

STRUCTURE NON-LINÉAIRE DU TAUX DE CHANGE ET UNE PROPOSITION DE MODÉLISATION

Dr. Akın Usupbeyli
Ankara Üniversitesi
Siyasal Bilgiler Fakültesi



Resumé

Le marché de change est composé par de différents types d'agents et les anticipations sont un processus mixte qui varie en fonction de ces différents types des agents. L'interaction entre ces différentes catégories d'opérateurs peut impliquer une alternance de périodes de hausse et de baisse ainsi qu'un délai dans l'ajustement à la valeur d'équilibre. En plus, la présence des coûts de transactions dans le marché de change entraîne des déséquilibres restant non corrigés. Ces facteurs ont des implications importantes sur le processus d'ajustement du taux de change vers sa valeur d'équilibre et y injectent un caractère non linéaire en provoquant de l'incertitude sur les marchés des changes. Dans ce cas, il est difficile d'analyser la dynamique des taux de change en présence de frictions dans le marché des changes en retenant le cadre empirique des modèles linéaires standards. Par contre, le modèle STECM nous fournit une méthodologie qui permet d'étudier la non linéarité d'ajustement du taux de change vers sa valeur d'équilibre.

Mots clés: Marché de change, coût de transaction, taux d'équilibre, dynamique d'ajustement, STECM

Döviz Kurunun Doğrusal Olmayan Yapısı ve Bir Modelleme Önerisi

Özet

Döviz piyasası farklı davranışa sahip ekonomik oyuncuların oluşur ve beklentiler bu oyuncuların davranışlarına bağlı olarak değişiklik gösteren bir ortak süreçtir. Farklı yapıdaki bu oyuncuların etkileşimi kurun denge değerine intibak sürecinde aşağı veya yukarı yönlü dalgalanmalara ve gecikmelere yol açar. Ayrıca, döviz piyasasındaki işlem maliyetlerinin varlığı da düzeltilmemiş kalıcı dengesizliklere neden olmaktadır. Bu faktörler, döviz kurunun denge değerine intibak sürecini önemli düzeyde etkiler ve döviz piyasasında belirsizliğe yol açan doğrusal olmayan bir durum yaratır. Bu durumda, piyasadaki pürüzlerin varlığı döviz kuru dinamiğini standart doğrusal modellerle analiz etmemizi güçleştirir. Ancak, STECM modeli, bize döviz kurunun denge değerine intibakını inceleyebileceğimiz doğrusal olmayan bir yöntem sağlamaktadır.

Anahtar Sözcükler: Döviz kuru piyasası, işlem maliyetleri, denge oranı, intibak dinamiği, STECM

Structure Non-Linéaire du Taux de Change et une Proposition de Modélisation

Introduction

L'implémentation empirique des modèles des taux de change d'équilibre se fonde généralement sur l'estimation d'une relation de cointégration entre le taux de change et ses facteurs fondamentaux. (Usupbeyli, 2011). L'ajustement du taux de change réel vers cette relation de long terme donnée par ces modèles peut alors être décrit par un modèle à correction d'erreur (MCE).¹

Le concept de cointégration est employé afin de capturer la notion selon laquelle les variables non stationnaires peuvent posséder une relation d'équilibre de long terme, et avoir donc tendance à se déplacer ensemble dans le long terme (voir Granger (1986) et Engle et Granger (1987)). La cointégration a été utilisée pour examiner, entre autres, la relation entre la consommation et le revenu (Campbell (1987)), les cours des actions et des dividendes (Campbell et Shiller (1987)), la demande de monnaie (Johansen et Juselius (1990)) et la parité de pouvoir d'achat (PPA) (Corbae et Ouliaris (1988)). Les systèmes, dans lesquels les variables sont cointégrées, peuvent être caractérisés par un MCE. Ce MCE décrit comment les variables répondent en dynamique aux écarts à l'équilibre. Nous pouvons considérer le MCE comme un modèle décrivant le processus d'ajustement de court terme vers l'équilibre de long terme.

¹L'une des contributions les plus importantes de Denis Sargan (1964) à la modélisation macroéconomique est l'idée de séparer le long terme du court terme lors de la modélisation des relations dynamiques entre les variables économiques, voir Sargan (1964). Le modèle à correction d'erreur a depuis gagné en popularité qui a encore été renforcée par l'émergence de la théorie de la cointégration.

Implicite dans une grande partie de la discussion sur la cointégration, une hypothèse sous-jacente au MCE est que les taux d'ajustement vers l'équilibre de long terme sont constants sur la période analysée. Autrement dit, le processus d'ajustement est linéaire, c'est-à-dire continu et à vitesse constante.

Par ailleurs, le modèle à correction d'erreur a été étendu au cas d'un ajustement non linéaire (voir Escibano (1997)). La présence de coûts de transaction, de frictions du marché, d'effets de contagion et d'interdépendance et l'hétérogénéité des participants sur le marché des changes peuvent empêcher des agents économiques de s'adapter en permanence. Peters (1994) a étudié les comportements des agents intervenant sur le marché des changes et, en se focalisant sur les différences d'anticipations, d'horizons temporels et de degrés d'aversion au risque, montre que l'hétérogénéité des investisseurs, qui répondent différemment aux nouvelles informations ("news"), peut générer des dynamiques non linéaires pour le taux de change (Lardic et al (2003)). Il est donc possible que l'ajustement vers l'équilibre de long terme ne se réalise pas à chaque période ou avec la même vitesse d'ajustement. Flood et Taylor (1996) aussi suggèrent que l'ajustement vers un équilibre fondamental peut ne pas être continu mais peut dépendre de l'ampleur de l'écart par rapport à l'équilibre. Ce n'est que lorsque l'écart à l'équilibre dépasse un seuil critique et que les avantages de l'ajustement excèdent les coûts que les agents économiques agissent pour forcer le système à un retour vers l'équilibre (Balke et Fomby (1997)). Dans ce cadre, il existe donc deux dynamiques différentes engendrant des non linéarités : une dynamique qui traduit les mouvements du change entre les bandes et une autre dynamique qui modélise les fluctuations du taux de change à l'extérieur des bandes. (Dumas (1992), Sercu, Uppal et Van Hulle (1995))

L'utilisation des modèles non linéaires a permis d'exploiter le comportement non linéaire présumé des taux de change. En effet, contrairement au modèle linéaire, l'ajustement des taux s'avère persistant, non linéaire et caractérisé par des régimes différents avec un retour à l'équilibre dont la vitesse de convergence varie avec l'ampleur des déviations des taux par rapport à cet équilibre. Ce type de modélisation a fourni une approche particulièrement novatrice et adéquate pour reproduire les non linéarités inhérentes aux données observées.

Ce travail propose une approche empirique de la modélisation du taux de change réel dans un cadre non linéaire justifié par l'existence de coûts de transaction. Dans ce cadre nous recourons aux modèles STAR (Smooth Transition Autoregressive) et à la notion de cointégration à seuil. Les écarts du taux de change par rapport au taux de change d'équilibre peuvent ainsi être persistants à l'intérieur d'une zone de non échange. Cependant à l'extérieur de cette même zone, c'est-à-dire une fois que les déviations du change dépassent

le seuil déterminé par les coûts de transaction, ces déviations suivent un processus caractérisé par un retour à la moyenne, la vitesse de convergence dépendant de l'amplitude initiale de la déviation.

