

Econometric methods for financial crises

Citation for published version (APA):

Dumitrescu, E-I. (2012). Econometric methods for financial crises. Maastricht: Universitaire Pers Maastricht.

Document status and date:

Published: 01/01/2012

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.umlib.nl/taverne-license

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

repository@maastrichtuniversity.nl

providing details and we will investigate your claim.

Résumé en Français

Y-a-t-il une chance que le monde ne connaisse plus des crises financières?

Dans une perspective historique, nul ne doute que les crises financières apparaissent plutôt comme la règle et non l'exception (Reinhart et al., 2010; Bordo et al., 2001b). A tel point qu'il serait sans doute fastidieux et quelque peu illusoire de vouloir dresser un simple inventaire historique exhaustif des crises financières à l'échelle internationale allant de l'emblématique crise des tulipes (1636), à la Bulle des Mers du Sud (1720), au krach boursier de 1929, jusqu'aux innombrables crises bancaires, de changes et de dette souveraine qui ont secoué l'économie mondiale à la fin du XX^{ème} siècle et au début de XXI^{ème} siècle (voir Kindleberger, 2000, pour un essai en la matière).

L'objet de cette thèse sera par conséquent plus limité et aura pour ambition de proposer une réflexion sur la faisabilité technique (au sens économétrique) des systèmes avancés de prévision de certains types de crises. Le terme "crise financière" fait en effet référence à une diversité de situations et de mécanismes économiques suivant les marchés ou les institutions qu'elles frappent. Dans ce chapitre introductif, nous considérerons trois principaux types de crises financières, *i.e.* les crises de change, les crises bancaires et les crises de dette (Reinhart et Rogoff, 2008), en insistant tout particulièrement sur les crises de change qui représentent l'objet d'étude principal des applications empiriques proposées dans les chapitres suivants.

Rappelons au préalable brièvement la définition de ces trois types de crises. Dans un régime de change fixe, une crise de change se traduit par l'abandon forcé de l'ancrage de la devise, de sorte que la monnaie est réalignée ou que le régime de change fixe est complètement abandonné. Dans un régime de change flexible, une crise de change se traduit par une forte dépréciation de la monnaie à court terme (Bordo et al., 2001a). Caprio et Klingebiel (1996) définissent les crises bancaires comme des situations où malgré l'insolvabilité d'une partie importante du secteur bancaire, celui-ci reste ouvert. Enfin, une crise de dette correspond à un défaut de paiement (total ou partiel) des obligations de dette, au reniement ou à la restructuration de la dette dans des termes moins favorables que ceux initialement prévus (Reinhart et Rogoff, 2011).

Deux courants de recherche, parfois distincts, parfois liés, ont reçu une attention particulière dans la littérature sur les crises financières depuis les années 90. Le premier courant s'est attaché à expliciter les mécanismes économiques favorisant l'émergence et la diffusion des crises (généralement passées). L'exemple emblématique de ces travaux de

recherche, essentiellement théoriques, est celui des différentes générations de modèles de crises de change apparus depuis la fin des années 80. Parallèlement, un deuxième courant à la fois théorique et empirique, s'est intéressé à la prévision des crises et à la construction de systèmes avancés de détection de crises ou *Early Warning Systems* (EWS). Chaque crise engendrant un regain d'intérêt des autorités de régulation (au sens large) pour les modèles de prévision de crises, cela se traduit généralement par le développement de nouveaux modèles EWS.

Un observateur averti ou candide (suivant les avis) observerait aisément une évolution parallèle entre le nombre de crises financières observées à l'échelle internationales et le nombre d'EWS proposés par la littérature académique et utilisés par les autorités de régulation. A tel point qu'aujourd'hui, certains chercheurs académiques doutent de l'utilité même de ces modèles (cf. Rose et Spiegel, 2010, 2011). D'autres chercheurs au contraire (cf. Frankel et Saravelos, 2011), faisant fi de cette corrélation positive, pensent au contraire qu'il existe fondamentalement un ensemble d'indicateurs avancés pour les crises financières et que l'effort de recherche dans ce domaine doit être maintenu.

Mais ce débat académique sur l'existence même des EWS ne remet pas en cause leur utilité pour les organisations internationales et les autres acteurs de la vie économique. Des institutions si différentes que le Fond Monétaire International, la Réserve Fédérale Américaine, le Crédit Suisse, la Deutsche Bank, la Commission Bancaire Européenne ont besoin de ces modèles pour étayer leur processus de décision, aussi imparfaites soient les prévisions de crises qui en découlent. A cela une raison : il n'existe pas d'alternative objective, en dehors des avis d'experts, pour quantifier et justifier certaines politiques ou prises de décision. Pire encore, la mise en place des EWS est parfois la conséquence de véritables injonctions politiques. Ainsi en 2011, le G20 a décidé que le Fond Monétaire International devrait surveiller les niveaux de dette, de déficits budgétaires et de balances commerciales des pays représentant plus de 5% de l'output cumulé du G20 afin de réduire la probabilité d'apparition d'une autre crise financière globale.

