



# Document de travail

Indice agrégé de stabilité financière au Maroc

Salim Dehmej et Mohammed Mikou

Les opinions exprimées dans ce Document de Travail sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement la position de Bank Al-Maghrib ou du Fonds Monétaire International. Afin de garantir une meilleure qualité et rigueur scientifique, les documents de travail publiés sont évalués par des arbitres externes, universitaires et chercheurs de Banques Centrales modernes.

Aucune reproduction ou traduction de la présente publication ne peut être faite sans l'autorisation des auteurs.

L'objet de la publication du présent Document de Travail est de susciter les débats et d'appeler commentaires et critiques.

Si vous avez des commentaires sur ce Document de Travail, veuillez les faire parvenir par e-mail : [dr@bkam.ma](mailto:dr@bkam.ma)

Ou par courrier à l'adresse suivante :

Bank Al-Maghrib, Département de la Recherche  
277, Avenue Mohammed V - B.P 445 Rabat

Ce document peut être téléchargé sans frais par voie électronique sur :  
[www.bkam.ma](http://www.bkam.ma)

# Indice agrégé de stabilité financière au Maroc

*DEHMEJ Salim<sup>1</sup> et MIKOU Mohammed<sup>2</sup>*

**Résumé :** La crise des « subprimes » et plus récemment celle du Covid-19 ont mis en exergue les risques potentiels menaçant la stabilité financière et l'importance d'une surveillance accrue du système financier. L'objectif de ce document de travail est double puisqu'il mesure d'abord le risque systémique du secteur bancaire marocain - à l'aide de techniques récentes développées dans la littérature économique et utilisées par des Banques Centrales - avant de l'intégrer dans un indice agrégé de stabilité financière (IASF), susceptible de faciliter le suivi des risques financiers et la détection précoce des vulnérabilités. L'indice agrégé est calculé comme une moyenne pondérée de 25 indicateurs macroéconomiques et financiers, classés en cinq sous-indices : le développement macroéconomique, le développement financier, la vulnérabilité bancaire, la vulnérabilité du secteur non financier et le risque systémique. Son évolution est contenue et confirme que le système financier marocain a fait preuve d'une résilience avérée durant ces dernières années.

**Mots clés :** Stabilité financière, Risque Systémique, Indice de stress financier, SRISK.

**Classification JEL :** G01, G10, G20, E44

**Abstract:** The subprime crisis and more recently the Covid-19 crisis have highlighted the potential risks to financial stability and the importance of an increasing supervision of the financial system. The objective of this paper is twofold. First, it measures the systemic risk of the Moroccan banking sector - using recent techniques developed in the literature and widely used by central banks. Second, it integrates it in an Aggregate Financial Stability Index (IASF), to facilitate the monitoring of financial risks and the early detection of vulnerabilities. The aggregate index is calculated as a weighted average of 25 macroeconomic and financial indicators, classified into five sub-indices: macroeconomic development, financial development, banking vulnerability, vulnerability of the non-financial sector and systemic risk. Its evolution is contained and confirms that the Moroccan financial system has shown proven resilience in recent years.

**Keywords:** Financial stability, Systemic risk, Financial stress index, SRISK.

**JEL Classification:** G01, G10, G20, E44

---

<sup>1</sup> Economiste-chercheur au Fonds Monétaire International, sdehmej@imf.org. L'auteur a commencé à travailler sur ce document de travail avant de rejoindre le FMI.

<sup>2</sup> Economiste-chercheur à Bank Al-Maghrib, m.mikou@bkam.ma

Les auteurs remercient Thibaut Duprey de la Banque du Canada, qui a effectué un séjour de recherche à Bank Al-Maghrib en 2018, Hicham Bennouna et Hajar Bezzaz (Bank Al-Maghrib), et tous les participants aux présentations internes pour leurs commentaires et suggestions pertinents.

## I. Introduction

Si la crise financière de 2008 ne représente plus qu'un souvenir lointain et n'a finalement touché qu'indirectement les pays en développement, les bouleversements économiques auxquels nous assistons aujourd'hui suite à la crise sanitaire et économique pourraient être bien plus graves, du fait de l'intensité du choc, sa rapidité et sa dimension internationale. Ces crises mettent en lumière les risques potentiels qui menacent la stabilité financière en général, et les systèmes bancaires en particulier en ce qui concerne les pays en développement. Un grand nombre d'entreprises sont en train de subir de lourdes pertes et des faillites en chaîne ne sont pas à exclure en cas de persistance de la pandémie dans le temps, ce qui n'est pas sans conséquence sur la solidité des bilans bancaires. D'après le rapport<sup>3</sup> de la stabilité financière dans le monde du Fonds Monétaire International (FMI), une intensification de la crise pourrait porter atteinte à la stabilité financière à l'échelle mondiale. Dès lors, un système financier solide, associé à un système bancaire bien capitalisé sont nécessaires pour absorber les différents chocs, accompagner l'économie quand elle fait face à des crises majeures et préserver ainsi la stabilité financière.

Contrairement à la stabilité des prix, la stabilité financière est très difficile à définir et à évaluer<sup>4</sup>. Ceci est dû aux interdépendances et aux interactions complexes et transversales, qui caractérisent le système financier lui-même et ses liens avec l'économie réelle. La Banque Centrale Européenne (BCE, 2007) définit la stabilité financière par la capacité du système financier à résister aux chocs et à atténuer leurs conséquences sur le processus d'intermédiation financière<sup>5</sup>. Cette définition a conduit les analystes à focaliser leur attention sur les risques et les vulnérabilités, qui menacent un système financier. Ainsi, plusieurs techniques ont vu le jour pour évaluer la stabilité financière, avec leurs avantages et limites. Parmi ces différentes techniques, trois sont largement utilisées dans la littérature et par les Banques Centrales, à savoir les macro-stress tests, les systèmes d'alerte précoce, et les indices de stabilité financière qui constituent l'objet principal de ce travail, bien que lesdites techniques soient généralement complémentaires. En effet, un indice agrégé de stabilité financière peut détecter des signaux précurseurs de crises à l'instar des systèmes d'alerte précoce.

---

<sup>3</sup> Global Financial Stability Report: Chapter 1, April 2020.

<sup>4</sup> Voir le document de travail publié en 2016 par Bank Al-Maghrib « Stabilité financière : définitions, fondements théoriques et politique macroprudentielle » (Rouiessi, 2016).

<sup>5</sup> European Central Bank, « Rapport annuel 2007 ».

Les systèmes d’alerte précoce (SAP) sont basés sur des indicateurs clés (choisis en fonction de leur capacité prédictive) pour prédire la probabilité de survenance d’une crise financière. D’abord employés pour prédire les crises de change (Calvo et al, 1993), leur utilisation s’est élargie à toutes les composantes du système financier. Ainsi, des chercheurs de la Banque des Règlements Internationaux (BRI) suggèrent par exemple de surveiller quelques indicateurs simples tels que le ratio crédit sur PIB, son évolution ou son écart par rapport à une norme historique, pour détecter les vulnérabilités financières. Certes, les SAP constituent un outil important dans l’analyse de la stabilité financière, néanmoins, ils ne permettent pas l’identification précise des sources de vulnérabilités du système financier.

Les stress tests, quant à eux, éprouvent théoriquement la résilience du système financier face à un scénario de choc économique ou financier fictif. Il s’agit par exemple d’évaluer la capacité des fonds propres d’une banque à absorber des chocs. Ces derniers sont généralement déterminés en fonction de l’historique du pays en cas de survenance de crises dans le passé, d’indicateurs purement statistiques, ou en fonction de simples hypothèses sur la croissance économique, les marchés boursier et immobilier. Bien que la calibration du scénario des stress tests reste subjective, les stress tests représentent un outil complémentaire et important dans l’analyse des vulnérabilités financières.