Le présent travail s'articulera autour de deux sections. La première section sera consacrée aux justifications économiques de la présence de non linéarités dans le taux de change et la seconde section proposera une formulation théorique du modèle STECM (*Smooth Transition Error Correction Model*).

1. Dynamique non linéaire du taux de change

Concernant le marché de changes, plusieurs travaux récents suggèrent que la dynamique d'ajustement des taux de change est caractérisée par des non linéarités. Dumas (1992), Kräger et Kugler (1993), Sercu, Uppal et Van Hulle (1995), Obstfeld et Taylor (1997), Michael, Noble et Peel (1997), Michael, Peel et Taylor (1997), Martens, Kaufman, et Vorst (1998) et Coakley et Fuertes (2001) mettent en évidence l'existence d'un effet de seuil de non linéarité au sein des taux de change réels et nominaux. Ces auteurs montrent que la dynamique des taux de change peut être caractérisée par différentes sources de non linéarités

L'objet de cette section est de discuter des justifications de l'asymétrie, la persistance et la non linéarité caractérisant les dynamiques des taux de change. Pour ce faire, nous explorons l'hétérogénéité des investisseurs et les coûts de transaction.

1.1 Hétérogénéité des investisseurs

Sarantis (1999) admet que l'hétérogénéité des participants au marché des changes est la source majeure de la non linéarité de la dynamique de taux de change. En se fondant sur le modèle de taux de change de Dornbusch (1976), De Grauwe et Dewachter (1993) montrent que l'interaction entre ces différentes catégories d'opérateurs peut impliquer une alternance de périodes de hausse et de baisse ainsi qu'un délai dans l'ajustement des cours boursiers à leur valeur d'équilibre. Les marchés sont composés d'agents aux comportements hétérogènes et aux mécanismes d'anticipations différenciés (par exemple *noise traders* et *arbitrage traders*, chartistes et fondamentalistes etc.). Leurs degrés de perception de l'information et leurs horizons d'investissement diffèrent les uns des autres, ce qui produit une hétérogénéité dans leurs modes de calculs ainsi que dans leurs anticipations.

1.1.1 Fundamentalistes vs Chartistes

Une des explications de la non linéarité due à l'hétérogénéité est l'interaction entre deux groupes d'agents ayant des comportements financiers différents : les chartistes et les fundamentalistes. Dans leur travail pionnier, Frankel et Froot [1986, 1990] proposent un modèle « chartiste et fondamentaliste » qui a été développé par De Grauwe et Dewachter [1992, 1993], De Grauwe [1994] et Youssefmir et al. [1994]. Dans ces modèles, le taux de change observé à chaque instant sur le marché résulte de l'interaction de deux types d'agents : les agents chartistes, qui extrapolent les mouvements passés des cours et dont l'action conduit le taux de change à s'écarter de sa valeur d'équilibre et les agents fundamentalistes qui prévoient un retour vers la valeur fondamentale et donc qui maintiennent le taux de change autour d'une valeur correspondant aux déterminants économiques fondamentaux (Bessec et Robineau, 2003).

Le modèle de Frankel et Froot (1990) décrit l'impossibilité d'expliquer certaines variations de changes par une approche exclusivement basée sur les fondamentaux du marché. Les deux types d'investisseurs adoptent des stratégies différentes lorsqu'ils prennent leurs décisions. L'analyse des fundamentalistes se fonde sur la valeur fondamentale du taux de change : ils vendent une devise si son cours est supérieur à sa valeur fondamentale, et l'achètent dans le cas inverse. Bessec et Robineau (2003) considèrent ce comportement comme stabilisateur, dans la mesure où il fait converger le taux de change vers sa valeur d'équilibre. Quant aux chartistes, ils n'accordent qu'une confiance très limitée aux fondamentaux du marché. Pour eux, la priorité est l'observation de tendance passée des cours, indépendamment des fondamentaux, afin de repérer les configurations haussières ou baissières les plus marquées et d'en déduire leurs décisions d'achat et de vente. Ce faisant, ils peuvent néanmoins conduire le prix à s'écarter de sa valeur d'équilibre, ce qui rend le comportement chartiste déstabilisant. Par ailleurs, le poids de chaque catégorie d'agents dans la formation des changes est susceptible de varier au cours du temps, pouvant ainsi conduire à des périodes à dominante fondamentaliste et d'autres à dominante chartiste.

A cet égard, Berdot et Léonard (2004) considère que les périodes de relativement forte volatilité des taux de change sont associées à de fortes proportions d'intervenants de nature chartiste sur le marché. En revanche, les auteurs indiquent que les périodes où la volatilité des prix est relativement faible reflèteraient la domination des agents fundamentalistes. Le marché combine ainsi des agents rationnels fundamentalistes et des agents chartistes, imparfaitement rationnels, qui perturbent le comportement des intervenants rationnels. Berdot et Léonard (2004) concluent que, à la différence des premiers, les seconds réagissent à la dynamique des taux en allant dans son

sens : ayant une confiance excessive eu égard aux tendances du marché, ils sous-estiment systématiquement les risques de leurs positions en surestimant la volatilité potentielle des taux.

Cependant, De Grauwe et Dewachter (1993) montrent que, en appliquant un modèle monétaire développé par Frankel et Froot (1990) au marché des changes, les périodes de forte volatilité sont marquées par la prépondérance des fundamentalistes, tandis que les périodes de faible volatilité sont marquées par la prépondérance des chartistes qui est strictement le contraire qui doit se réaliser. Selon leur résultat, au fur et mesure que le taux de change courant est proche de sa valeur fondamentale, la proportion des fundamentalistes intervenant au marché est faible et donc celle des chartistes est forte. Dans ces cas, Berdot et Léonard (2004) admettent qu'une évaluation relativement précise de la valeur d'équilibre du taux de change par les fundamentalistes, assortie d'un taux de change courant proche de cette valeur fondamentale, signifie la quasi-disparition de fait des fundamentalistes du marché : ils n'ont effectivement aucune raison d'intervenir afin de bénéficier de l'écart entre valeur fondamentale et valeur courante du taux de change. Dans ces conditions, c'est les chartistes qui dominent presque entièrement le marché. Inversement, plus le taux de change s'éloigne de sa valeur fondamentale, plus la proportion des chartistes baisse puisque les activités rééquilibrantes des fundamentalistes sont d'autant plus importantes que le taux de change dévie de sa valeur fondamentale. Berdot et Léonard (2004) concluent que la volatilité du taux de change sera d'autant plus importante que le poids des fundamentalistes est élevé, en d'autres termes que le taux de change courant est a priori écarté de sa valeur fondamentale.

Vigfusson (1997) teste le modèle aux agents chartistes et fundamentalistes de Frankel et Froot (1990) en proposant un modèle à changements de régimes markoviens à deux états. Dans le premier état, la dynamique des taux de change est gouvernée par les opérations des agents fundamentalistes. Vigfusson (1997) utilise deux modèles de fondamentaux distincts afin de décrire les actions des fundamentalistes: le premier modèle se fonde sur la parité des pouvoirs d'achat alors que le deuxième est basé sur les termes de l'échange. Dans le second régime, les comportements chartistes dominent le marché. Vigfusson(1997) suppose que leurs décisions d'achat et de vente se fondent sur la comparaison de deux moyennes mobiles des taux de change : l'une est calculée sur un intervalle de temps relativement court et la deuxième sur un intervalle de temps plus important. Selon les résultats de Vigfusson (1997) qui couvrent la période de janvier 1983 à décembre 1992, le taux de change alterne entre un régime relativement calme, dominé par les opérateurs chartistes, et un régime fondamentaliste plus court et plus volatile.