Les EWS, que l'on croit ou non à la possibilité de prévoir les crises financières, sont appelés à jouer un rôle déterminant dans la définition des politiques économiques au niveau microéconomique, de même qu'au niveau macroéconomique et international. A l'extrême le fait de ne pas croire à la possibilité de prévoir les crises financières peut ne pas être antinomique avec le fait de vouloir améliorer les propriétés des EWS. On peut faire ici le parallèle avec la recherche en économétrie théorique sur les prévisions issues des modèles non linéaires : certains tests récents permettent de comparer des prévisions issues de modèles qui peuvent être tous mal spécifiés et de déterminer le "moins mauvais" modèle (Corrandi et Svansson 2006b). Or, dans le domaine des EWS on constate par exemple qu'aucune méthodologie statistique de comparaison des EWS et d'identification du meilleur modèle (ou du moins mauvais suivant les points de vue) n'a pas été proposée à ce jour dans cette littérature.

Ainsi la problématique de notre thèse repose sur deux grandes questions : comment améliorer la spécification des EWS ? et comment déterminer le meilleur modèle prédic-

tif ? Cette thèse essentiellement économétrique s'intéressera successivement à ces deux problématiques en s'appuyant sur les progrès récents dans le domaine de l'économétrie de la prévision, de l'économétrie de panel et de l'économétrie des modèles qualitatifs. Toutefois, avant d'exposer les contributions de cette thèse, nous présenterons un aperçu des principaux avancements théoriques et empiriques en matière d'analyse et prévision de crises financières.

I. Peut-on prévoir les crises financières?

L'approche la plus naturelle de la prévision des crises financières consiste à comprendre les causes des crises passées pour ensuite en déduire une spécification économétrique estimable (sous forme réduite ou non) destinée à prévoir la survenue de ces événements dans le futur. Cette approche sensiblement comparable à celle de la Cowles Commission s'applique par exemple dans le domaine des modèles de prévision de crises de change.

Les modèles dits de "première génération" avaient pour vocation de comprendre l'émergence des crises de changes apparues notamment dans les pays de l'Amérique Latine dans les années 80. Le conflit entre les politiques domestiques (politique monétaire expansionniste, déséquilibres budgétaires persistants) et l'arrimage du taux de change est considéré à l'origine de ces crises. Quand le montant des réserves atteint un niveau critique, les investisseurs lancent une attaque spéculative, ce qui entraîne la consommation rapide des réserves et finalement la modification des taux pivots ou l'abandon de la parité. Dans ce modèle, les choix erronés de politique macroéconomique conduisent à l'accroissement de la vulnérabilité du pays et à l'abandon de l'ancrage de la devise (Krugman, 1979; Flood et Garber, 1984). Les EWS correspondants sont donc fondés sur un ensemble de variables explicatives macroéconomiques.

Malgré les qualités de ces modèles, certains chercheurs considèrent qu'ils ne sont pas une représentation fidèle de la réalité des crises (Obstfeld, 1994; Krugman, 1997). La "deuxième génération" de modèles de crise est ainsi née en réponse à la crise ayant surpris le mécanisme de taux de change européen en 1991 et 1992. Fondés sur une représentation en équilibres multiples, les anticipations des agents dans ces modèles ne dépendent pas des fondamentaux. Bien que l'ancrage de la devise semble soutenable et que la politique macroéconomique apparaît saine, des crises auto-réalisatrices peuvent apparaître dès que la confiance des marchés est entamée. Toutefois, ces théories n'ont pas pu expliquer la crise économique mexicaine (crise Tequila) de 1994-1995 et la crise financière asiatique de 1997-1998. Dans ce contexte, une "troisième génération" de crises qui explore les liens entre les crises de change, les crises bancaires et le secteur financier a émergé. On peut donc observer des déséquilibres de balance de paiement engendrés par des crises provenant d'un autre pays. Ainsi il apparaît que la détérioration de fondamentaux macroéconomiques ne constitue pas un facteur automatique de crise (Masson, 1998). Ce phénomène est ultérieurement connu dans la littérature sous le nom de contagion transfrontière (Bruinshoofd, Candelon et Raabe, 2008). Étant donné l'instabilité d'une multitude de mécanismes financières et bancaires, un large éventail de facteurs

peuvent entraîner le déclenchement d'une crise : des booms des prix d'actifs, des crises de bilan (Schneider et Tornell, 2000); l'accumulation excessive de dette externe (Corsetti, Pesenti et Roubini, 1999), etc. En particulier le cercle vicieux du désendettement peut entraîner des coûts très élevés pour l'économie réelle (Krugman, 2002). Ces modèles essaient par ailleurs d'expliquer la survenue de crises jumelles : crises de change et bancaires (Kaminski, 1999).

Cette succession de modèles de crises et d'explications théoriques donne le sentiment que les modèles "courent" après les crises et pose fondamentalement la question de la prévisibilité des crises de change. L'analyse des trois générations de modèles fait ainsi ressortir leur impuissance à expliquer l'origine des crises futures. Rose et Spiegel (2010, 2011) contestent ainsi l'idée même d'EWS. Pour autant, les coûts sociaux et économiques de ces crises récentes appellent sans équivoque à s'efforcer de construire de tels modèles, si imparfaits soient-ils.