Enfin, les indices de stabilité financière sont basés sur l’agrégation de plusieurs indicateurs économiques et financiers afin d’appréhender la stabilité financière dans sa définition la plus large possible, et de capter différentes facettes des vulnérabilités financières. Ainsi, des indicateurs tels que ceux de la solidité financière développés par le FMI (Financial Soundness Indicators - FSI), sont généralement utilisés dans la littérature pour surveiller la santé d’un système financier<sup>6</sup>. Aussi, les Banques Centrales ont construit des indices agrégés pour analyser la stabilité des systèmes financiers de leur pays et alimenter leurs rapports de stabilité financière. On peut citer à titre d’exemple les FSI des Fed régionales<sup>7</sup>, le CISS de la BCE<sup>8</sup>, le FSI de la Banque d’Angleterre<sup>9</sup> et le FSI en Roumanie<sup>10</sup>. Au Maroc, Bank Al-Maghrib a également développé, depuis 2018, un indice de stabilité financière (ISF) pour surveiller les vulnérabilités

---

<sup>6</sup> International Monetary Fund, « Financial Soundness Indicators: Compilation Guide 2019 ».

<sup>7</sup> Bisias et al., 2012, « A Survey of Systemic Risk Analytics », OFR wp 0001

<sup>8</sup> Hollo, Kremer, et Lo Duca, 2012, « CISS - A Composite Indicator of Systemic Stress in the Financial System », ECB WP n 1426.

<sup>9</sup> Chatterjee et al., 2017, « A Financial Stress Index for the United Kingdom », Bank of England wp no 697

<sup>10</sup> Albuлесcu C. T. 2008 « Assessing Romanian financial sector stability: the importance of the international economic climate ».

financières, guider son action macroprudentielle et alimenter les travaux du Comité de Coordination et de Surveillance des Risques Systémiques (CCSRS). L'indice est décrit dans l'encadré n°9 du « Rapport sur la Stabilité Financière - Exercice 2018 » de Bank Al-Maghrib.

D'un point de vue technique, les principales difficultés pour construire un indice de stabilité financière résident dans le choix des indicateurs économiques et financiers, la méthode de normalisation de ces indicateurs afin de rendre leur agrégation et interprétation cohérente et enfin dans le jeu de pondération à retenir pour le calcul de l'indice agrégé (c'est-à-dire quel poids accorder à chaque variable).

Dans ce document de travail, nous construisons un nouvel indice agrégé de stabilité financière (IASF) pour le Maroc, qui se différencie de l'existant par trois caractéristiques majeures, dont deux purement techniques :

Premièrement, au-delà des indicateurs standards relevant du développement macroéconomique et financier ou des vulnérabilités financières et non financières, nous incluons un volet fondamental qui traite du risque systémique dans la construction de notre indice agrégé de stabilité financière (IASF). Comme le montre la BCE dans son rapport de stabilité financière, publié en mai 2018<sup>11</sup>, l'intégration du risque systémique dans l'IASF améliore la performance empirique de l'indice et sa capacité à prédire, à court terme, des épisodes de tensions financières<sup>12</sup>.

Deuxièmement, nous choisissons une méthode de normalisation des variables qui utilise les « quantiles » des états des indicateurs et s'inspire du travail de Hollo et al. (2012) pour le compte de la BCE, et celui de Chatterjee et al. (2017) pour la Banque d'Angleterre.

Troisièmement, nous optons pour une pondération basée sur l'ajustement affine de chaque indicateur au PIB, que nous considérons comme l'indicateur macroéconomique de référence. Enfin, pour appréhender les mouvements joints entre les indicateurs, notamment dans le cadre d'un choc systémique, nous diffusons notre indice suivant les corrélations temporelles respectives des sous-indices formant notre IASF.

---

<sup>11</sup> European Central Bank, « A New Financial Stability Risk Index to Predict the Near-Term Risk of Recession ».

<sup>12</sup> L'objectif principal de ce travail de recherche est de construire un IASF pour le Maroc incluant le volet risque systémique. Bien que la question de tester sa capacité prédictive est très intéressante, la limitation des données et l'absence de périodes de crises financières importantes au Maroc rendent l'exercice très difficile à mener.

La suite de ce document de travail est organisée de la manière suivante : la deuxième section est consacrée à la définition et à la mesure du risque systémique et la troisième section est dédiée à la présentation de la méthodologie et des indicateurs retenus dans la construction de notre IASF. Les résultats empiriques sont présentés dans la section IV et enfin la section V est réservée à la conclusion.

## **II. Indicateurs de risque systémique**

L'ampleur d'une crise financière découle d'une part des vulnérabilités accumulées par l'économie et le secteur financier d'un côté (risque endogène), et d'autre part du degré d'amplification d'un choc initial (risque exogène) durant le stress financier<sup>13</sup>. Des études récentes montrent qu'inclure des mesures de risque systémique appropriées<sup>14</sup> améliore la capacité prédictive de court terme des effets de chocs défavorables sur l'économie réelle. D'où l'importance de s'intéresser au volet risque systémique dans la construction d'un indice de stabilité financière. L'objectif de cette section est de définir le risque systémique et de présenter deux mesures principales largement utilisées dans la littérature pour le quantifier, à savoir le Marginal Expected Shortfall (MES), qui mesure la perte attendue en termes de rendement d'une institution financière lorsque le marché financier est en situation de détresse, et le SRISK qui mesure la perte en capital d'une institution financière lors d'une crise systémique. Au-delà de l'utilité pour surveiller les risques, ces indicateurs peuvent fournir des signaux d'alerte précoce de détresse.

### **II.1 Définition du risque systémique**

Les institutions financières sont confrontées à plusieurs catégories de risque à savoir les risques de marché, de crédit, de liquidité, le risque opérationnel et celui dit systémique. L'ampleur des conséquences de la crise des « subprimes » sur la sphère financière et l'économie réelle a replacé le risque systémique au cœur des travaux académiques et des rapports d'institutions internationales. Dans la mesure où les quatre premières catégories de risque sont axées sur les institutions individuelles, et bien qu'elles participent au risque global via chaque institution,

---

<sup>13</sup> See Adrian, T., Boyarchenko, N. and Giannone, D, « Vulnerable Growth ».

<sup>14</sup> European Central Bank, « A New Financial Stability Risk Index to Predict the Near-Term Risk of Recession » Mai 2018.

elles négligent les risques émanant des externalités négatives<sup>15</sup> issues des interactions entre ces institutions, tels que la contagion ou des expositions de portefeuilles similaires. De ce fait, ces catégories de risque individuelles ne sont pas capables de cerner le risque systémique et doivent donc être complétées par une approche plus holistique qui saisit le système financier dans sa globalité. La crise financière mondiale a fait donc évoluer la régulation et la supervision financières d'une perspective microprudentielle basée sur la résilience des institutions prises individuellement à une perspective macroprudentielle qui prend en compte les interactions entre les institutions financières, les externalités liées à leurs décisions, et aussi les effets du cycle financier sur le cycle économique et sur la stabilité financière.