Murray, Van Norden et Vigfusson [1996], Antia et al. (2000), Ahrens et Reitz (2000), Djoudad et al. (2001) adoptent aussi cette approche *fondamentalistes-chartistes* dans leurs applications. Leurs résultats décrivent les implications en termes de politique économique d'un tel modèle : les mouvements brutaux des taux de change sont associés aux interventions correctrices des agents fondamentalistes et non à l'activité spéculative des chartistes. Ces mouvements correspondent donc à un ajustement nécessaire du taux de change lorsque la déviation de ce dernier de ses fondamentaux est très important. Ils concluent que des mesures de régulation des marchés telles la taxe Tobin ou d'autres formes de contrôle des prix, ainsi qu'une politique de change active visant à empêcher la volatilité excessive des prix, sont inutiles voire néfastes. Les auteurs ajoutent que toutes ces mesures de régulations et les autorités monétaires doivent agir de façon à soutenir ces mouvements et non s'y opposer, puis que les phases d'instabilité du marché, dominées par les fondamentalistes, correspond à des périodes de réajustement nécessaires des taux de change vers leurs fondamentaux et non à des comportements spéculatifs déstabilisateurs.

Cette distinction pourrait cependant avoir perdu de sa pertinence du fait que les pratiques modernes intègrent aujourd'hui les deux stratégies, chaque opérateur choisissant les pondérations qu'il souhaite assigner respectivement aux facteurs fondamentaux et à l'analyse technique des données. Bessec (2005) réalise une enquête auprès de quatre-vingt chercheurs français. Elle en conclut que si les économistes supposent que les variables fondamentales ont une influence sur la dynamique des taux de change à moyen et long terme, la majorité d'entre eux refuse tout lien exploitable entre les taux de change et les déterminants économiques et se reposerait plutôt sur des techniques chartistes de courte période. Autrement dit, les opérateurs réfèrent principalement aux techniques chartistes à court terme, alors que le poids de ces dernières baisse en faveur des techniques fondamentalistes avec l'horizon de prévision. Nous pouvons comprendre alors l'intérêt croissant que soulèvent dans la littérature économique les modélisations récentes qui intègrent les microstructures des marchés, l'hétérogénéité des anticipations et les mécanismes d'interaction entre opinions divergentes.

1.1.2 Noise traders vs Arbitrage traders

Une autre explication possible des non linéarités dans le comportement du taux de change est basée sur l'asymétrie de l'information, émanant de l'interaction entre les *noise traders* (agents perturbateurs) et *arbitrage traders* (agents informés). De Long et al (1990) définissent ces *noise traders* comme des investisseurs qui fondent leur décision d'investissement sur des signaux

erronés et qui pensent de manière irrationnelle, alors que les investisseurs informés forment leurs anticipations sur les fondamentaux de l'économie et agissent sur la base de cette connaissance. L'irrationalité des *noises traders*, chez De Long et al. (1990), provient non d'un défaut d'optimisation mais d'une méconnaissance des données qui déterminent la valeur fondamentale.

Le modèle de *noise trader* de De Long et al (1990) a pour objectif d'évaluer les effets des comportements perturbateurs sur la formation des prix des actifs. Les auteurs montrent en particulier la possibilité de situations inefficaces durables sur le marché financier. Ce modèle critique la conception du processus d'arbitrage proposée par Friedman (1953), fondée sur l'efficacité du processus d'arbitrage, en montrant que l'arbitrage est risqué et de ce fait, limité. Selon ce modèle, les agents bien informés des fondamentaux ne sont pas entièrement capables d'éliminer l'influence sur le prix des actifs des *noise traders*. Leur opposition se fonde sur l'idée que dès que les *noise traders* interviennent sur les marchés, les agents bien informés ne décident pas seulement selon la connaissance des données fondamentales de l'économie, mais doivent aussi prendre en considération les anticipations des *noise traders*.

Cootner (1962) suggère que les activités des *noise traders* causent des fluctuations des prix autour de l'équilibre et déclenchent ainsi des activités d'arbitrage par les investisseurs informés qui poussent les prix à revenir à l'équilibre. L'article plus récent de Hong et Stein (1999) suggère que les *noise traders* s'engagent typiquement à la recherche de tendances (*trend chasing*), qui mène le marché à une surréaction après l'arrivée de nouvelles informations. Les investisseurs d'arbitrage sont soumis à une source de risque supplémentaire, celui de l'aggravation des faux-prix (*mis-price deepening*) (Shleifer, 2000), parce que les comportements des *noise traders* peuvent pousser les taux de change à des valeurs extrêmes avant que ceux-ci ne soient soumis à la correction des investisseurs d'arbitrage. (McMillan, 2005)

Pourtant, l'incertitude, issue des *noise traders*, décourage les investisseurs informés et limite leurs positions à l'encontre des anticipations des *noise traders* ; ainsi l'écart entre le taux et sa valeur fondamentale peut ne pas se résorber, voire s'aggraver. Or, en limitant ainsi l'arbitrage des investisseurs informés, les *noise traders* engendrent l'inefficacité dans le marché financier et conduisent à une divergence significative et persistante entre le taux observé et sa valeur fondamentale et le retour à l'équilibre fondamental est susceptible d'être très lente. Les investisseurs informés anticipent alors un taux différent de sa valeur fondamentale, qui prend en compte les erreurs potentielles des *noise traders* et celles-ci deviennent un élément constitutif du taux d'équilibre.

1.1.3 Mimétisme

Le « mimétisme », qui est généralement défini comme un ensemble de comportements individuels présentant des corrélations, peut dans certains cas refléter une attitude rationnelle des individus. Toutefois, de nombreux investisseurs peuvent acheter les mêmes titres pour la simple raison que, agissant indépendamment, ils ont reçu des informations corrélées. Par conséquent, la notion de mimétisme suppose une prise de décision à la fois systématique et erronée de la part d'un groupe. Intuitivement, un investisseur agit par mimétisme quand il est prêt à effectuer un placement donné en ignorant les décisions des autres investisseurs, mais qu'il change d'avis lorsqu'il constate que ces derniers ont renoncé à ce placement. Dans un tel contexte, les anticipations se forment selon un processus mimétique. Chaque opérateur forme ses anticipations non pas à partir d'une grandeur exogène, par exemple la " valeur économique " du taux de change, mais en fonction de ce qui sera l'opinion moyenne du marché.

Cette analyse n'est pas nouvelle et a été formulée pour la première fois par Keynes pour expliquer le poids des conventions et l'impact du suivisme des opérateurs dans le fonctionnement des marchés d'actifs financiers. Selon Keynes, les acteurs n'agissent pas au hasard mais en tenant compte des conventions du marché, d'autant plus qu'ils ont le sentiment de ne pas avoir d'informations suffisantes. En situation d'incertitude totale, le mimétisme est un comportement rationnel car il permet de profiter de l'information des opérateurs informés. Les acteurs suivent donc le marché surtout que le coût de recherche de la «bonne »information est forcément plus élevé que celui de l'information sur les prix que l'on peut se procurer sur le marché puisque celle-ci est gratuite.

