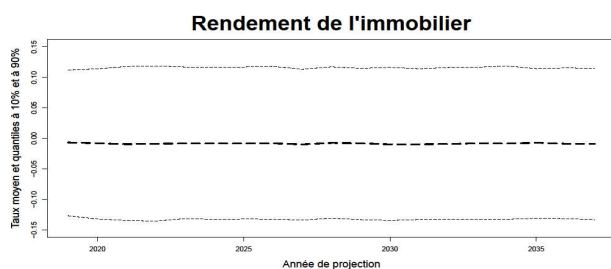


Fig. 9 Projection du rendement de l'immobilier.

La structure à terme des taux d'intérêt, illustré par la projection du taux zéro coupon nominal (Frachot A., Lesne J.P 1995), permet aux institutions financières et aux investisseurs,

d'avoir une visibilité plus précise sur l'évolution futur des taux d'intérêt, afin de réduire considérablement leurs risques de taux d'intérêt, et ainsi proposer des produits financiers mieux structurés, et plus compétitifs. Cette structure a une importance capitale pour n'importe quelle institution financière utilisant un facteur d'actualisation de ses cash-flows futurs, à l'instar des banques, assurances et marchés financiers.

La projection du rendement de l'immobilier permettrait de mieux diversifier le portefeuille d'investissement, au-delà des actifs financiers présent sur les marchés financiers, ce secteur reste très prisé par les investisseurs en Algérie, notamment par les rendements offerts à court et moyen terme, qui peuvent atteindre jusqu'à l'ordre de 10 % par an, avec toutefois la présence d'instabilités conjoncturelles des prix de l'immobilier qui augmenteraient le risque de placement.

Les résultats de la projection du taux d'inflation prévisionnel montrent que ce dernier reste relativement stable, avec un taux minimal proche de 1 % et un taux maximal proche de 6 %, ceci est dû principalement à la période d'observation des données historiques, qui précède la crise sanitaire et économique que connaît actuellement l'Algérie. Cette instabilité possible du taux d'inflation peut conduire les investisseurs à se détourner de la liquidité monétaire, au profit des valeurs refuges comme les devises et les métaux précieux.

La projection des rendements des actions et les excès de rendement des actions nous donne des pourcentages relativement élevés, avec des rendements compris entre -30% et 20%; ce qui indique que ces actifs financiers pourraient constitués des valeurs à fort potentiel de placement, à condition que le marché soit attractif et liquide.

Enfin, concernant les projections des taux d'intérêt de court et long terme, on constate que les taux d'intérêt de court terme sont supérieurs aux taux d'intérêt de long terme, ce qui dénote d'une visibilité courttermiste en matière de placements financiers, puisque les investisseurs préfèrent placer leurs fonds sur de courtes périodes, sachant que les placements de long terme doivent normalement être mieux rémunérés.

### C. Étude des chocs via un modèle VAR

Cette partie du papier va nous permettre d'analyser le comportement des variables économique-financières, dans un contexte de crise matérialisé principalement par la situation sanitaire mondiale, qui est vue par bon nombre d'observateurs, comme le prélude d'une prochaine crise économique mondiale.

Le choix du modèle VAR est justifié par la prise en compte des dépendances pouvant existées entre les différentes

séries chronologiques, ainsi qu'à la possibilité de mesurer les réponses de ces dernières à différents chocs pouvant survenir (Pfaff, B, 2008).

On rappelle que le modèle VAR(p) a la forme générale suivante :

$$y_t = A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} + u_t$$

Avec :

$$y_t = y_{1t}, \dots, y_{kt}, \dots, y_{Kt} \text{ pour } k = 1, \dots, K$$

$A_i$  étant la matrice des coefficients de taille ( $K \times K$ ) pour  $i = 1, \dots, p$  et  $u_t$  est un processus de bruit de  $K$ -dimension.

Les tests usuels sur le nombre de retards (AIC, HQ, SC, FRE) indiquent l'existence d'un seul retard ; on va donc opter pour un modèle VAR(1). Concernant le test de cointégration (Johansen, S. & Juselius, K. 1990), ce dernier indique clairement l'absence de dépendances de long terme, ce qui justifie le recours au modèle vectoriel autorégressif.

La matrice de corrélation des erreurs du modèle VAR(1) est reprise dans le tableau ci-dessous :

TABLE 14

CORRÉLATION DES ERREURS ESTIMÉES À PARTIR DU MODÈLE VAR(1).