De nombreux articles ont montré que les crises financières engendrent des coûts de sauvetage immenses et qu'elles entraînent de sérieuses conséquences en termes de pertes de production et de détérioration des conditions sociales et de l'emploi. Caprio et Klingebiel (1996) estiment que les coûts de sauvetage représentent en moyenne 10% du PIB, certaines crises étant plus coûteuses que d'autres : la crise mexicaine (1994) a coûté 20% du PIB, alors que la crise du Jamaica (1996) a coûté 37% du PIB. Des coûts supplémentaires, *i.e.* des pertes de production économique (à travers des réductions de l'investissement et de la consommation notamment) sont dues à la fois au rationnement du crédit et à l'incertitude. Un rapport du FMI (1998) estimait que les pays émergents connaissent une perte cumulative de la production réelle d'approximativement 8% lors d'une crise de change sévère. Hoggarth et al. (2002) estiment quant à eux que les crises bancaires coûtent en moyenne 5.6% du PIB et les crises jumelles coûtent environ 29.9% du PIB. En ce qui concerne les pertes cumulatives de production des crises jumelles, celles enregistrées par les pays de l'OCDE (23.8 % du PIB) dépassent les pertes des pays émergents (13.9% du PIB). Dans le cadre de la crise financière globale, le FMI notait en 2009 : "On estime que le PIB mondial (annuel) a baissé de 5% au quatrième trimestre, le déclin le plus significatif ayant été enregistré pour les pays développés (environ 7%)". De tels coûts rendent caduques les arguments de Rose et Spiegel. Les coûts de ces crises sont incommensurablement plus élevés que les éventuels coûts engendrés par des modèles EWS mal spécifiés qui pourraient engendrer par exemple de faux signaux d'alarme. Les autorités de régulation au sens large ont besoin de tels modèles EWS, car la prévision correcte d'au moins une partie des crises financières mondiales, se traduirait certainement par des gains énormes.

Mais au-delà de cet argument d'autorité, revenons à la question de la prévisibilité des crises et au design d'un EWS "optimal". Tout d'abord, force est de constater que l'objet prévu (la crise de change dans notre exemple) n'est pas invariant aux modifications de la politique et de l'environnement économique. En cela, la question de la prévisibilité des crises rejoint la critique de Lucas. Contrairement à la littérature microéconomique

(par exemple sur le risque de défaut individuel ou credit scoring), où la survenue d'une crise (défaillance individuelle) est invariante à l'action menée par la banque, la survenue des crises macroéconomiques peut être affectée par les mesures de politique économique. Ainsi la réalisation ex-post de l'événement (crise ou pas crise dans un schéma binaire) peut ne pas correspondre à la prévision issue d'un EWS simplement en raison des actions de politique économique. Poussons le raisonnement plus loin : un EWS "optimal" est nécessairement un modèle faux au sens de l'erreur de type I puisque la vocation de ce modèle est de prévenir les crises. En cas de prévision de crise, des mesures de politique économique doivent être menées pour l'éviter ou en amoindrir les effets, et ainsi on observera ex-post une erreur de prévision si l'on suppose que la politique économique est efficace. La comparaison ex-post des indicateurs de crises et des probabilités de crise construites ex-ante par les EWS (ne prenant pas en compte l'intervention des régulateurs) doit donc être menée de façon particulièrement prudente.

Par ailleurs, la question se pose de l'horizon de prévision "optimal" des crises. Un EWS n'a de sens que s'il prévient la survenue des crises avec un délai suffisant long pour que les autorités puissent agir pour empêcher la crise et / ou en limiter les effets. Un EWS qui prévoit une crise de change dans la 1/2 heure n'a que peu d'intérêt eu égard aux délais de réaction des autorités monétaires. C'est pourquoi dans cette littérature les horizons de prévision sont généralement plus longs (de l'ordre de 6 mois à 2 ans) que dans la littérature économétrique classique consacrée aux problématiques de prévision.

Enfin, dans un contexte d'interdépendance de institutions financières et des marchés, où des nombreuses interconnexions entre les fondamentaux macroéconomiques et la mise en oeuvre de nouvelles mesures de politique économique existent, la question de l'amélioration des EWS et de leurs capacités prédictives devient cruciale. Cette question est d'autant plus importante que la fragilité financière se transmet facilement entre les pays, générant des crises globales, comme celle que l'on vient de vivre.

II. Early Warning Systems

Deux problématiques émergent dans le cadre de la littérature sur les EWS : la spécification des EWS et leur évaluation. Si la spécification des EWS, au sens économétrique, consiste à définir une fonction de lien entre différents indicateurs avancés et l'observation des crises financières, l'évaluation requiert des procédures de validation des capacités prédictives de ces modèles.

A. Spécification des EWS

Sur le plan technique la spécification d'un EWS comporte trois éléments : (i) une datation des crises, (ii) un ensemble de variables explicatives et (iii) une fonction de lien entre ces indicateurs et les probabilités de crise.