L'analyse contemporaine des bulles spéculatives reprend aussi cette idée de Keynes. Orléan (1990) montre ainsi que les bulles spéculatives peuvent être expliquées à partir de processus de contagion mimétique des anticipations. Ils prennent leurs décisions sur la base d'une certaine représentation du marché et des opinions d'autrui : ils achètent ou vendent en fonction de leurs anticipations sur les prix futurs, ces anticipations étant formées à partir des croyances sur l'évolution du marché. L'action par mimétisme peut être rationnelle notamment lorsqu'on se positionne dans un contexte d'incertitude. Selon Orléan (1986), dans un tel cadre un investisseur mal informé devrait copier un autre opérateur (appelé *modèle*) car cette attitude lui permettrait d'améliorer son anticipation et d'augmenter ses performances individuelles.

Orléan (1986) qualifie "autoréférentielle" cette forme de rationalité des opérateurs. Cette dernière est tournée exclusivement vers l'opinion des autres, et non vers la valeur fondamentale. Si on se trouve dans une telle situation

d'imitation généralisée, dans laquelle chacun copie l'autre en croyant qu'il détient l'information, alors qu'aucun agent n'est informé, le prix qui se forme ne reflète que la psychologie du marché et ne contient aucune information

A. Orléan (1986) revendique cette filiation de la finance conventionnaliste avec l'analyse keynésienne des marchés financiers dans le Livre IV de la *Théorie Générale*. Il rappelle que Keynes avait parfaitement analysé cette idée de rationalité autoréférentielle, ainsi que l'illustre sa métaphore du "concours de beauté" pour expliquer le fonctionnement des marchés boursiers : le gagnant du concours n'est pas celui qui a les meilleurs goûts, mais celui qui est parvenu à deviner quelles seraient les photos les plus souvent choisies, donc celui qui a la meilleure représentation de l'opinion collective, qui sait prévoir les tendances.

Par ailleurs, cette étude des comportements mimétiques permet de répondre à certaines questions relatives aux anomalies dans le fonctionnement des marchés financiers (*i.e.* bulles, ajustement asymétrique des cours). En effet, en présence du mimétisme, les opérateurs sont susceptibles de suivre l'opinion moyenne du marché et de ne pas s'en écarter car le fait de s'en écarter entraîne un risque. Même si l'opérateur est le meilleur analyste de la place, il ne doit en aucun cas jouer contre le marché (risque concurrentiel, Orléan 1986).

Orléan (1990) souligne que, en présence du mimétisme, les taux ne reflètent plus les fondamentaux, mais plutôt l'opinion moyenne des investisseurs. Les investisseurs vont ainsi s'intéresser à l'anticipation des agents plutôt qu'aux fondamentaux économiques. Cette tendance à suivre des comportements « grégaires » peut aboutir à une situation d'unanimité reflétant l'opinion moyenne du marché indépendamment des fondamentaux. Cette situation va causer des déviations asymétriques des taux par rapport aux fondamentaux économiques. Donc, le mimétisme paraît justifier certains comportements anormaux associés aux dynamiques économiques qui peuvent échapper aux techniques de modélisation linéaire; les modélisations non linéaires permettent alors d'en rendre compte.

1.2 Coûts de transaction

Dumas (1992), Sercu, Uppal et Van Hulle (1995), Michael, Nobay et Peel (1997), Michael, Peel et Taylor (1997), Peel et Taylor (2000), Kilian et Taylor (2001) et Dufrénot, Mignon et al (2003) étudient la dynamique d'ajustement des taux change réels par rapport à la PPA et montrent que le retour du taux de change vers l'équilibre suit une fonction exponentielle. Ils expliquent cette non linéarité par la présence de coûts de transaction.

Les modèles développés par Dumas (1992) puis Sercu, Uppal et Van Hulle (1995), s'intéressent aux effets des coûts de transaction provoqués par le

commerce international de marchandises sur le taux de change nominal. Les auteurs suggèrent que la présence des coûts de transactions, qui peut entraîner des déséquilibres restant non corrigés, peut justifier un ajustement non linéaire vers l'équilibre. Le niveau de ces coûts définit le comportement des investisseurs. Lorsque ces coûts sont faibles, les opérateurs n'hésitent pas à intervenir rapidement sur le marché, augmentant ainsi les volumes de transaction. A l'inverse, la présence de coûts de transaction élevés risque d'accroître le nombre d'opérateurs non informés car ceux-ci ne peuvent pas accéder à l'information et de décourager l'arbitrage et d'empêcher l'ajustement des prix. Ainsi, ces rigidités de prix liées au fonctionnement des marchés peuvent remettre en cause l'ajustement instantané et symétrique des prix (Obstfeld et Taylor, 1997). Les coûts de transaction restreignent les opérations d'arbitrage et constituent des entraves à l'efficacité des marchés. En effet, les investisseurs n'échangent pas leurs actifs puisqu'ils anticipent un gain potentiel inférieur aux coûts assumés, induisant ainsi des délais d'ajustement.

Selon le modèle de commerce international de Dumas (1992), la présence de coûts de transaction rend évident le comportement non linéaire du taux de change au sens où il existe deux zones distinctes de fluctuation du taux de change. Une première zone est la zone de non échange délimitée par la « bande de fluctuation » à l'intérieur de laquelle l'arbitrage et l'ajustement sont inactifs. Sercu, Uppal et Van Hulle (1995) montrent qu'à l'intérieur de cette zone de non échange, les déviations par rapport à la PPA peuvent être permanentes (présence d'une racine unitaire), persistantes (présence d'un phénomène de mémoire longue) (Lardic et al, 2003). Le taux de change peut perdurer loin de sa valeur d'équilibre et ses déviations sont divergentes et non corrigées. Lardic et al (2003) indiquent que dans la mesure où il existe des coûts de transaction, l'échange entre deux pays ne sera optimal que lorsque le prix national sera suffisamment différent du prix étranger. Il n'est en effet plus optimal de corriger tous les écarts entre les utilités marginales nationales et étrangères à chaque date. Le bien sera échangé entre les pays uniquement lorsque l'écart entre les utilités marginales est suffisamment important pour compenser les coûts de transaction. De Grauwe et Vansteenkiste (2001) montrent que dans une économie ayant en particulier un taux d'inflation faible, les chocs exogènes (par exemple les chocs inflationnistes) dans les valeurs fondamentales des taux de change ont tendance à être relativement petits par rapport aux coûts de transaction. Par conséquent, l'arbitrage ne sera pas rentable dans ces cas et restera absent. Certains chocs, toutefois, sont importants par rapport aux coûts de transaction ce qui implique que l'arbitrage aura lieu. En conséquence, la relation entre les taux de change et leurs fondamentaux sera instable.

La seconde zone d'échange définit la zone à l'extérieur de la bande de fluctuation, où l'ajustement est plutôt actif et sa vitesse d'ajustement dépend de l'ampleur de l'écart à l'équilibre. Dans cette zone, le taux de change peut converger vers sa valeur d'équilibre impliquant un phénomène de retour à la moyenne et ses déviations sont proches d'un bruit blanc. Michael et al (1997) aussi mettent en évidence le comportement non linéaire du taux de change engendré par l'existence d'une bande de fluctuations et trouvent que le taux de change converge vers son équilibre à la condition que le profit tiré de l'arbitrage sur les marchandises compense les coûts de transaction.