Bien que le risque systémique ait été utilisé dans la littérature relative aux systèmes financiers depuis de nombreuses années, on remarque que les définitions sont souvent diverses et ont évolué avec le temps. En l'absence d'une définition académique qui fait consensus, différentes enceintes internationales (FMI, BRI et FSB<sup>16</sup>) se sont accordées en 2009 à définir le risque systémique comme étant le risque de matérialisation d'une rupture dans le fonctionnement des services financiers causée par la dégradation de tout ou d'une partie du système financier et ayant un impact négatif généralisé sur l'économie réelle. Selon l'ESRB (2014), le risque systémique peut survenir (ESRB, 2014) en raison de :

- a) une croissance excessive du crédit et de l'effet de levier,
- b) une inadéquation excessive des maturités et l'illiquidité du marché,
- c) une concentration d'exposition directe et indirecte,
- d) des incitations inappropriées et de l'aléa moral.

Pour schématiser, Kaufman et Scott<sup>17</sup> affirment que le risque systémique doit comprendre au moins trois éléments : un facteur déclencheur, une propagation/contagion des chocs à travers le système financier et un impact important sur l'économie réelle. Si l'élément déclencheur peut provenir de l'intérieur du système financier (par exemple la faillite inattendue d'une

---

<sup>15</sup> On parle d'externalités négatives pour qualifier une situation dans laquelle l'activité d'un agent économique a un impact négatif sur la situation d'un autre agent, sans que le premier supporte les dommages engendrés au second.

<sup>16</sup> Staff of the International Monetary Fund and the Bank for International Settlements, and et the Secretariat of the Financial Stability Board, « Guidance to Assess the Systemic Importance of Financial Institutions, Markets and Instruments: Initial Considerations ».

<sup>17</sup> Kaufman et Scott, *Does Bank Regulation Retard or Contribute to Systemic Risk?*



institution financière de taille importante), il peut également émaner de l'extérieur du système comme ce fut le cas lors des attentats du 11 Septembre 2001. Pour ce qui est du phénomène de contagion financière, il peut certes avoir lieu à cause d'un lien direct entre plusieurs banques. Mais il peut également survenir de manière indirecte, en conséquence de la baisse de valeur des actifs de plusieurs banques, à la suite des ventes forcées d'une poignée d'institutions bancaires de taille considérable, ou d'une simple perte de confiance des investisseurs. Enfin, l'impact d'une crise systémique sur l'économie réelle peut prendre plusieurs formes : des incidences sur l'offre de crédit bancaire ou son coût pour les emprunteurs ou bien sur les marchés financiers susceptibles d'ébranler la croissance économique et l'emploi.

S'il est impossible de prévoir un élément déclencheur provenant de l'extérieur du système financier tel qu'une catastrophe naturelle ou un attentat, la politique macroprudentielle peut atténuer le risque systémique dans ses dimensions structurelles et cycliques. Cela signifie prévenir les crises financières futures, ou du moins réduire leurs fréquences et leurs gravités en renforçant la résilience du système.

## **II.2 Mesures de risque systémique**

Du fait que les facteurs déclencheurs d'une crise systémique sont multiples ainsi que ses canaux de transmission, il existe dans la littérature une trentaine de mesures du risque systémique (voir Bisias et al. 2012 pour une revue de littérature détaillée). Ce travail retient trois indicateurs du risque systémique à savoir la Marginal Expected Shortfall (MES), la Long-Run Marginal Expected Shortfall (LRMES) et le SRISK. Ces trois mesures ont fait l'objet de plusieurs publications académiques et de Banques Centrales,<sup>18</sup> et sont diffusées à haute fréquence, par certaines plateformes telles que le V-Lab<sup>19</sup> initié par la NYU Stern School of Business et supervisé par une communauté scientifique réputée, dont un prix Nobel d'économie (Robert Engle). Ces mêmes mesures ont la particularité d'utiliser des données de marché, disponibles à haute fréquence, qui permettent une surveillance active des risques. Dans le contexte actuel de la pandémie du Covid-19 par exemple, le SRISK peut être utilisé pour évaluer l'impact sur le risque systémique des banques marocaines. De ce fait, elles constituent un

---

<sup>18</sup> Durant les trois dernières années, le SRISK par exemple, a été implémenté par plusieurs Banques Centrales (Angleterre, Danemark, Finlande, Italie, Irlande, Luxembourg et les différentes Fed régionales).

<sup>19</sup> « Real-Time Financial Volatility, Correlation, And Risk Measurement, Modeling, And Forecasting ». <https://vlab.stern.nyu.edu/>

complément aux approches comptables, notamment les stress tests, basées sur les bilans bancaires disponibles que quelques fois<sup>20</sup> par an.

### II.2.1 Marginal Expected Shortfall (MES) et Long-Run Marginal Expected Shortfall (LRMES)

Le MES et le LRMES sont des mesures de risque systémique, introduites par Acharya, Engle et Richardson<sup>21</sup>, qui mesurent la perte potentielle, en termes de rendement financier, d'une institution en situation de stress sur le marché (survenance d'un choc). Alors que le MES mesure la perte de rendement potentielle quotidienne, le LRMES mesure la perte de rendement cumulée durant une période plus longue (6 mois généralement). Ainsi, plus le MES (ou LRMES) est grand, plus l'impact du choc sur l'institution est important. L'Annexe 1 présente plus d'informations sur les formulations mathématiques et l'implémentation du MES et du LRMES.

Sur un plan plus technique, il est à noter que ces deux mesures dépendent à la fois des corrélations avec le marché et sa volatilité et de fait sont meilleures que d'autres mesures développées dans la littérature telles que la CoVaR (Conditional Value-at-Risk) par Adrian and Brunnermeier (2016), qui ne dépend que des corrélations. Ainsi la CoVaR est la même pour deux institutions qui ont la même corrélation avec le marché mais des volatilités différentes même si l'une de ces dernières est proche de zéro ; ce qui est censé réduire son risque systémique. Aussi, la CoVaR présente les mêmes défauts que la VaR (Value at Risk) dans le sens où elle ne vérifie pas la sous-additivité (c'est-à-dire que la diversification du portefeuille ne réduit pas systématiquement son risque) et ne donne qu'une borne inférieure de la perte potentielle, contrairement au MES ou LRMES qui sont des mesures de risque cohérentes<sup>22</sup> et renseignent sur la perte potentielle moyenne.

### II.2.2 SRISK

Le SRISK proposé par Christian Brownlees et Robert Engle (2016), est une mesure qui tient compte de la taille de l'actif d'une institution, de l'effet de levier, et de leur sensibilité aux mouvements du marché. La démarche employée diffère ainsi de la majorité des autres mesures dans le sens où celle-ci ne dépend pas uniquement de la volatilité et la corrélation des actifs des banques. Elle associe

---

<sup>20</sup> Depuis l'entrée en vigueur de la norme comptable IFRS 9 en 2018, les bilans comptables des banques marocaines, dont le chiffre d'affaire dépasse 30MMDH, sont disponibles trimestriellement.

<sup>21</sup> Acharya, Engle, et Richardson, « Capital Shortfall ».

<sup>22</sup> Föllmer et Schied, *Stochastic Finance, An Introduction in Discrete Time*.

bilans comptables et informations de marché pour construire une mesure de détresse financière plus avancée. Ainsi, le SRISK mesure la perte potentielle en capital d'une institution suite au déclenchement d'une crise d'ordre systémique, pour tester sa solvabilité à l'image des « stress tests » auxquels les banques sont soumises. Si la perte de capital mesurée est supérieure aux fonds propres disponibles, l'institution est considérée comme représentant un risque systémique. Par conséquent, le risque systémique général du secteur financier est appréhendé à travers la somme des risques systémiques de l'ensemble des institutions. Ce montant correspond aux ressources nécessaires pour renflouer le système financier (recapitalisation des banques par les actionnaires ou les états parfois) en cas de survenance d'une crise systémique.