La littérature consacrée aux crises financières est caractérisée par l'absence de datation officielle des crises contrairement par exemple aux cycles économiques (avec notamment la datation "officielle" proposée par le National Bureau of Economic Research pour les Etats-

Unis). Des lors, de très nombreuses méthodes ont été proposées pour identifier les dates d'entrée et de sortie de crise. Dans la plupart des cas, quelle que soit la crise considérée, ces méthodes sont basées sur des indices de pression du marché (voir Jacobs et al., 2004 pour une revue de la littérature). Ceci a des conséquences directes pour la modélisation des EWS. En effet, la variable dépendante intégrée dans un modèle de prévision de crises est généralement constituée par l'output d'un autre modèle, indépendant du modèle de prévision, que l'on qualifiera de modèle de datation. Cet indicateur construit est souvent caractérisé par une dépendance temporelle de type Markovienne souvent négligée en pratique dans la phase de modélisation de l'EWS, en dépit de son importance pour l'inférence statistique (Harding et Pagan, 2011).

Le choix des variables explicatives considérées dans un EWS peut être guidé par la théorie économique (voir la section 6) ou par une approche de type datamining. Jacobs et al. (2004) recensent ainsi le choix d'indicateurs avancés pour les crises de change, bancaires et de dette souveraine et leurs significativités dans un large nombre d'applications empiriques proposées dans la littérature. Plus récemment, Frankel et Saravelos (2010) s'intéressent aux indicateurs avancés pertinents pour la crise du 2008-2009 alors qu'Alessi et Detken (2011) caractérisent les facteurs déterminants des cycles de prix d'actifs en temps réel.

Enfin, la spécification d'un EWS est fondée sur une fonction de lien entre ces indicateurs et les probabilités de crise. Un des premiers EWS, inspiré de la théorie du signal, a été proposé par Kaminski et al. (1998) pour les crises jumelles. Ils définissent un critère "noise-to-signal ratio (NSR)" d'identification du seuil au-delà duquel les indicateurs macroéconomiques signalent une crise. Par conséquent, les capacités prédictives de leur EWS dépendent de ce seuil puisque l'on prévoit l'apparition d'une crise lorsque ce seuil a été dépassé. Depuis ces travaux pionniers, toute une variété de spécifications d'EWS a été proposée dans la littérature. Toutefois, les EWS utilisant des modèles de régression qualitatives (de type logit / probit) restent les plus répandus non seulement dans la littérature académique consacrée aux EWS mais aussi dans la pratique (cf. IMF, Federal Reserve, Deutsche Bank, French Banking Commission, Asian Development Bank). Utilisés pour la première fois dans la littérature sur la prévision des crises de change par Berg et Patilo (1999), il est reconnu que ces modèles sont généralement meilleurs que ceux fondés sur l'approche du signal. Kumar et al. (2002) considèrent ainsi des modèles logit, Bussiere et Fratzscher (2006) proposent un logit multinomial pour capter le biais de l'après-crise et Kamin et al. (2007) fait appel à une approche de type probit. Signalons enfin les travaux de Tudela (2004) basés sur un modèle de durée pour analyser les déterminants des crises de change et de Peltonen (2006) qui considère des réseaux neuronaux. D'autres spécifications fondés notamment sur des modèles de type Markov-Switching ont été proposés (cf. Martinez-Peria, 2002; Abiad, 2003; et Fratzcher, 2003).

Les EWS fondés sur des modèles de régressions qualitatives sont également appréciés dans le cadre de la prévision d'autres types de crises financières. Dans cette perspective, Demirgüç et Detragiache (1998), Eichengreen et Rose (1998), Davis et Karim (2008)

les appliquent à la prévision des crises bancaires, tandis que Detragiache et Spilimbergo (2001), Ciarlone et Trebeschi (2005), Fuertes et Kalotychou (2007) proposent ce type d'EWS pour les crises de dette souveraine. Notons encore que l'analyse de la prévisibilité des crises financières s'est étendue à la suite des événements du 2008-2009. Davis et Karim (2008) analysent des EWS du type logit et arbres binaires dans le contexte de la crise des subprimes. Phillips et Yu (2011), proposent un test diagnostique de bulle spéculative et Jorda et al. (2011), vérifie l'utilité des indicateurs de déséquilibres extérieurs pour prévoir les crises financières au travers de modèles logit.

B. Evaluation des EWS

Force est de constater que très peu d'études ont été consacrées à la problématique de l'évaluation des EWS. En effet, à notre connaissance, mis à part le critère NSR de Kaminski et al. (1998), *i.e.* seuil qui discrimine les périodes de crise et de calme, aucune méthode statistique n'a été proposée pour évaluer les capacités prédictives de ces modèles. Or, le critère NSR ne peut pas être considéré comme satisfaisant car il ne prend pas en compte les deux types d'erreurs (de type I et II). Par ailleurs, aucun test statistique n'a été proposé pour comparer les prévisions issues de deux EWS concurrents.