En outre, Anderson (1997) souligne d'une part que la présence de coûts de transaction entrave l'arbitrage et d'autre part que l'hétérogénéité inhérente à ces coûts peut rendre l'ajustement des cours plus lisse. Autrement dit, les coûts de transaction varient d'un investisseur à un autre et d'un marché à un autre, et chaque investisseur agit ainsi suivant ses seuils spécifiques qui vont permettre de construire ses propres zones d'inaction et d'échange. La coexistence de ces seuils différés peut induire un certain lissage dans l'ajustement des prix. Jawadi et Prat (2008) discutent en détail les seuils spécifiques induits par les coûts de transactions hétérogènes.

2. Le modèle STECM

Pour pallier les insuffisances et les défaillances des techniques linéaires traditionnellement utilisées, et pour expliquer les écarts persistants des taux de change réels par rapport à leur valeur fondamentale, il est donc important de pouvoir discriminer entre la relation de long terme (linéaires) et les dynamiques d'ajustement à court terme (non linéaire). Il convient alors de s'attacher aux modèles non linéaires reposant sur la cointégration à seuil. Les modèles STAR (*Smooth Transition Autoregressive*) intégrant un processus de cointégration à seuil nous apparaissent particulièrement adéquats pour capturer le comportement non linéaire des déviations du taux de change par rapport à sa valeur d'équilibre. À cette fin, nous considérons un modèle à correction d'erreur à transition lisse (*smooth transition error correction model* (STECM)).

La cointégration à seuil a été étudiée d'abord par Balke et Fomby (1997). Ces derniers ont suggéré une approche en deux étapes où la cointégration et le comportement de seuil ont été analysés séparément. Ensuite, Anderson (1997) a proposé une extension de ces modèles où l'ajustement est plutôt lisse contrairement au modèle de Balke et Fomby (1997) où l'ajustement est brutal. Par suite à ces travaux, les modèles de cointégration à seuil ont fait l'objet de plusieurs analyses empiriques tels que ceux de Escribano (1997), Michael, Peel et Taylor (1997), Dufrénot et Mignon (2002), Sarantis (1999), ainsi que Rothman, Van Dijk et Franses (2001) et Dufrénot et al. (2003). Ces travaux ont

appliqué les modèles de cointégration à seuil aux différents marchés pour tenir compte des dynamiques non linéaire, dont les sources ont été discutées plus haut (coûts de transaction, hétérogénéité des investisseurs). Escribano (1997) s'est intéressé au mécanisme d'ajustement non linéaire dans la demande de monnaie au Royaume-Uni sur la période 1878- 1970. Quant à Michael, Peel et Taylor (1997), ils ont montré que l'alternative de cointégration à seuil permet de représenter la dynamique des actifs financiers en présence de coûts de transaction. Van Dijk et Franses (2000) étudient l'asymétrie des ajustements du taux d'intérêt hollandais à un mois vers sa valeur d'équilibre représentée par le taux à 12 mois en utilisant un modèle à Correction d'Erreurs à Transition Lisse (STECM). Le STECM est obtenu à partir d'un modèle de régression à transition lisse (STR) développé par Teräsvirta and Anderson (1992), dont chaque régime définit un MCE linéaire. Contrairement à un modèle à correction d'erreur standard où l'ajustement vers l'équilibre de long terme est linéaire, un modèle STECM permet un ajustement asymétrique selon que l'écart à l'équilibre est fort ou faible ou encore positif ou négatif. Les auteurs montrent que le premier type d'asymétrie peut être modélisé par une fonction de transition logistique, tandis que le deuxième par une fonction de transition logistique quadratique.

2.1 La théorie du modèle STECM

Le STECM apparaît alors être le cadre conceptuel approprié pour modéliser l'ajustement non-linéaire du taux de change vers sa valeur d'équilibre. Ces modèles sont aptes à capturer l'éventuelle non linéarité due à la présence des coûts de transaction et à l'hétérogénéité des agents à savoir le fait que la vitesse de convergence vers l'équilibre est fonction de l'ampleur de la déviation par rapport à ce même équilibre. Ainsi, ce type de modèle permet de modéliser l'ajustement et les trajectoires permettant au taux de change de revenir à sa valeur d'équilibre lorsqu'il s'en écarte durablement. (Lardic et al, 2003)

Les modèles STECM étant construits comme un modèle STAR, dont chaque régime décrit un MCE, nous nous intéressons à la description des modèles STAR. Ces derniers, tout d'abord introduits par Luukkonen, Saikkonen et Teräsvirta (1988), Teräsvirta (1994), constituent une extension des modèles TAR (*Threshold Autoregressive*) à deux régimes. Les modèles STAR définissent une relation qui peut être non linéaire sur une période déterminée, mais linéaire par sous périodes. En effet, les paramètres des relations linéaires associées aux sous périodes différent et définissent ainsi des régimes qui entrent en action selon la réalisation antérieure de la variable de transition par rapport à un seuil. Toutefois, contrairement aux modèles TAR,

où le passage d'un régime à un autre se fait de façon brutale, les modèles STAR introduisent une progressivité dans le processus du changement (transition lisse ou souple) (Teräsvirta (1994)). Etant donné que dans l'économie il y a un grand nombre d'investisseurs (soit des individus soit des institutions), ayant des comportements différents, leurs interventions sur les marchés ne sont pas nécessairement simultanées. En particulier, les agents se distinguent par leur capacité à anticiper les actions des autorités en matière de nouvelles politiques économiques. Cette hétérogénéité des comportements des agents due à des coûts de transaction, aux habitudes ou à l'incertitude engendre la non simultanément. Cette dernière vision est partagée par Maddala (1991), pour qui le caractère lissé de la transition peut résulter du fait que, ne croyant pas en la permanence de la nouvelle politique économique, les agents économiques ne s'ajustent pas immédiatement au nouveau régime mais y convergent graduellement par apprentissage (Uctum, 2007). Dans la suite nous présentons brièvement la classe des modèles STAR ainsi que le modèle STECM, le modèle à correction d'erreur caractérisé par des non-linéarités de type STAR, que nous proposons pour étudier l'ajustement des taux de change réel par rapport à l'équilibre.

Un modèle STAR à deux régimes s'écrit :

$$y_t = (\alpha_0 + \alpha_1 y_{t-1} + \dots + \alpha_p y_{t-p}) + (\beta_0 + \beta_1 y_{t-1} + \dots + \beta_p y_{t-p}) F(s_t, \gamma, c) + \varepsilon(t) \quad (1)$$

où $F(s_t; \gamma, c)$ est une fonction de transition représentant la transition d'un régime à un autre. Cette fonction de transition est continue et bornée entre 0 et 1. A chacune des valeurs extrêmes de cet intervalle correspond un régime donné et au continuum des valeurs intermédiaires, la transition (ou, selon une alternative proposée par les auteurs, une infinité de régimes intermédiaires). La variable de transition s_t est le seuil qui délimite les deux régimes. Elle peut être une variable endogène retardée de y_t (y_{t-d} où d est le paramètre de délai) ou une variable exogène ou même une fonction de variables exogènes. Quant au paramètre γ , il mesure la vitesse de transition. Plus il est élevé, plus la transition est brutale et rapide. ε_t est une erreur aléatoire ayant une moyenne nulle et une variance constante. Granger et Teräsvirta (1993) généralisent le modèle STAR à un modèle STR (Smooth Transition Regression) en remplaçant tout ou partie de ses régresseurs par des variables exogènes (Uctum, 2007).