Christian Brownlees et Robert Engle ont montré que le SRISK représente également un indicateur avancé de la détérioration des conditions macroéconomiques, notamment sur la production industrielle et le taux de chômage<sup>23</sup>. Ce qui illustre bien les retombées négatives du risque systémique sur l'économie réelle. Les auteurs montrent que le SRISK peut s'exprimer en fonction du LRMES, des valeurs de la dette  $D$  et des capitaux propres  $E$  (equity) de l'institution de la façon suivante (voir l'Annexe 1 pour plus de détail) :

$$SRISK_{i,t} = k.D_{i,t} - (1 - k).E_{i,t}(1 - LRMES_{i,t}),$$

où  $k$  est le ratio de capital prudentiel en fonds propres<sup>24</sup>.

Le SRISK peut s'écrire également en fonction de l'effet de levier  $LVG$ <sup>25</sup> de la manière suivante :

$$SRISK_{i,t} = E_{i,t}[k.LVG_{i,t} + (1 - k).LRMES_{i,t} - 1],$$

$$avec, LVG_{i,t} = \frac{D_{i,t} + E_{i,t}}{E_{i,t}}.$$

Ces mesures permettent aussi de faire un classement des institutions en fonction de leurs risques systémiques et peuvent par conséquent être utilisées pour définir la surcharge systémique en fonds propres pour absorber des pertes et compléter

---

<sup>23</sup> Brownlees et Engle, « SRISK: A Conditional Capital Shortfall Measure of Systemic Risk ».

<sup>24</sup> Le ratio  $k$  de fonds propres de base au Maroc en 2018 est égale à 8%.

<sup>25</sup> L'effet de levier désigne l'utilisation de l'endettement pour augmenter la capacité d'investissement d'une entreprise et ainsi maximiser son gain potentiel.

le dispositif applicable aux banques d'importance systémique prévu par le Comité de Bâle<sup>26</sup>.

Enfin, il est important de préciser que ces mesures ne tiennent pas directement compte de toutes les composantes du risque systémique, puisqu'elles calculent celui-ci de manière à évaluer la perte qui surviendrait à la suite d'un événement déclencheur. Elles ne couvrent donc pas certains éléments importants du risque systémique tels que la corrélation des actifs des institutions entre elles, les interconnexions bancaires, ou encore les crises de liquidité ou de confiance, qui sont ici implicitement considérées comme étant les éléments déclencheurs de ce risque mais non mesurés. A noter également que le SRISK combine à la fois des données à haute fréquence (prix de marché quotidien, capitalisation boursière quotidienne ou hebdomadaire) et d'autres à basse fréquence (valeur comptable de la dette).

### III. Méthode d'agrégation et indicateurs retenus

#### III.1 Méthode d'agrégation

La construction de l'IASF passe par quatre étapes. La première étape consiste à définir la liste des indicateurs à retenir et les répartir en cinq sous-indices intitulés : (i) le développement macroéconomique, (ii) le développement financier, (iii) la vulnérabilité du secteur bancaire<sup>27</sup>, (iv) la vulnérabilité du secteur non financier et (v) le risque systémique. Alors que les 4 premières catégories représentent le cœur de la cartographie des risques suivis par Bank Al-Maghrib, nous ajoutons le volet risque systémique, approximé par le MES et le SRISK. Ces mesures sont susceptibles d'améliorer la capacité prédictive de l'indice de stabilité financière<sup>28</sup>. D'autres études démontrent que l'agrégation de divers indicateurs de risque systémique peut améliorer la précision de la prévision de l'activité économique, en particulier dans le cas de récessions sévères<sup>29</sup>.

À la deuxième étape, les variables sont normalisées entre 0 et 1. En effet, chaque réalisation est remplacée par la probabilité que la variable (dont elle est issue)

---

<sup>26</sup> Basel Committee on Banking Supervision, *A Framework for Dealing with Domestic Systemically Important Banks*.

<sup>27</sup> Le système bancaire constituant plus des deux tiers du total des actifs du système financier marocain.

<sup>28</sup> European Central Bank, « A New Financial Stability Risk Index to Predict the Near-Term Risk of Recession », 2018.

<sup>29</sup> Giglio, Kelly, et Pruitt, « Systemic risk and the macroeconomy », 2016.

soit en dessous d'elle : cela correspond à l'image de la réalisation par la fonction de répartition de la variable dont elle est issue.

La troisième étape consiste à attribuer des pondérations au sein de chaque sous-indice : chaque variable est pondérée par son coefficient directeur résultant d'un ajustement affine par rapport à un indice macroéconomique de référence. Dans ce travail de recherche, le PIB<sup>30</sup> a été utilisé.

Enfin, l'IASF est obtenu par la moyenne pondérée diffusée suivant les corrélations temporelles des sous-indices qui sont obtenus à leur tour par la moyenne pondérée des indicateurs qu'ils contiennent. À noter que les corrélations représentent un deuxième jeu de pondération qui permet d'intégrer les interconnexions entre les sous-indices pour favoriser les mouvements conjoints (et tempérer ceux inversés) entre eux et donc, de mieux quantifier la propagation d'un risque systémique par exemple. Chaque étape est détaillée dans ce qui suit.

### III.1.1 Normalisation

Afin d'homogénéiser les différentes données issues de chaque indicateur, nous utilisons la fonction de répartition empirique à l'image des travaux de Hollo et al. (2012) et Duprey et al. (2015). Cela consiste à remplacer la donnée par l'image de la fonction de répartition associée à l'indicateur. En effet, chaque indicateur  $X$  est supposé suivre une loi uniforme discrète entre 0 et 1. Ces réalisations sont ainsi classées de la plus petite  $X_1$  à la plus grande  $X_n$  et se transforment en  $\hat{X}$  (le résultat de la transformation) de la manière suivante :

$$\hat{X} = F_n(X \leq x) = \begin{cases} \frac{j}{n} & \text{pour } X_{[j]} \leq x < X_{[j+1]}, j = 1, 2, \dots, n-1 \\ 1 & \text{pour } x \geq X_{[n]}. \end{cases}$$

Pour s'adapter à la fréquence de disponibilité des données utilisées dans ce travail de recherche, on considère que les indicateurs suivent une loi uniforme continue entre 0 et 1. La transformation devient alors :

---

<sup>30</sup> D'autres travaux de recherche utilisent le PIB comme indice de référence, on cite notamment Manolescu et al. 2017 pour un indice de stabilité financière de la Roumanie.

$$\hat{X} = F(X \leq x) = \begin{cases} \frac{x - X_{[1]}}{X_{[n]} - X_{[1]}} & \text{pour } X_{[j]} \leq x < X_{[j+1]}, j = 1, 2, \dots, n - 1 \\ 1 & \text{pour } x \geq X_{[n]}. \end{cases}$$

La fonction de répartition  $F$  transforme chaque donnée en son quantile correspondant. Ainsi, le résultat  $\hat{X}$  prend une valeur qui oscille entre 0 et 1. Par conséquent, cette transformation tire la même information de chaque indicateur et le normalise pour le rendre homogène et comparable avec les autres indicateurs.

### III.1.2 Pondération

Tous les indicateurs de vulnérabilités n'ont pas le même apport informatif quant à la survenance d'un stress sur le marché financier. Pour cette raison, un jeu de pondération s'impose. Pour la construction de leur indice de stabilité financière pour l'Angleterre, Chatterjee et al. (2017) choisissent une pondération basée sur l'AUROC (Area Under the Receiver Operator Characteristic Curve), qui mesure la capacité prédictive d'un indicateur quant à la survenance d'un stress. La méthode de l'AUROC se base sur un historique de crises majeures affectant le secteur financier (3 pour l'Angleterre) et sur la disponibilité des données sur une durée très importante (45 ans pour l'Angleterre). Pour le Maroc, aucune crise financière majeure dans l'histoire récente n'est à référencer<sup>31</sup>. Ainsi, l'application de l'AUROC dans le contexte marocain semble compromise.