		Résidus			
		Tx_Inflation	Rdt_Immobilier	Tx_reel_long	Rdt_exces_actions
Résidus	Tx_Inflation	1	-0,2178	-0,9871	0,1021
	Rdt_Immobilier	-0,2178	1	0,3271	-0,6541
	Tx_reel_long	-0,9871	0,3271	1	-0,1901
	Rdt_exces_actions	0,1021	-0,6541	-0,1901	1

Les réponses aux chocs constatées sur les variables économique-financières sont indiquées ci-dessous

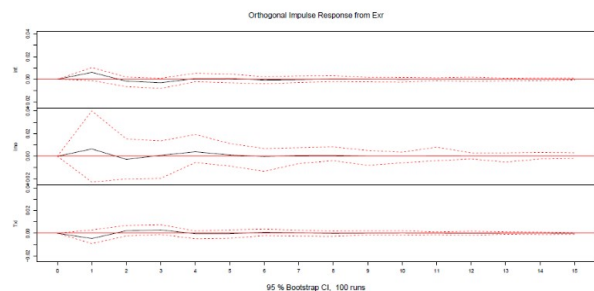


Fig. 10 Réponse du taux d'inflation aux chocs impulsés sur les variables restantes.

On remarque que le taux d'inflation est le plus impacté par l'excès de rendement des actions, que ça soit en termes d'intensité (entre 10% et -10%) ou de durée (persistance du choc sur une durée de 7 ans), sachant qu'il est plus corrélé négativement avec le taux d'intérêt réel de long terme, suivi

par le taux de rendement de l'immobilier ; ceci s'explique principalement par le recours des investisseurs aux valeurs refuges à la suite d'une crise majeure, ce qui a comme conséquence des perturbations dans les valeurs de la devise locale.

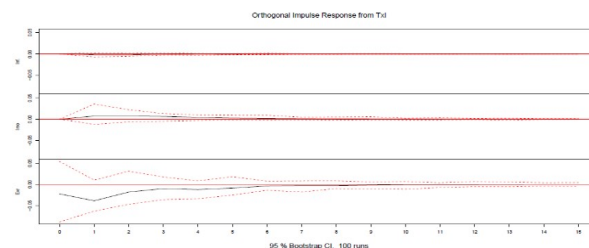


Fig. 11 Réponse du taux d'intérêt réel de long terme aux chocs impulsés sur les variables restantes.

On remarque que le taux réel de long terme est fortement impacté par l'excès de rendement des actions, que ça soit en termes d'intensité (entre -5% et 5%) ou de durée (persistance du choc sur une durée de 7 ans), sachant qu'il est plus corrélé négativement avec le taux d'inflation, suivi par le taux de rendement de l'immobilier ; ce qui indique qu'une crise au niveau des marchés des valeurs mobilières sera inéluctablement et durablement propagée vers le marché de la dette.

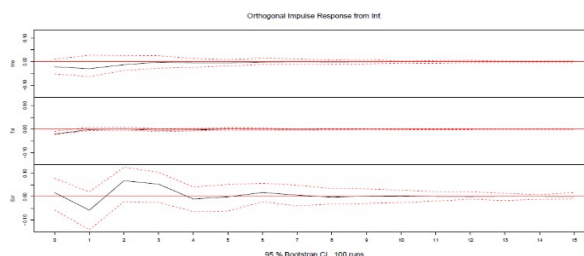


Fig. 12 Réponse du taux de rendement de l'immobilier aux chocs impulsés sur les variables restantes.

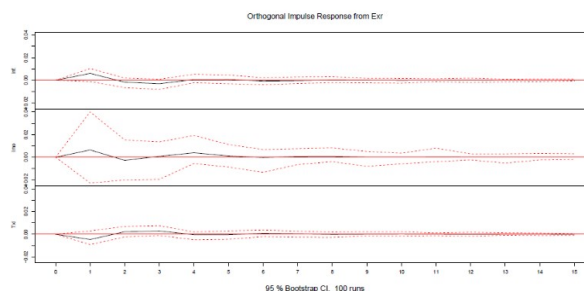


Fig. 13 Réponse de de l'excès de taux de rendement des actions aux chocs impulsés sur les variables restantes.