Pour obtenir une transition douce, Teräsvirta et Anderson (1992) ont proposé deux types de fonction de transition :

Une fonction logistique d'ordre 1 :

$$F(s_t; \gamma, c) = (1 + \exp\{-\gamma(s_t - c)\})^{-1}, \gamma > 0 \quad (2)$$

Un modèle STAR ayant cette forme de la fonction de transition est un modèle STAR logistique ou LSTAR. La fonction logistique définit une correspondance univoque entre le signe d'un (important) écart au seuil et un régime donné. (Uctum, 2007) Ce modèle définit deux régimes extrêmes associés aux valeurs de s_t supérieurs et inférieurs au seuil c , entre lesquels la transition se fait de manière graduelle. Le modèle LSTAR nous permet alors de décrire des phénomènes d'asymétrie comme le passage de l'économie d'une phase d'expansion à une phase de récession représentée par des dynamiques propres. Pour le modèle LSTAR, quand la vitesse de transition tend vers l'infini ($\gamma \rightarrow \infty$), la transition devient brutale et le modèle LSTAR se confond avec le modèle TAR. A l'inverse, lorsque la vitesse de transition tend vers zéro, le modèle se transforme en un modèle linéaire puisque la fonction de transition est égale à 0.5.

La deuxième fonction de transition est la fonction exponentielle d'ordre 1:

$$F(s_t; \gamma, c) = (1 - \exp(-\gamma(s_t - c)^2)), \gamma > 0 \quad (3)$$

qui conduit à considérer un modèle STAR exponentiel ou ESTAR. Le modèle ESTAR constitue une généralisation du modèle autorégressif exponentiel (EAR) de Haggan et Ozaki (1981). Contrairement au modèle LSTAR, le modèle ESTAR génère des dynamiques symétriques pour les phases d'expansion et de récession du cycle, mais les états intermédiaires peuvent avoir des dynamiques différentes (Lardic et al, 2003). Ce qui revient à dire que la fonction exponentielle tend vers zéro pour des valeurs de la variable de transition proches du seuil c , alors qu'elle est égale à un lorsque la variable de transition s'éloigne de c par valeurs supérieures comme inférieures. Autrement dit, les coefficients sont symétriques autour du paramètre de seuil c . Il définit alors trois régimes dont les deux sont extrêmes et ont la même dynamique. Lorsque la vitesse de transition, γ , tend vers zéro ou bien l'infini ($\gamma \rightarrow 0$ ou $\gamma \rightarrow \infty$), le modèle ESTAR devient un modèle linéaire traduisant respectivement le régime intermédiaire ou le régime extrême.

Jansen et Teräsvirta (1996) suggèrent un autre modèle à trois régimes comme ESTAR mais avec une fonction logistique quadratique (QLSTAR) :

$$F(s_t; c_1, c_2, \gamma) = (1 + \exp\{-\gamma(s_t - c_1)(s_t - c_2)\})^{-1} \quad (4)$$

Il s'agit alors d'un modèle à trois régimes et, tout comme le modèle ESTAR, les deux régimes extrêmes sont formellement identiques. La différence entre ESTAR et QLSTAR est que le modèle QLSTAR permet de rendre asymétriques les seuils séparant les régimes extrêmes et le régime intermédiaire contrairement au modèle ESTAR qui ne le permet pas par construction (Uctum, 2007). Pavlidis, Paya et Peel (2009) suggèrent que le modèle ESTAR est trop restrictive à long terme. Jack et al (2008) montrent que les coûts commerciaux des biens échangeables entre les pays sont loin d'être constants et qu'ils engendrent des changements substantiels et non monotones de 1870 à 2000. Puisque les coûts commerciaux varient au cours du temps, la vitesse de retour à la moyenne pour un écart à la PPA varie aussi. Intuitivement, lorsque les coûts commerciaux augmentent (diminuent) la zone de non échange s'élargit (se rétrécit) et l'ajustement du taux de change réel devient plus (moins) persistant. Par conséquent, la persistance du taux de change réel ne dépend pas uniquement de la taille de la déviation, mais aussi du niveau des coûts commerciaux. Dans ce cadre, Pavlidis, Paya et Peel (2009) suggèrent que le modèle QLSTAR est plus puissant que le modèle ESTAR car il permet d'estimer les bandes de non échange correspondant à des coûts de transaction asymétriques. En effet, en cas de larges écarts aux seuils, dans l'équation (4), F tend vers 1 à l'extérieur des seuils c_1 et c_2 ($c_1 < c_2$) tandis que dans l'équation (3), F tend vers 1 à l'extérieur de $-c$ et c : F est symétrique dans ESTAR mais asymétrique dans QLSTAR.

2.2 L'estimation du modèle STECM

La procédure d'estimation des modèles STAR se fait en suivant les étapes suivantes :

- La procédure d'estimation est entamée par la spécification d'un modèle linéaire (AR(p)) afin de déterminer l'ordre du retard p . Afin de sélectionner l'ordre autorégressif p , les différents critères comme les critères d'information (Akaike, Schwarz) ainsi que la statistique Q de Ljung-Box peuvent être retenus. On estime un modèle ECM linéaire dont les paramètres estimés va être utilisés comme paramètres initiaux, étant donné les valeurs de γ et c , du modèle STECM.
- L'étape suivante est l'application d'un test de linéarité pour détecter une éventuelle non linéarité. Les tests de linéarité reposent sur le modèle linéaire obtenu par l'étape précédente. Ils permettent de tester l'hypothèse nulle de linéarité contre l'hypothèse alternative de non linéarité de type STAR (Luukkonen, Saikkonen et Teräsvirta (1988)) et de choisir la variable de transition. Ce choix de la variable de transition

repose sur la statistique du multiplicateur de Lagrange, notée LM (d). Ces tests sont répétés pour différentes spécifications de la variable de transition. Ils sont menés pour différentes valeurs du paramètre de délai. Le paramètre de délai est aussi déterminé au moyen de ce test. La valeur optimale du paramètre de délai d est celle pour laquelle la linéarité est la plus fortement rejetée²

- La dernière étape de la procédure d'estimation consiste à spécifier le modèle STAR par la méthode des moindres carrés non linéaires qui fournit des estimateurs efficaces et asymptotiquement normaux. La vitesse de transition γ et le paramètre de seuil c sont déterminés au sein de cette étape. Nous vous rappelons que l'estimation jointe des paramètres de ces modèles a posé de multiples problèmes. Particulièrement, la vitesse de transition γ s'est révélée difficile à estimer dans la mesure où une valeur élevée de ce paramètre peut empêcher l'algorithme de converger. Pour dépasser ce problème, en nous référant à Granger et Teräsvirta (1993) et Teräsvirta (1994), nous proposons de standardiser ce paramètre de lissage en la divisant par la variance de la variable de transition pour faciliter la convergence de l'algorithme. Cette standardisation permet aussi de définir une valeur initiale de γ autour de 1. Quant au paramètre du seuil (c), afin d'initialiser les paramètres autorégressifs du modèle STECM, nous proposons de retenir une valeur initiale égale à la moyenne de la variable de transition.