Nous proposons ici une manière plus simple qui augmente le poids des indicateurs dont la tendance se rapproche à celle d'un indicateur macroéconomique de référence choisi : le PIB. Nous effectuons une régression linéaire de chaque indicateur par rapport au PIB et nous retenons la pente en valeur absolue comme numérateur de la pondération<sup>32</sup>.

### III.1.3 Diffusion

La construction de notre indice de stabilité financière repose sur une agrégation qui tient compte des corrélations temporelles entre les différents sous indices. Cette approche a été introduite premièrement par Hollo et al. (2012) dans l'agrégation d'un indice composite de stress systémique avant d'être utilisée par

<sup>31</sup> Le seul épisode de tension financière enregistré dans la base de données du FMI sur les crises bancaires et financières pour le Maroc est la période 1980-1984 (Laeven and Valencia, « Systemic Banking Crises Database II », 2020, IMF Economic Review), qui coïncide avec une crise économique suivie d'un plan d'ajustement structurel.

<sup>32</sup> Appelée Beta Weight, largement utilisée dans la littérature et initiée par Cohen, J., et Cohen, P., 1983.

Duprey et al. (2017) et Chatterjee et al. (2017). Les corrélations temporelles sont considérées dans notre approche comme une deuxième pondération, après celle de la régression linéaire par rapport au PIB, qui renforce les mouvements conjoints pour mieux refléter la variance de l'ensemble à l'image de l'analyse par composante principale. En effet, la différence avec cette dernière, est que suivant les corrélations, la variance de l'indice est totale (tous les indicateurs y contribuent). Alors qu'en utilisant l'analyse par composante principale, les composantes sont choisies suivant deux critères : l'indépendance entre elles et la maximisation de la variance des composantes choisies. La matrice des corrélations est donnée par :

$$C_t = \begin{bmatrix} 1 & \rho_{DM,DF,t} & \rho_{DM,VB,t} & \rho_{DM,RS,t} & \rho_{DM,VNF,t} \\ \rho_{DM,DF,t} & 1 & \rho_{DF,VB,t} & \rho_{DF,RS,t} & \rho_{DF,VNF,t} \\ \rho_{DM,VB,t} & \rho_{DF,VB,t} & 1 & \rho_{VB,RS,t} & \rho_{VB,VNF,t} \\ \rho_{DM,RS,t} & \rho_{DF,RS,t} & \rho_{VB,RS,t} & 1 & \rho_{RS,VNF,t} \\ \rho_{DM,VNF,t} & \rho_{DF,VNF,t} & \rho_{VB,VNF,t} & \rho_{RS,VNF,t} & 1 \end{bmatrix},$$

où  $\rho_{DM,DF,t}$  par exemple, est la corrélation temporelle entre les sous-indices développement macroéconomique et développement financier.

En suivant la méthode de la moyenne mobile exponentielle, les corrélations  $\rho_{x,y,t}$  associées aux covariances  $\sigma_{x,y,t}$  et les variances  $\sigma_{x,t}$  et  $\sigma_{y,t}$ , sont calculées via les relations récursives suivantes :

$$\begin{aligned} \sigma_{x,y,t} &= \theta \sigma_{x,y,t-1} + (1 - \theta)(I_t^x - 0,5)(I_t^y - 0,5), \\ \sigma_{x,t} &= \theta \sigma_{x,t-1} + (1 - \theta)(I_t^x - 0,5)^2, \\ \sigma_{y,t} &= \theta \sigma_{y,t-1} + (1 - \theta)(I_t^y - 0,5)^2, \\ \rho_{x,y,t} &= \frac{\sigma_{x,y,t}}{\sigma_{x,t} \sigma_{y,t}}, \end{aligned}$$

où  $\theta^{33}=0.85$  et  $I_t^x$  est la réalisation à l'instant t du sous-indice x. Ces relations sont initialisées par la valeur moyenne des variances et covariances entre T1 2017 et T4 2009.

<sup>33</sup> Nous choisissons le même paramètre de lissage que Duprey et al. (2017) à savoir  $\theta = 0.85$

Il est à noter que les corrélations croisées ont tendance à contribuer positivement à l'IASF au cours des périodes de stress financier et négativement pendant les périodes calmes ce qui est un atout pour l'IASF, donné par l'équation suivante :

$$I_t^{IASF} = \frac{1}{5} \sqrt{I_t' C_t I_t}, \quad (1)$$

où I est le vecteur formé des cinq sous-indices et I' sa transposée.

### III.2 Indicateurs retenus

Nous retenons d'abord la majorité des indicateurs analysés dans le cadre de la cartographie des risques de Bank-Al-Maghrib. Ces indicateurs ont été identifiés selon un benchmark composé de plusieurs pays et tenant compte de la structure du système financier marocain et ses caractéristiques spécifiques (Rapport sur la Stabilité Financière de Bank Al-Maghrib, 2018). Ils sont constitués de 23 variables couvrant quatre principaux volets : le développement macroéconomique (DM), le développement financier (DF), la vulnérabilité du secteur bancaire (VB) et la vulnérabilité du secteur non financier (VNF). La liste d'indicateurs utilisés dans ce document diffère légèrement de celle retenue dans le rapport de stabilité financière de Bank Al-Maghrib pour l'indice de stabilité financière, notamment le sous-indice VB, puisque nous nous focalisons sur le secteur bancaire uniquement, qui représente 86% du total actif du système financier.

Nous enrichissons ces variables par un volet risque systémique émanant du secteur bancaire (RS) constitué de deux indicateurs, le MES et le SRISK. Ainsi, notre indice peut être considéré comme une version simplifiée de l'indice de stabilité financière proposé récemment par la BCE (2018) qui considère plus de mesures de risque systémique. Le tableau 1 présente l'ensemble des indicateurs retenus. A noter que le signe est inversé (-) pour les variables dont la valeur négative indique la vulnérabilité<sup>34</sup>.

---

<sup>34</sup> On fait l'hypothèse que le stress augmente avec l'inflation et qu'il est inversement corrélé à l'indice boursier MASI par exemple.



Tableau 1. Ensemble des indicateurs retenus dans la construction de l'indice agrégé de stabilité financière

		Indices de vulnérabilités	Indicateurs
Indice agrégé de stabilité financière	Développement macroéconomique - <b>DM</b>		Croissance du PIB (-)
			Inflation
			Crédit Bancaire/PIB
			Solde Budgétaire/PIB (-)
			Dettes extérieures/PIB
			Solde du compte courant/PIB (-)
			RIN/PIB (-)
	Développement financier - <b>DF</b>		Taux de croissance MASI (-)
			Capitalisation boursière/PIB (-)
			Spread de taux d'intérêt (créditeur/débiteur)
			Taux de croissance IPAI (-)
			Crédit immobilier/crédit total
	Vulnérabilité du secteur bancaire ( <i>étant donné sa prédominance dans le système financier</i> ) - <b>VB</b>		Taux de croissance du Crédit Immobilier
			Fonds propres/total actif (-)
			Taux des créances en souffrance CES
			Crédit/dépôts
			Actifs liquides/passifs de court terme (-)
	Vulnérabilité du secteur non financier - <b>VNF</b>		ROA (-)
			Dettes des ménages/PIB
			Taux de croissance des crédits aux ménages
		Dettes aux entreprises/PIB	
		Taux de croissance des crédits aux ENF	
Risque systémique - <b>RS</b>		Dettes trésor / PIB	
		MES	
		SRISK	

## IV. Résultats empiriques

### IV.1 Risque systémique

Le système financier marocain est dominé par le secteur bancaire qui représente la source principale de financement de l'économie marocaine. Nous avons tracé le SRISK et le MES journaliers agrégés<sup>35</sup> des cinq plus grandes banques

<sup>35</sup> L'agrégation est pondérée par la capitalisation de chaque banque.

marocaines en termes de capitalisation boursière<sup>36</sup> entre le 1<sup>er</sup> janvier 2007 et le 15 juin 2018 (Figures 1 & 2). Les deux indicateurs montrent que le secteur bancaire marocain reste généralement résilient face à un scénario de détérioration important subi dans le marché financier. On note en particulier que le SRISK et le MES captent les périodes de stress, notamment celle de la crise des « subprimes » de l'automne 2008.