On remarque que le taux de rendement de l'immobilier est fortement impacté par l'excès de rendement des actions, que ça soit en termes d'intensité (entre 5% et -15%) ou de durée



(persistance du choc sur une durée de 10 ans), sachant qu'il est plus corrélé négativement avec l'excès de rendement des actions, suivi par le taux réel de long terme ; ce qui indique clairement que le marché de l'immobilier est un marché de placement de substitution aux marchés financiers, mais qui reste plus impacté par un choc négatif que par un choc positif survenu sur le rendement des actions.

Enfin, on constate que l'excès de rendement des actions est à son tour fortement impacté par un choc survenant sur le marché de l'immobilier, que ça soit en termes d'intensité (entre 4% et -4%) ou de durée (persistance du choc sur une durée de 6 ans), sachant qu'il est plus corrélé négativement avec le taux de rendement de l'immobilier, suivi par le taux réel de long terme ; ce qui s'explique de façon symétrique par la relation qui lie le marché de l'immobilier aux marchés financiers, cependant, la réponse de l'excès de rendement des actions au taux de rendement de l'immobilier reste de même intensité quelque soit le type de choc survenu sur ce dernier (positif ou négatif).

## V. CONCLUSION

À partir des principaux résultats dégagés, on remarque que le placement dans l'immobilier reste le plus attractif, notamment pour les institutions financières, puisqu'il permet non seulement d'obtenir des rendements élevés malgré une forte volatilité des prix observés dans ce type d'investissement, mais également une revalorisation importante de ces actifs suite aux augmentations répétitives des taux d'inflation.

Concernant le placement en actions, ces derniers sont pour le moment peu ou pas du tout attractifs, étant donné les rendements qu'ils offrent, notamment à cause du manque de culture des entreprises vis-à-vis de ce mode de financement, également, l'absence de liquidité est un autre frein au développement de ce marché.

Enfin, nous avons constaté que les taux d'intérêt réel de court terme étaient supérieurs aux taux d'intérêt de long terme, ce qui indique un manque de confiance des investisseurs concernant la stabilité et la pérennité des marchés financiers, ce qui les pousse à privilégier les placements dont la rentabilité est rapidement dégagée.

## RÉFÉRENCES

[1] Ang, J.B. (2008). «A survey of recent development in the literature of finance and growth». *Journal of Economic Surveys*, 22 (3), 536-576.  
[2] Arthur, W.B., Hilland, J.H., LeBaron, B., Palmer, R., Tayler, P., 1997. «Asset pricing under endogenous expectations in an artificial stock market». In: Arthur, W.B.,

Durlauf, S.N., Lane, D.A. (Eds.), *The Economy as an Evolving Complex System II*. Addison-Wesley.

[3] Black, F., & Scholes, M. (1973). «The pricing of options and corporate liabilities». *Journal of political economy*, 81(3), 637-654.

[4] Chardoillet E, Salvat M, Tourmyol du Clos H (2010). « L'essentiel des marchés financiers ». Edition Eyrolles. France.

[5] Cioffi-Revilla, C., 2002. «Invariance and universality in social agent-based simulations». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 99 (10), 7314–7316.

[6] Directive 2009/138/CE du parlement européen et du conseil du 25 novembre 2009 sur l'accès aux activités de l'assurance et de la réassurance et leur exercice (Solvabilité II).

[7] Dreyfuss M-L (2013). «Les grands principes de Solvabilité II ». Editions l'Argus de l'assurance. France.

[8] Engle R.F (1982). «Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with estimates of the variance of U.K inflation». *Econometrica* 50, 987-1008.

[9] Fase, M. M. G. and Abma, R. C. N. (2003). «Financial development and economic growth in Selected Asian economies». *Journal of Asian Economies*, 14(1), 11-21.

[10] Föllmer, H. , Horst, U. , Kirman, A. , 2005. «Equilibria in financial markets with heterogeneous agents: a probabilistic perspective». *J. Math. Econ.* 41 (1–2), 123–155.

[11] Frachot A., Lesne J.P (1995). « Modèles factoriels de la structure par terme des taux d'intérêt : théorie et application économétrique », *Annales d'Economie et de Statistique* 40, 11-36.