Cette observation est d'autant plus étonnante qu'un très grand nombre de travaux d'économétrie ont été consacrés à la problématique générale de l'évaluation des prévisions. Les nombreuses avancées économétriques au cours de la dernière décennie, notamment sur la modélisation non-linéaire ont donné lieu à d'innombrables travaux consacrés à la construction et à l'évaluation des prévisions ponctuelles, par intervalle de confiance ou par densité (voir Terasvirta, 2006; West, 2006; Clark et McCracken, 2011, pour quelques revues de la littérature). On distingue les méthodes d'évaluation absolue des méthodes dites relatives ou de comparaison. Les méthodes usuelles de comparaison des prévisions ponctuelles issues de deux modèles concurrents (non-emboîtés ou emboîtés) sont généralement basées sur une fonction de perte associée à la séquence de prévisions (cf. Diebold et Mariano, 1995; Harvey et al., 1997; Clark et McCracken, 2001; Clark et West, 2007). L'évaluation absolue est alors plutôt fondée sur des critères (de type MSFE, MAPE etc.). Mais récemment, toute une littérature s'est développée autour de l'évaluation absolue et relative des prévisions par intervalle de confiance et par densité. Les travaux pionniers de Christoffersen (1998) ont introduit différentes définitions de la validité des intervalles de confiance ainsi que des stratégies de tests de type LR. Bao et al. (2004, 2007), Corradi et Swanson, (2006b) ont quant à eux proposé différents tests de spécification correcte et de comparaison pour les densités de prévision. Notons que ces tests permettent notamment de comparer des densités de prévisions issues de modèles potentiellement mal spécifiés.

Comment expliquer cet écart entre le peu d'intérêt consacré à l'évaluation des prévisions des EWS en particulier et la littérature abondante consacrée à l'évaluation des prévisions issue des modèles (notamment non linéaires) en général ? En quoi l'évaluation des EWS est-elle spécifique ? Techniquement, on peut identifier plusieurs différences entre les deux littératures. Tout d'abord, dans le cas des EWS, l'événement à prévoir, *i.e.*

l'apparition des crises, n'est pas directement observable mais est le résultat d'un modèle de datation. Ensuite, les modèles EWS ont pour output des probabilités de survenues de crise. Mais ces deux différences ne peuvent expliquer à elles seules ce relatif manque d'intérêt pour l'évaluation des EWS. En effet, les EWS ne sont pas les seuls modèles de prévision pour lesquels la variable à prévoir est inobservable : c'est par exemple le cas aussi en économétrie financière avec les prévisions de VaR ou de volatilité. Pour autant, des méthodes d'évaluation robustes ont été proposées (Patton, 2011). De la même façon, d'autres modèles, comme par exemple les modèles Markov Switching, génèrent des probabilités sans que cela empêche l'évaluation des prévisions.

Ce manque d'intérêt est d'autant plus paradoxal que des méthodes d'évaluation des prévisions de probabilités de crise existent, comme par exemple dans le cas des risques individuels (credit-scoring par exemple). Leur transposition à la validation des EWS doit permettre tant une évaluation absolue (par mesure des écarts entre les prévisions et les réalisations) qu'une évaluation relative des modèles (par comparaison de prévisions issues de spécifications alternatives). Mais cette transposition nécessite que l'on adopte une démarche rigoureuse de spécification du modèle et que l'on insiste tout particulièrement sur l'estimation d'un seuil optimal permettant d'identifier de façon optimale les périodes de crise et calme prévues.

III. Contributions

Les objectifs principaux de cette thèse d'économétrie appliquée sont de proposer (i) une méthode d'évaluation systématique des capacités prédictives des EWS et (ii) de nouvelles spécifications d'EWS visant à améliorer leurs capacités prédictives. Ce travail comporte quatre parties.

Les deux premières, correspondant au deuxième et troisième chapitre, relèvent de la problématique générale de l'évaluation des prévisions. Le deuxième chapitre propose un test original de validation des intervalles de prévision applicable notamment aux prévisions issues de modèles non-linéaires (HDR). Le troisième chapitre propose une méthode d'évaluation spécifique aux modèles de type EWS. Notons toutefois le caractère général de cette méthode qui peut être appliquée à la validation des prévisions des modèles de cycle économique et de façon plus générale à l'évaluation de tout modèle dont l'output est une séquence de probabilités.

Les deux chapitres suivants proposent des améliorations des spécifications des EWS pour les crises de change. Le quatrième chapitre insiste sur l'apport de la prise en compte de la dynamique dans la construction des EWS et le cinquième chapitre développe des EWS multivariés qui permettent d'analyser conjointement plusieurs types de crise.

Chapitre 2 : Testing Interval Forecasts: a GMM-Based Approach

Le deuxième chapitre intitulé “Testing Interval Forecasts: a GMM-Based Approach”,¹ à paraître dans la revue *Journal of Forecasting*, propose un test original d'évaluation des prévisions par intervalles de confiances ou High Density Regions (HDR). En effet, bien que les intervalles de confiance constituent la méthode la plus généralement utilisée par les économistes pour rendre compte de l'incertitude sur les prévisions, très peu d'études ont été consacrées à l'évaluation de ce type de prévisions. La seule exception notable étant l'article fondateur de Christoffersen (1998).