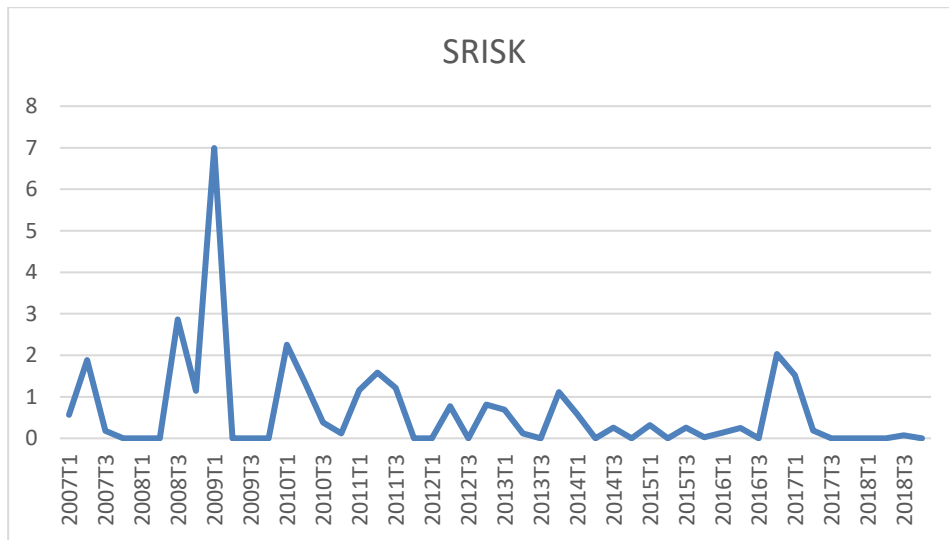


Figure 1. Le SRISK rapporté à la capitalisation boursière des cinq plus grandes banques marocaines en %

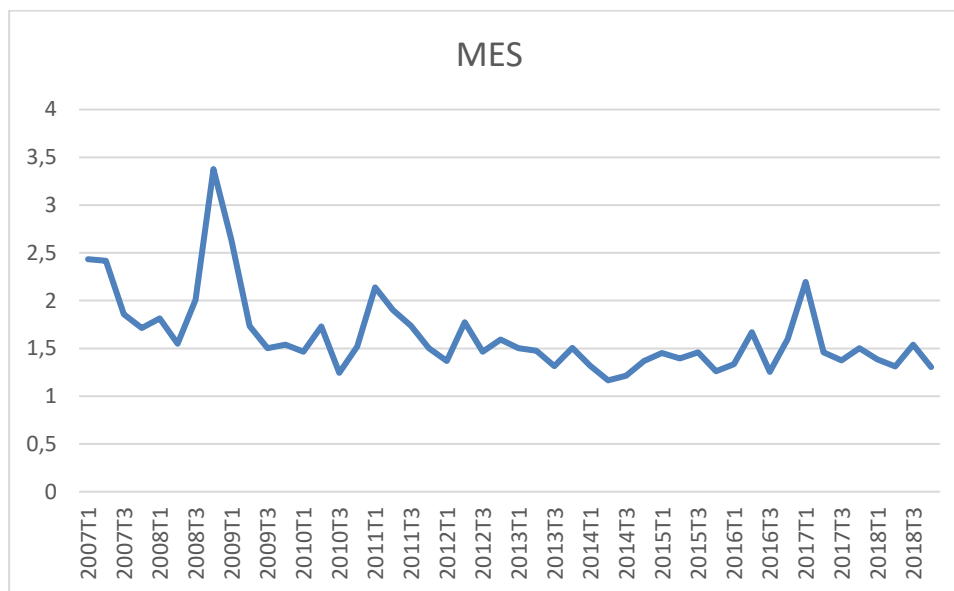


Figure 2. MES pondéré par capitalisation des 5 plus grandes banques marocaines en %

<sup>36</sup> Attijari Wafa Bank (ATW), Bank of Afrika (groupe BMCE), Banque Populaire (BCP), Crédit du Maroc (CDM) et CIH Bank (CIH).

## IV.2 IASF

La Figure 3 montre l'évolution de notre IASF pour le Maroc basée sur l'équation (1) et utilisant des données trimestrielles entre T1 2007 et T4 2018. L'évolution contenue de l'IASF pour le Maroc, confirme que le système financier marocain a fait preuve d'une résilience avérée durant ces dernières années. Néanmoins, l'indice détecte une période de turbulence financière modérée dans les sillages de la crise des « subprimes » entre 2008 et 2009, ainsi qu'un épisode de tension contenue entre 2012-2013.

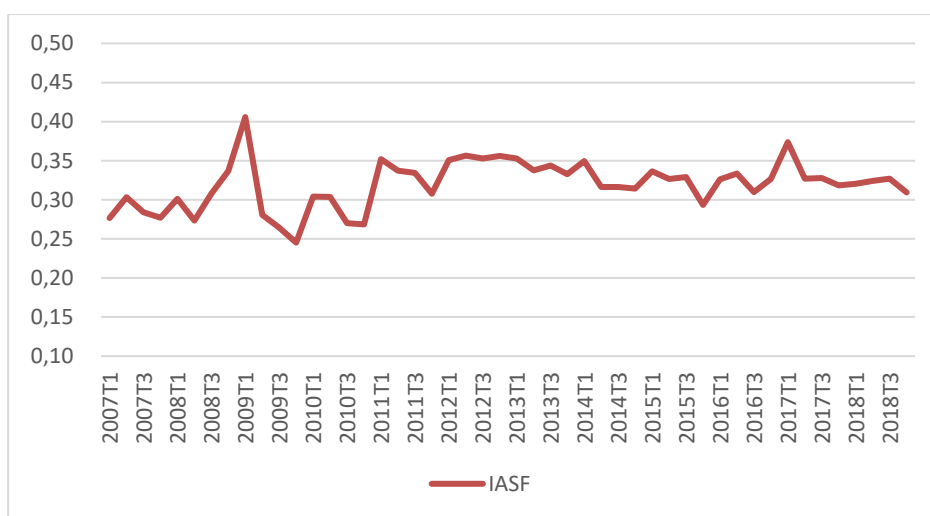


Figure 3. Evolution de l'Indice agrégé de stabilité financière pour le Maroc

La période de 2008 à 2009, a été caractérisée par des tensions financières modérées illustrées par des niveaux élevés de deux sous-indices en particulier, le RS et le DF comme le montre la Figure 4. En effet, le sous-indice de risque systémique a atteint son plus haut niveau durant cette période, notamment au dernier trimestre de 2008, soit le pic de la crise financière des « subprimes ». Le sous-indice développement financier a également enregistré une hausse durant cette période portée par une accélération accrue des crédits immobiliers.