Lorsqu'il n'existe pas de prérequis théorique qui nous permette de faire le choix entre une fonction de transition logistique ou exponentielle, Teräsvirta (1994) montre que le choix entre un modèle LSTAR et un modèle ESTAR peut faire l'objet d'une séquence de tests d'hypothèses nulles emboîtées.

Par contre, parmi les différents types de modèles STAR, le modèle ESTAR s'avère plus pertinent que le modèle LSTAR pour analyser la dynamique des taux de change réels et pour détecter les périodes de sur et sous évaluation réelle. En partant des travaux de Dumas (1992) et Sercu, Uppal et van Hulle (1995) qui testent l'hypothèse de la parité des pouvoirs d'achat (PPA) à long terme, de nombreuses études récentes (Michael, Nobay et Peel (1997), Sarrantis (1999), Taylor et Peel (2000), Taylor, Peel et Sarno (2001), Baum, Barkoulas et Caglayan (2001), O'Connell et Wei (2002) et Kilian et Taylor (2001)) montrent la supériorité de cette représentation sur les modèles

²Voir Luukkonen et al. (1988) et Saikkonen et Luukkonen (1988) pour une explication détaillée sur les test de linéarité de type LM.

LSTAR. Pour représenter la non linéarité caractérisant les taux de change, il est préférable de spécifier la fonction de transition en fonction de la taille de la déviation par rapport à l'équilibre (modèle ESTAR) plutôt qu'en fonction du signe de cette même déviation (cas LSTAR).

Dans ce cadre, Michael, Nobay et Peel (1997) montrent que le modèle monétariste peut être considéré comme une condition d'équilibre à long terme et décrivent que l'ajustement du taux de change nominal Dollar-Sterling à la PPA est bien approximé par le modèle ESTAR. Exploitant les données des Etats-Unis et de plusieurs de ses partenaires, Baum, Barkoulas et Caglayan (2001) et Taylor, Peel et Sarno (2001) étudient la dynamique d'ajustement vers la PPA et trouvent qu'un processus de retour à la moyenne a lieu pour des écarts à la PPA importants. Chen et Wu (2000) comparent l'hypothèse d'un ajustement non linéaire de type ESTAR vers la PPA avec celle d'un ajustement linéaire et concluent que le processus non linéaire est plus adéquat pour modéliser l'ajustement vers la PPA. Kilian et Taylor (2001) justifient en outre le recours à la modélisation ESTAR où il existe une grande incertitude relative au niveau d'équilibre du taux de change. Selon les auteurs, les agents accordent une plus forte probabilité aux petites déviations par rapport aux fondamentaux qu'aux grandes déviations. Lardic et al (2003) admettent que cette asymétrie provient du fait que les grandes déviations sont peu probables d'un point de vue théorique. En effet, un consensus se construit sur un déséquilibre entre le taux de change et les fondamentaux, quand le taux de change dévie de sa valeur d'équilibre. Cette situation force les agents rationnels à se positionner plus fortement contre le taux de change existant et faire converger le taux de change à sa valeur d'équilibre. Lardic et al (2003) concluent que les modèles de type ESTAR permettent de capturer un tel comportement en générant une dynamique à seuil lente du taux de change comme une fonction des écarts passés à l'équilibre.

Comme nous avons précisé au début de la section, notre attention se portera sur la relation entre le taux de change et ses fondamentaux pour laquelle l'hypothèse de cointégration linéaire est rejetée afin de tester l'existence d'une relation de cointégration à seuil. Pour cette raison nous nous référons au travail de Van Dijk et Franses (2000) qui estiment un modèle STECM afin d'analyser l'asymétrie des ajustements du taux d'intérêt hollandais à un mois vers sa valeur d'équilibre. Ce modèle nous donne la possibilité de rendre compte du caractère possiblement asymétrique de l'ajustement suivant que l'écart à l'équilibre est fort ou faible ou bien positif ou négatif.

La représentation classique du MCE signifie que l'ajustement est invariant dans le temps et est symétrique (il existe un seul coefficient de force de rappel, λ). Cet ajustement est la proportion constante de la déviation

antérieure. Un STECM peut être traduit comme un MCE non linéaire, qui présuppose l'existence d'une seule relation de cointégration de long terme, mais définit deux modèles d'ajustement et peut donc être décrit comme une combinaison de deux MCE linéaires. En effet, un STECM identifie deux régimes distincts et définit une dynamique d'ajustement différente dans chaque régime. La première dynamique reflète les fluctuations du cours aux extrémités de cette zone, correspondant à des écarts importants à l'équilibre, et nécessitant une force d'ajustement plus marquée et plus élevée. Par contre, la deuxième dynamique décrit les mouvements du cours au voisinage du régime central pour lequel l'écart du cours à sa valeur fondamentale est négligeable et la vitesse d'ajustement est faible. Ainsi nous obtenons une dynamique d'ajustement variant au cours du temps mesurée par une combinaison des deux coefficients d'ajustement, λ_1 et λ_2 , et pondérée par une fonction de l'écart à l'équilibre, $F(s_t; \gamma, c)$.

Partant de ce fait, même s'il existe une relation linéaire de long terme entre le taux de change et ses fondamentaux, l'ajustement de court terme doit être modélisé par une dynamique non linéaire. L'utilisation du modèle ESTECM et/ou QLSTECM peut, dès lors, être indispensable pour examiner cette dynamique d'ajustement. Elle sert non seulement à capturer le comportement non linéaire des déviations du taux de change de sa valeur d'équilibre, mais aussi à mettre un mécanisme de retour vers l'équilibre mené par les paramètres λ_1 et λ_2 . Ces deux fonctions de transition peuvent être représentées comme suit:

ESTECM

$$\begin{aligned} \Delta y_t = & (\alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_{1i} \Delta y_{t-i} + \sum_{j=1}^p \alpha_{2j} \Delta x_{t-j} + \lambda_1 z_{t-1}) \\ & + (\beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_{1i} \Delta y_{t-i} + \sum_{j=1}^p \beta_{2j} \Delta x_{t-j} + \lambda_2 z_{t-1}) (1 - \exp(-\gamma(z_{t-1} - c)^2)) \\ & + \varepsilon(t) \end{aligned} \tag{5}$$

QLSTECM

$$\begin{aligned} \Delta y_t = & (\alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_{1i} \Delta y_{t-i} + \sum_{j=1}^p \alpha_{2j} \Delta x_{t-j} + \lambda_1 z_{t-1}) \\ & + (\beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_{1i} \Delta y_{t-i} + \sum_{j=1}^p \beta_{2j} \Delta x_{t-j} + \lambda_2 z_{t-1}) (1 + \exp(-\gamma(z_{t-d} - c_1)(z_{t-d} - c_2)))^{-1} \\ & + \varepsilon(t) \end{aligned} \quad (6)$$

où z_{t-1} désigne le terme à correction d'erreur, z_{t-d} désigne la variable de transition. λ_1 et λ_2 sont les paramètres majeurs d'un ESTECM qui caractérisent le comportement non linéaire de l'ajustement. Ils mesurent respectivement les paramètres de la force de rappel dans le 1er et le 2ème régime où la transition est supposée être lisse. En effet, plus l'écart à l'équilibre est important, plus la tendance à revenir vers l'équilibre donné par les fondamentaux est forte. Dans ce contexte, bien qu'on puisse envisager $\lambda_1 \geq 0$, les conditions $\lambda_2 < 0$ et $(\lambda_1 + \lambda_2) < 0$ doivent être respectées pour valider le processus de cointégration non linéaire. En d'autres termes, pour des petites déviations, y_t pourrait avoir une racine unitaire ($\lambda_1 = 1$) ou même un comportement explosif ($\lambda_1 > 0$), mais pour des écarts plus importants, le processus de l'ajustement serait actif et serait caractérisé par un retour à la moyenne.