Dans ce contexte, nous développons un test original basé sur une statistique de type J (Hansen, 1982) obtenue à partir de moments définis par les polynômes ortho-normaux associés à la distribution binomiale (Bontemps, 2006 ; Bontemps et Meddahi, 2005, 2011). Ce test est de type model-free et peut être appliquée à des prévisions par intervalles de confiance ou HDR issues de n'importe quel type de modèle linéaire ou non.

Le test est fondé sur la notion de violations (Christoffersen, 1998). Une violation est définie comme une situation dans laquelle la valeur réalisée ex-post se situe en dehors de l'intervalle de confiance ou de l'HDR prévu ex-ante. Notre approche originale s'appuie sur la transformation de la série de violations dans une série de sommes de violations définies pour H blocs de taille N. Sous l'hypothèse nulle de validité des intervalles de confiance ces sommes sont distribuées selon une loi binomiale, de sorte que l'analyse de la validité de ces intervalles revient à tester l'hypothèse de distribution binomiale pour le processus de violations. Nous dérivons la distribution asymptotique du test sous l'hypothèse nulle de validité du modèle de prévision.

Notre test GMM présente de très bonnes propriétés à distance finie dans des échantillons de petite taille, puisque la distribution en échantillon fini de la statistique du test est très proche de la distribution du chi-deux indépendamment de la taille de blocs choisie. Plus précisément, si la taille des blocs est petite, le nombre de blocs est important et la statistique converge alors vers sa distribution asymptotique du chi-deux. En revanche, si la taille des blocs est grande, le nombre de blocs est petit et cette convergence en loi ne peut pas être obtenue. Mais dans ce cas, chaque somme de violations tend en distribution vers une loi normale du fait des propriétés de la loi binomiale. Sous l'hypothèse d'indépendance, la statistique du test équivalente à la somme des carrés de variables distribuées selon une loi normale, tend vers une distribution du chi-deux. On retrouve alors la même distribution que la distribution asymptotique. Notre test présente plusieurs avantages. Premièrement, il fournit un cadre unifié qui permet de tester de manière indépendante les hypothèses de couverture conditionnelle, d'indépendance et de couverture non-conditionnelle. Deuxièmement, aucune restriction n'est pas imposée sous l'hypothèse alternative. Troisièmement, notre test d'évaluation est toujours faisable et très simple à implémenter. Par ailleurs, les expériences Monte-Carlo montrent que pour des tailles d'échantillon typiques d'applications sur données réelles, notre test GMM a des très bonnes propriétés notamment en termes de puissance.

¹Ce chapitre de la thèse est issu de l'article Dumitrescu, Hurlin et Madkour (2011), “Testing Interval Forecasts: a GMM-Based Approach”, *Journal of Forecasting* (à paraître).

Chapitre 3 : How to Evaluate an Early Warning System?

Le troisième chapitre intitulé “How to Evaluate an Early Warning System? Towards a Unified Statistical Framework for Assessing Financial Crises Forecasting Methods”,² publié dans la revue IMF Economic Review, propose une méthodologie originale et unifiée d’évaluation des capacités prédictive des EWS. Comme nous l’avons dit précédemment, la validation des prévisions des EWS a effectivement fait l’objet de très peu de travaux dans la littérature. La plupart des études ont jusqu’ici utilisé le critère QPS pour évaluer les modèles et se sont basées sur le seuil déterminé par la méthode NSR de Kaminiski et al. (1998) pour discriminer entre les périodes prévues de crise et de calme. De plus, l’identification du modèle optimale ne fait généralement l’objet d’aucune inférence statistique.

Dans ce contexte, nous proposons une méthodologie d’évaluation originale, de type model-free, qui peut être appliquée à tout type d’EWS, pour toutes les crises financières, que ce soit pour des échantillons d’estimation ou de validation. Cette procédure se décompose en deux étapes. Dans la première étape, on identifie un cut-off optimal, *i.e.* le seuil qui discrimine le mieux entre les périodes prévues de crise et de calme. Cette identification du cut-off optimal est fondé sur les concepts de sensibilité et spécificité. Nous montrons que cette méthode d’identification améliore sensiblement les prévisions comparativement aux méthodes existantes telles que la méthode NSR et / ou le recours à des seuils arbitrairement choisis sans prise en compte des deux types d’erreurs.

Dans la deuxième étape, nous procédons à une évaluation comparative de modèles alternatifs sur la base des critères et de tests statistiques de validation. Nous proposons notamment différents critères de validation (ROC curve) et différents tests (tests d’aire sous la ROC curve) directement inspirés de la littérature sur les modèles de prévision des risques individuels (credit-scoring). Nos analyses, à la fois théoriques et empiriques révèlent l’importance capitale de ces tests (le test de l’aire sous la courbe ROC en particulier) pour l’identification d’un EWS optimal. Nous montrons qu’une évaluation correcte des EWS doit être fondée sur la prise en compte du cut-off optimal dans les deux étapes. Notre méthodologie permet alors d’améliorer sensiblement le diagnostic de performance de différentes spécifications de type EWS.