Le stress financier, contenu, entre 2012-2013 s'explique par une progression importante du sous-indice développement macroéconomique dopée par le creusement des déficits jumeaux. Cette période coïncide avec le premier accord au titre de la Ligne de précaution et de liquidité (LPL) conclu en août 2012 entre les autorités marocaines et le FMI.

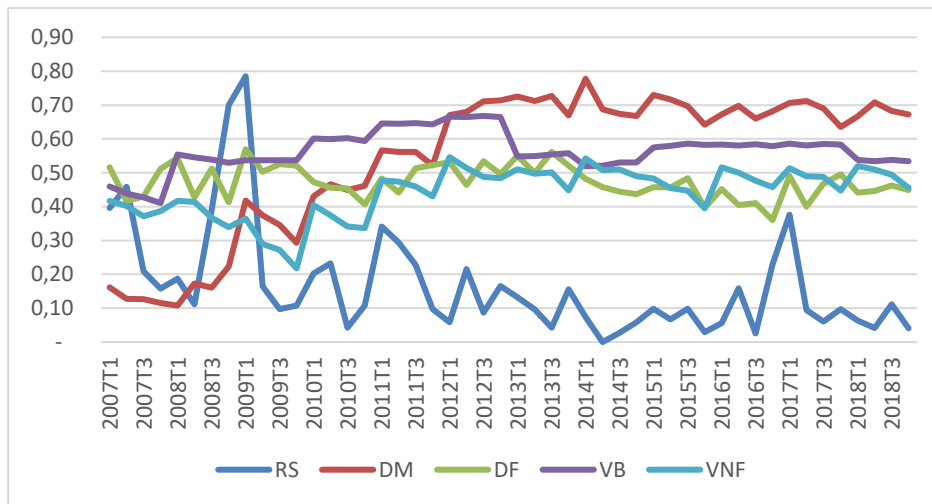


Figure 4. Evolution des cinq sous-indices de l'IASF

## V. Conclusion

La stabilité financière représente une des préoccupations majeures des autorités de surveillance et des Banques Centrales. Ces autorités cherchent de plus en plus à anticiper les périodes de stress financier et repérer les déséquilibres afin de réagir en temps voulu, via l'activation de mesures macroprudentielles, pour empêcher que ces vulnérabilités ne se transforment en crise systémique. La construction d'un IASF représente une des techniques les plus utilisées, pour fournir une analyse globale de la stabilité d'un système financier.

Dans ce document de travail, nous avons construit un nouvel indice agrégé de stabilité financière pour le Maroc (IASF), qui se différencie de l'indice existant notamment par un sous-indice qui capture le risque systémique du secteur bancaire (MES et SRISK), et à travers des techniques de pondération plus avancées. Notre IASF est calculé comme la moyenne pondérée de 25 indicateurs classés en cinq sous-indices : le développement macroéconomique (DM), le développement financier (DF), la vulnérabilité bancaire, la vulnérabilité du secteur non financier (VNF) et le risque systémique (RS). Techniquement, deux méthodes avancées de pondération sont utilisées. Une qui prend en considération l'impact macroéconomique de chaque indicateur, en comparant la tendance de celui-ci à celle du PIB, l'autre qui intègre les mouvements conjoints des indicateurs en diffusant l'IASF suivant les corrélations temporelles des cinq sous-indices qui le constituent.

Bien que l'indice détecte une période de turbulence financière modérée dans les sillages de la crise des « subprimes » entre 2008 et 2009, et une autre contenue entre 2012 et 2013, l'évolution de l'IASF pour le Maroc confirme que le système financier marocain est resté globalement résilient entre 2007 et 2018.

## Bibliographie

- Acharya, Viral, Robert Engle, et Matthew Richardson. « Capital Shortfall: A New Approach to Ranking and Regulating Systemic Risks ». *American Economic Review* 102, no 3 (mai 2012): 59-64. <https://doi.org/10.1257/aer.102.3.59>.
- Adrian, Tobias, et Markus K. Brunnermeier. « CoVaR ». *American Economic Review* 106, no 7 (2016): 1705-41.
- Adrian, T., Boyarchenko, N. and Giannone, D. « Vulnerable Growth » (2016) : <http://economics.mit.edu/files/12746>.
- Aikman, D., Haldane, A. G., & Nelson, B. D. (2014). Curbing the credit cycle. *The Economic Journal*,125(585), 1072-1109.
- Bank Al-Maghrib. « Rapport sur la stabilité financière - Exercice 2016 ».
- Bank Al-Maghrib. « Rapport sur la stabilité financière - Exercice 2018 ».
- Bank for International Settlements, et Basle Committee on Banking Supervision. *A Framework for Dealing with Domestic Systemically Important Banks*. Basel: Bank for International Settlements, 2012. <http://www.bis.org/publ/bcbs224.pdf>.
- Blancher, N., Mitra, S., Morsy, H., Otani, A., Severo, T., & Valderrama, L. (2013). *Systemic Risk Monitoring ('SysMo') Toolkit-A User Guide*.
- Brave, Scott, et R. Andrew Butters. « Monitoring financial stability: a financial conditions index approach ». *Economic Perspectives*, n° Q I (2011): 22-43.
- Brockmeijer, J., Moretti, M., Osinski, J., Blancher, N., Gobat, J., Jassaud, N., & Wu, X. (2011). Macro prudential policy: An organizing framework. IMF, March, 14.
- Brownlees, Christian T., et Robert F. Engle. « SRISK: A Conditional Capital Shortfall Measure of Systemic Risk ». SSRN Scholarly Paper. Rochester, NY: Social Science Research Network, 4 avril 2016. <https://papers.ssrn.com/abstract=1611229>.
- Calvo, Guillermo, Leonardo Leiderman, et Carmen Reinhart. « Capital Inflows and Real Exchange Rate Appreciation in Latin America: The Role of External Factors ». *IMF Staff Papers* 40, n° 1 (1993): 108-51.
- Chatterjee, Somnath, Ching-Wai (Jeremy) Chiu, Sinem Hacioglu Hoke, et Thibaut Duprey. « A Financial Stress Index for the United Kingdom ». *SSRN Electronic Journal*, 2017. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3085789>.
- Drehmann, M., Borio, C. E., & Tsatsaronis, K. (2011). Anchoring countercyclical capital buffers: the role of credit aggregates.
- Duprey, Thibaut, Benjamin Klaus, et Tuomas Peltonen. « Dating Systemic Financial Stress Episodes in the EU Countries ». *Journal of Financial Stability* 32 (octobre 2017): 30-56. <https://doi.org/10.1016/j.jfs.2017.07.004>.
- European Central Bank. « A New Financial Stability Risk Index to Predict the Near-Term Risk of Recession ». European Central Bank. Consulté le 24 novembre 2018. [https://www.ecb.europa.eu/pub/fsr/special/html/ecb.fsrart201805\\_1.en.html](https://www.ecb.europa.eu/pub/fsr/special/html/ecb.fsrart201805_1.en.html).
- European Central Bank. « Rapport annuel 2007 ». Consulté le 24 novembre 2018. <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/annrep/ar2007fr.pdf?c39a781617209fe4878ffb4cac237de4>.
- Föllmer, Hans, et Alexander Schied. *Stochastic Finance, An Introduction in Discrete Time*. 2nd rev. and extend. ed. Berlin, Boston: De Gruyter, 2008. <https://doi.org/10.1515/9783110212075>.
- Gadanecz, Blaise, et Kaushik Jayaram. « Measures of financial stability - a review ». IFC Bulletins chapters. Bank for International Settlements, 2009. <https://econpapers.repec.org/bookchap/bisbisifc/31-26.htm>.
- Giglio, Stefano, Bryan Kelly, et Seth Pruitt. « Systemic risk and the macroeconomy: An empirical evaluation ». *Journal of Financial Economics* 119, n° 3 (2016): 457-71.
- Hollo, Daniel, Manfred Kremer, et Marco Lo Duca. « CISS - A Composite Indicator of Systemic Stress in the Financial System ». *SSRN Electronic Journal*, 2012. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1611717>.