[12] Giroux M-P (2013). « Modélisation d'un générateur de scénarios économiques ». Mémoire présenté devant l'ENSAE pour l'obtention du diplôme de la filière Actuariat et l'admission à l'Institut des Actuaire. Ecole Nationale de la Statistique et de l'Administration Economique. France.

[13] Goldsmith, R. (1969). «Financial Structure and Development». New Haven: Yale University Press.

[14] Gurley, J., and Shaw, E. (1967). «Financial Structure and Economic Development. Economic Development and Cultural Change», Vol. 15 (3), 257-268.

[15] Haffar A., Teulon F. (2017). «Lerole des générateurs de scénarios économiques dans la gestion actif-passif d'une compagnie d'assurance». *Revue Gestion* 2000. P. 215 – 241.

[16] Hashem Pesaran M., Yongcheol S., J. Smith R. (2000). «Structural analysis of vector error correction models with exogenous I(1) variables». *Journal of Econometrics*. Vol. 97, Issue. 2, P. 293-343.

- [17] Hsueh, S.J., Hu, Y.H., and Tu, C.H. (2013). «Economic growth and financial development in Asian countries: A Bootstrap panel Granger causality analysis». *Economic Modelling*, 32, 294-301.
- [18] Johansen, S. & Juselius, K. (1990). "Maximum likelihood estimation and inference on cointegration". *Oxford Bulletin of Economics and Statistics* 52(2), 196 – 210.
- [19] Kerebel P (2009). « Management des risques inclus secteurs banque et assurance ». Edition Eyrolles. France.
- [20] Kluger, B.D., McBride, M.E., 2011. «Intraday trading patterns in an intelligent autonomous agent-based stock market». *J. Econ. Behav. Org.* 79 (3), 226–245.
- [21] Law, S.H and Singh, N., (2014). «Does too much finance harm economic growth?» *Journal of Banking and Finance*, 41, 36-44.
- [22] Law, S.H., Tan, H.B., and Azman-Saini, W.N.W. (2015). «Globalization, Institutional Reforms and Financial Development in East Asian Economies». *The World Economy*, 38, 379-398.
- [23] Levin, R. (2003). «More on finance and growth: more finance, more growth?» *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, 85, 31-46.
- [24] Levine, R. (2005). «Finance and growth: Theory and evidence». In P. Aghion, and S. N. Durlauf (Eds.), *Handbook of Economic Growth*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.
- [25] Levy, M., Levy, H., Solomon, S., 1994. «A microscopic model of the stock market: cycles, booms, and crashes». *Econ. Lett.* 45 (1), 103–111.
- [26] Lux, T., 1995. «Herd behaviour, bubbles and crashes». *Econ. J.* 105 (431), 881–896.
- [27] Lux, T., 1998. «The socio-economic dynamics of speculative markets: interacting agents, chaos, and the fat tails of return distributions». *J. Econ. Behav. Org.* 33 (2), 143–165.
- [28] Lux, T., Marchesi, M., 2000. «Volatility clustering in financial markets: a microsimulation of interacting agents». *Int. J. Theor. Appl. Financ.* 3 (4), 675–702.
- [29] McKinnon, R. (1973). «Money and Capital in Economic Development». Washington, D.C., Brookings Institution.
- [30] Naceur, S. B., Cherif, M. and Kandil, M. (2014). «What drives the development of the MENA financial sector? » *Borsa Istanbul Review*, 14(4), 212-223.
- [31] Pfaff, B. (2008). VAR, SVAR and SVEC models: Implementation within R package vars. *Journal of Statistical Software*, 27(4), 1-32.
- [32] Planchet F, Thérond P, Jacquemin J (2005). « Modèles financiers en assurance, analyse de risque dynamique ». Edition Economica. France.
- [33] Planchet F, Thérond P, Kamega A (2009). « Scénarios économiques en assurance, modélisation et simulation ». Edition Economica. France.
- [34] Rajan, R. and Zingales, L. (1998). «Financial dependence and growth». *American Economic Review*, 88, 559-586.
- [35] Schumpeter, J. A. (1911). «The Theory of Economic Development». Harvard University Press, Cambridge, MA.
- [36] Sun, P., Sen, S. and Tong, J. (2011). «Size effects on the transmission mechanism from finance to development: a study of large emerging economies». *The World Economy* 34, 778-791.
- [37] Vasicek, O (1977). «An equilibrium characterisation of the term structure », *Journal of financial economics*, vol. 5, 177-88.