Nous illustrons cette méthodologie en nous intéressant à la question de la prise en compte du spread de taux dans la prévision des crises pour 12 pays émergents. Il en ressort principalement que le spread est un indicateur notable de crise de change uniquement pour la moitié des pays, si le test AUC est utilisé, alors que les critères usuels (de type QPS) laissaient à penser que ce facteur était important pour tous les pays. De plus, le cut-off optimal identifie correctement plus de deux tiers des périodes de crise et de calme, contrairement au seuil NSR qui n’identifie pas la plupart des crises.

²Ce chapitre est issu de l’article Candelon, Dumitrescu et Hurlin (2012), “How to Evaluate an Early Warning System? Towards a Unified Statistical Framework for Assessing Financial Crises Forecasting Methods”, IMF Economic Review 60(1).

Chapitre 4 : Currency Crises Early Warning Systems: Why They Should Be Dynamic?

Le quatrième chapitre, “Currency Crises Early Warning Systems: Why They Should Be Dynamic?”,³ met en évidence l’intérêt de la prise en compte de la dynamique, *i.e.* de la persistance des crises, dans la prévision des crises.

La dépendance temporelle des indicateurs de crises construits par les modèles de datation a notamment été observée par Berg et Coke (2004). C’est pourquoi dans ce chapitre nous proposons une nouvelle génération d’EWS qui tient compte de la dynamique du phénomène analysé ainsi que du caractère binaire de l’indicateur de crise. Cette dynamique endogène des crises peut, en effet, être intégrée dans le modèle de différentes façons. Une première façon de le faire consiste à considérer l’indicateur binaire retardé de crise dans le modèle. En l’occurrence, la crise se transmet de manière non-linéaire d’une période à l’autre, puisque l’index doit dépasser un seuil afin de déclencher une crise. Un autre moyen est de considérer un modèle autorégressif pour l’index de crise. Finalement, ces deux types de dynamique peuvent être englobés dans une même et seule spécification d’un modèle dichotomique dynamique.

Dans ce contexte, nous proposons le premier EWS fondé sur une spécification dynamique d’un modèle dichotomique estimé par une méthode exacte de maximum de vraisemblance (Kauppi et Saikonen, 2008) et nous testons ces spécifications dans un cadre unifié. Dans la seconde partie de l’article, nous étendons cette approche en panel en nous appuyant notamment sur les travaux récents de Carro (2007). Notre EWS est facile à implémenter pour tout type de crise et peut intégrer des indicateurs macroéconomiques avancés, source de persistance exogène de crise.

Une application empirique sur 15 pays émergents nous permet de comparer les capacités prédictives de notre EWS à celles de deux modèles concurrents : un modèle de type Markov-Switching et un modèle de type logit statique. Pour ce faire, nous utilisons la procédure d’évaluation développée dans le chapitre précédent. Les résultats montrent que les modèles logit dynamiques présentent de bien meilleures capacités prédictives que les modèles statiques et que les modèles de type MS non seulement pour l’échantillon d’estimation, mais aussi pour celui de validation. L’EWS dynamique présente aussi des très bonnes propriétés quant à l’identification des périodes de crise et de calme. Ces résultats montrent que la dynamique des crises doit être considérée dans la spécification des EWS, car elle améliore sensiblement la qualité du signal nécessaire pour prévoir les crises.

Chapitre 5 : Modelling Financial Crises Mutation

Le cinquième chapitre, “Modelling Financial Crises Mutation”,⁴ propose un modèle dynamique multivarié qui analyse conjointement les trois principaux types de crises fi-

³Ce chapitre est issu de l’article Candelon, Dumitrescu et Hurlin (2010), “Currency Crises Early Warning Systems: Why They Should Be Dynamic?”, METEOR Research memorandum RM/10/047.

⁴Ce chapitre est issu de l’article Candelon, Dumitrescu, Hurlin et Palm (2011), “Modelling Financial Crises Mutation”, DR LEO 2011-17.

nancières, *i.e.* les crises bancaires, les crises de change et les crises de dette souveraine. Ce modèle permet par ailleurs d'analyser les schémas de causalité intervenant entre ces différentes crises.

Cet article constitue une extension multivariée des EWS qui s'intéressent seulement au cas de crises jumelles (Glick et Hutchinson, 1999). Pour ce faire, on considère une approche méthodologique originale fondée sur l'estimation d'un modèle probit dynamique multivarié par la méthode du maximum de vraisemblance exact. Ainsi, nous étendons la spécification de Huguenin et al. (2009) aux modèles dynamiques et les spécifications de Kauppi et Saikonen (2008) aux modèles multivariés.

L'illustration empirique montre clairement que le modèle trivarié améliore le modèle bivarié pour les pays qui connaissent les trois types de crises, alors qu'en bivarié la causalité entre les crises bancaires et les crises de change (et à l'inverse) est fréquente. L'avantage essentiel de cette méthodologie consiste à identifier les schémas de contagion d'un type de crise à l'autre: soit c'est le résultat des chocs communs (comme en Afrique du Sud), soit c'est due à une structure causale forte (comme en Equateur). Les graphiques des probabilités conditionnelles et l'analyse des fonctions de réponse confirment nos résultats et mettent en évidence les mécanismes de diffusion des trois types de crise. La possibilité que les crises se transforment devrait alors être prise en compte plus souvent dans la spécification des EWS, afin de les rendre plus efficaces.