- International Monetary Fund. « Financial Soundness Indicators: Compilation Guide 2019 -- Contents ». <https://www.imf.org/~media/Files/Data/2019/2019-fsi-guide.ashx?la=en>
- Kaufman, George G., et Kenneth E. Scott. *Does Bank Regulation Retard or Contribute to Systemic Risk?*, 2000.
- Lepetit, Jean-François. « Rapport sur le risque systémique », s. d., 108.
- « Real-Time Financial Volatility, Correlation, And Risk Measurement, Modeling, And Forecasting ». V-Lab. Consulté le 24 novembre 2018. <https://vlab.stern.nyu.edu>.
- Manolescu, C. M. et Manolescu, E. « The financial stability index – An insight into the financial and economic conditions of Romania », 2017.
- Staff of the International Monetary Fund and the Bank for International Settlements, and, et the Secretariat of the Financial Stability Board. « Guidance to Assess the Systemic Importance of Financial Institutions, Markets and Instruments: Initial Considerations », octobre 2009. <https://www.imf.org/external/np/g20/pdf/100109.pdf>.
- Taylor, John B. « Defining Systemic Risk Operationally ». In *Book Chapters*. Hoover Institution, Stanford University, 2010. <https://ideas.repec.org/h/hoo/bookch/1-4.html>.
- Thomas F. Coleman, Alex LaPlante, Alexey Rubtsov. « Analysis of the SRISK Measure and Its Application to the Canadian Banking and Insurance Industries ». [springerprofessional.de](https://www.springerprofessional.de). Consulté le 24 novembre 2018. <https://www.springerprofessional.de/en/analysis-of-the-srisk-measure-and-its-application-to-the-canadia/15826232>.

## Annexes

### Annexe 1 : Formules et implémentation

Dans le calcul du SRISK, deux autres mesures de risque systémique interviennent à savoir le MES et le LRMES. Ces deux dernières ont été introduites par Acharya, Engle et Richardson<sup>37</sup>, qui mesurent la perte potentielle, en termes de rendement financier d'une institution en situation de stress financier. Le MES représente la perte en rendement en un jour, conditionnée à une perte importante sur le marché soit l'espérance conditionnelle donnée par :

$$MES_{i,t} = \mathbb{E}_t(-R_{i,t+1} | R_{m,t+1} < C),$$

où  $R_i$  et  $R_m$  sont respectivement les rendements de l'action de l'institution et le rendement du marché (considéré comme le rendement de l'indice MASI pour le Maroc) et  $C$  est une constante (considérée égale à 2%). Plusieurs méthodes sont possibles pour le calcul du MES. Nous avons implémenté d'une part une méthode Nested Monte-Carlo qui fera l'objet d'une publication académique prochainement et d'autre part adapté un algorithme DCC (Dynamic Conditional Correlation) avec une estimation GJR Garch (de Sylvain Benoit et Christophe Hurlin<sup>38</sup>).

Cette dernière consiste à modéliser les rendements de la manière suivante :

$$r_{m,t} = \sigma_{m,t} \varepsilon_{m,t},$$

$$r_{i,t} = \sigma_{i,t} \varepsilon_{i,t} = \sigma_{i,t} \rho_{i,t} \varepsilon_{m,t} + \sigma_{i,t} \sqrt{1 - \rho_{i,t}^2} \xi_{i,t},$$

où  $\sigma_{m,t}$  et  $\sigma_{i,t}$  sont respectivement les volatilités du marché et de l'institution financière  $i$  à l'instant  $t$ ,  $\rho_{i,t}$  est la corrélation entre  $r_{m,t}$  et  $r_{i,t}$  et  $\varepsilon_{m,t}$  et  $\xi_{i,t}$  sont des variables aléatoires normales indépendantes et identiquement distribuées, centrées réduites. Ainsi, le MES peut s'écrire comme suit :

$$MES_{i,t-1} = \sigma_{i,t} \rho_{i,t} E_{t-1} \left( \varepsilon_{i,t} | \varepsilon_{m,t} < \frac{C}{\sigma_{m,t}} \right) + \sigma_{i,t} \sqrt{1 - \rho_{i,t}^2} E_{t-1} \left( \xi_{i,t} | \varepsilon_{m,t} < \frac{C}{\sigma_{m,t}} \right).$$

Les volatilités conditionnelles utilisées dans le calcul de l'espérance conditionnelle dans l'équation précédente sont modélisées à l'aide d'un GJR-GARCH asymétrique spécifié de la manière suivante :

---

<sup>37</sup> Acharya, Engle, et Richardson, « Capital Shortfall » (2012)

<sup>38</sup> Pour plus d'information <https://vlab.stern.nyu.edu/docs/correlation/GJR-DCC>



$$\sigma_{m,t}^2 = \omega_m + \alpha_m r_{m,t-1}^2 + \gamma_m r_{m,t-1}^2 I_{r_{m,t} < 0} + \beta_m \sigma_{m,t-1}^2,$$

$$\sigma_{i,t}^2 = \omega_i + \alpha_i r_{i,t-1}^2 + \gamma_i r_{i,t-1}^2 I_{r_{i,t} < 0} + \beta_i \sigma_{i,t-1}^2,$$

où  $\sigma_{m,t}^2$  et  $\sigma_{i,t}^2$  sont respectivement les volatilités conditionnelles du marché et de l'institution financière  $i$ . Les variables indicatrices  $I_{r_{m,t} < 0}$  et  $I_{r_{i,t} < 0}$  permettent au modèle de saisir les effets asymétriques de l'effet de levier de la volatilité, comme il a été prouvé empiriquement que les chocs négatifs ont un impact plus important sur la volatilité que les chocs positifs<sup>39</sup>.

Pour le LRMES, qui estime la valeur de la perte cumulée sur 6 mois, l'approximation suivante proposée par Acharya, Engle, et Richardson est utilisée :

$$LRMES_{i,t,T} \approx 1 - \exp(-18 \times MES_{i,t}).$$

Le SRISK s'exprime en fonction du LRMES, des valeurs de la dette  $L$  (Liabilities) et des capitaux propres  $E$  (Equities) de l'institution de la façon suivante :

$$SRISK_{i,t} = k \cdot L_{i,t} - (1 - k) \cdot E_{i,t} \cdot (1 - LRMES_{i,t}),$$

où  $k$  est le ratio de capital prudentiel en fonds propres<sup>40</sup>. Il est à noter que le SRISK total du système financier est calculé comme la somme de la partie positive du SRISK de toutes les institutions financières le composant :

$$SRISK_t = \sum_{i=1}^N (SRISK_{i,t})_+.$$

<sup>39</sup> Alexander, C. 2008. Market risk analysis: Practical financial econometrics (vol ii)

<sup>40</sup> Le ratio  $k$  de fonds propres de base Tier 1 au Maroc en 2019 est égal à 8%.