Finalement, le sixième chapitre résume les principaux résultats de cette thèse et expose plusieurs pistes de développements.

Nederlandse samenvatting

Dit proefschrift presenteert vier artikelen die op een verschillende manier bijdragen aan de literatuur over de Early Warning Systems. In het kielzog van de wereldwijde financiële crisis, zijn er vele vragen gerezen met betrekking tot het voorspellende vermogen van EWS omdat zeer weinig signalen zijn getrokken tot aan het begin van het oproer. Twee onderzoeksonderwerpen zijn relevant voor deze literatuur, namelijk de specificatie van EWS en de evaluatie van deze modellen. De meeste artikelen in de literatuur focussen op het eerste onderwerp. Ze bekritisieren de oorzaken van de crisis, i.e de voornaamste indicatoren in EWS, en/of stellen nieuwe methodologiën voor om de link tussen de crisis indicator en de macro-economische en financiële variabelen te benaderen. In tegenstelling, de literatuur over EWS evaluatie is schaars. Voor zover wij weten, is er tot nu toe nog geen formele evaluatie methodologie voor het voorspellende vermogen van een EWS. Dit proefschrift draagt bij aan beide onderzoeksrichtingen.

De voornaamste doelen van dit proefschrift zijn daarom het voorstellen van voorspellende evaluatie methoden voor non-lineaire modellen (in het bijzonder, een verenigde evaluatie methodologie voor EWS), als ook het introduceren van methodologische noviteiten gebaseerd op recente econometrische ontwikkelingen in de specificatie van EWS, zodoende een verbetering van hun voorspellende vermogen. Hoofdstuk 2 en hoofdstuk 3 onderzoeken het eerste doel, terwijl hoofdstuk 4 en hoofdstuk 5 het tweede doel analyseren.

EWS evaluatie is essentieel voor de preventie van crisissen. Vele EWS specificaties zijn voorgesteld in de literatuur en verschillende conclusies zijn getrokken met betrekking tot het belang van bepaalde toonaangevende indicatoren voor verschillende crisissen. Een accurate vergelijking van het relatieve voorspellende vermogen van deze modellen en een duidelijke analyse van hun absolute voorspellende vermogen lijkt daarom noodzakelijk. In hoofdstuk 2 en 3 vullen we deze opening in de literatuur door twee voorspellende validatie methodologiën voor te stellen: een ontworpen voor interval voorspellingen, en een toolbox die ieder model evalueert en de kans voortbrengt om een gebeurtenis te observeren (crisis, recessie, etc.). Ten eerste, stellen we een model vrije test voor, voor interval voorspellingen en High Density Regions gebaseerd op de GMM methode voorgesteld door Bontemps (2006) en Bontemps en Meddahi (2005, 2011). Onze test heeft hele goede power eigenschappen voor realistische steekproefgrootten en stelt ons in staat om onafhankelijk de drie hypothesen van conditionele dekking, onafhankelijkheid en onconditionele dekking te testen. Ten tweede, introduceren wij een origineel, tweestaps model vrije evaluatie

methodologie speciaal ontworpen voor EWS modellen voor ieder type crisis. Een originele methode om de grens te identificeren, i.e. de drempel die het beste onderscheid maakt tussen crisissen en kalme perioden is voorgesteld. Daarnaast worden verschillende vergelijkings testen gebruikt om het relatieve voorspellende vermogen te analyseren van EWS. Hierdoor zijn we in staat om te laten zien dat alleen voor Zuid-Aziatische landen het renteverskil een belangrijke indicator van valuta crisissen is en niet voor alle landen zoals in eerste instantie werd gedacht.

Om het voorspellende vermogen van EWS modellen te verbeteren moet rekening gehouden worden met verschillende karakteristieken van financiële crisissen die niet eerder in de literatuur onderzocht zijn (bijvoorbeeld het voortduren van crisissen en de mogelijkheid tot spill-over naar andere markten). We dragen daarom bij aan de literatuur over EWS specificatie door nieuwe methodologiën voor te stellen, die informatie bevatten met betrekking tot het overheersende regime in de vorige periode en/of in andere markten, i.e. crisis dynamiek en mutatie. Deze verbeteringen van bestaande binaire EWS worden besproken in hoofdstuk 4 en 5. We laten zien dat in het geval van valuta crisissen dynamische modellen beter presteren dan Markov-switching en statische logit modellen zowel in de steekproef als buiten de steekproef. Bovendien, een multivariabel model dat de drie belangrijkste types van financiële crisissen bevat, i.e. banken, valuta en staatsschuld laat ons de mogelijke causaliteit tussen crisissen onderzoeken: dit kan veroorzaakt worden door gemeenschappelijke schokken (zoals in Zuid Afrika) of door een sterk causaal verband (zoals in Ecuador). Spaarzamer dan bivariabele modellen, zou het wanneer mogelijk geïmplementeerd moeten worden.