Conclusion

La théorie économique confirme la présence des non linéarités dans la dynamique des taux de change. Elle considère le comportement non linéaire des déviations comme le résultat de l'hétérogénéité des agents sur les marchés des changes, de la présence de coûts de transaction hétérogènes, de la variabilité du degré de confiance des agents vis-à-vis des fondamentaux et de la nature même de l'état des fondamentaux économiques.

Quelle que soit l'explication retenue pour la non linéarité, ces facteurs ont des implications importantes au niveau économétrique. Il est difficile de rendre compte du caractère persistant des écarts de taux de change en retenant le cadre empirique des modèles basés sur l'hypothèse de cointégration linéaire avec retour à la moyenne rapide. Dans ce cadre, nos choix de modélisation de l'ajustement du taux de change vers sa valeur d'équilibre ont privilégié les modèles de cointégration à seuil et les modèles à seuil à transition lisse (STAR) dans la mesure où ceux-ci sont susceptibles de générer des changements de dynamiques semblables au comportement non linéaire du taux de change. Pour cette raison, nous avons proposé le modèle STECM (*Smooth Transition Error*

Correction Model) développé par Van Dijk et Franses (2000) qui combine le modèle STAR et la cointégration à seuil.

La spécification d'un modèle STECM suppose le choix d'une fonction de transition dont les fonctions exponentielle et quadratique-logistique s'avèrent les plus adaptées pour traduire l'ampleur des déviations du taux de change réel par rapport à sa valeur d'équilibre (suivant la fonction de transition utilisée, nous obtenons alors un ESTECM ou un QLSTECM). La différence entre ces deux fonctions est que la première nous impose des seuils de transition symétriques alors que la deuxième autorise des seuils asymétriques. Nous concluons que les seuils asymétriques rendent le modèle QLSTECM théoriquement plus adaptés pour modéliser l'ajustement du taux de change vers sa valeur d'équilibre

Bibliographie

- Ahrens, R. et Reitz, S. (2000), "Chartist Prediction in the Foreign Exchange Market: Evidence from the Dailly Dollar/Dm Exchange Rate", *Working Paper*, (2000/03), Center for Financial Studies, Francfort.
- Anderson, H.M. (1997), "Transaction Costs and Nonlinear Adjustment Towards Equilibrium in The US Treasury Bill Markets", *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 59 (4): 465-484.
- Antia Z., Murray J. et Zelmer M. (2000), "International Financial Crises and Flexible Exchange Rates : Some Policy Lessons from Canada", *Rapport Technique* No. 88, Banque du Canada.
- Balke, N. S., et Fomby T. B. (1997), "Threshold Cointegration," *International Economic Review*, 38(3) : 627-45.
- Baum, C. F., Barkoulas, J.T. et Caglayan, M. (2001), "Non-Linear Adjustment to Purchasing Power Parity in the Post-Bretton Woods Era". *Journal of International Money and Finance*, 20: 379-399.
- Berdot, J. P. et Léonard, J. (2004), "Chartisme, Fondamentalisme et Volatilité sur les Marchés d'actions : une application au marché français (1998/2003) ", *Document de Travail*, Equipe Mofib, Université de Poitiers.
- Bessec, M. (2005), "Les Economistes sont-ils Chartistes ou Fondamentalistes ? Une Enquête auprès de Quatre-vingt Chercheurs Français" *Économie et Prévision*, 169 : 239-249.
- Bessec, M. et Robineau, F.M. (2003), "Comportements Chartistes et Fondamentalistes: Coexistence ou Domination Alternative sur le Marche des Changes?" *Revue économique*, 54 (6) : 1213-1238.

- Campbell J.Y. (1987), "Bond and Stock Returns in a Simple Exchange Model," *NBER Working Papers*, 1509.
- Campbell J.Y. et Shiller R.J. (1987), "Cointegration and tests of present value models". *Journal of Political Economy*, 95: 1062–1087.
- Coakley, J., et Fuertes, A. M. (2001), "A Nonlinear Analysis of Excess Foreign Exchange Returns". *Manchester School*, 69: 497– 516.
- Cootner P., (1962). "Stock Prices: Random vs. Systematic Changes". *Industrial Management Review*: 24-45.
- Corbae, D. et Ouliaris S. (1988), "Cointegration and Tests of Purchasing Power Parity". *Review of Economics and Statistics*, 70: 508–511.
- De Grauwe P. et Vansteenkiste I. (2001), "Exchange Rates and Fundamentals: A Non-Linear Relationship?", *Cesifo Working Paper*, 577.
- De Grauwe P. (1994), "Exchange Rates in Search of Fundamental Variables", *Centre for Economic Policy Research Discussion Paper*, 1073.
- De Grauwe P. et Dewatcher H. (1992), "Chaos in the Dornbush Model of the Exchange Rate", *Kredit and Kapital*, 27-54.
- De Grauwe P. et Dewatcher H. (1993), "A Chaotic Model of the Exchange Rate: the Role of Fundamentalists and Chartists" *Open Economies Review*, 4: 351-379.
- De Long J.B., Bradford J., Shleifer A., Summers L.H. et Waldman R.J. (1990) "Noise Trader Risk in Financial Markets", *Journal Of Political Economy*, 98 (4): 703-737.
- Djoudad, R., J. Murray, T. Chan et J. Daw (2001) "Le Role des Chartistes et des Fundamentalistes sur les Marches des Changes : L'experience de l'Australie, du Canada Et de la Nouvelle-Zelande" In : *Les taux de change flottants : une nouvelle analyse*, actes d'un colloque tenu par la Banque du Canada, novembre 2000, Ottawa, Banque du Canada, p. 181-224.
- Dornbusch, R. (1976), "Expectations and Exchange Rate Dynamics". *Journal of Political Economy*, 84: 1161–1176.
- Dufrénot, G. et Mignon, V. (2002) *Recent Development in Nonlinear Cointegration with Applications to Macroeconomics and Finance*, (Boston: Kluwer Academic Press).
- Dufrenot, G., Lardic, S., Mathieu, L., Mignon, V. et Peguin-Feissolle, A., (2003), "Expliquer les Deviations des Taux de Change Europeens: Memoire Longue ou Ajustement Non Lineaire", *Document de travail*, 24.
- Dumas, B. (1992), "Dynamic Equilibrium and the Real Exchange Rate in Spatially Separated World", *Review of Financial Studies*, 5: 153-80.
- Engle, R. F. et Granger C. W. J. (1987), "Cointegration and Error Correction: Representation, Estimation and Testing" *Econometrica*, 55: 251–276.

- Escribano, A. (1997), "Nonlinear Error Correction: the Case of Money Demand in the U.K (1870-1970)", *Working Paper*, Université de Carols III, Madrid.
- Flood, R. P. et Taylor, M.P. (1996), "Exchange Rate Economics: What's Wrong with the Conventional Macro Approach?", NBER Chapters, in: *The Microstructure of Foreign Exchange Markets*, pages 261-302 National Bureau of Economic Research, Inc.
- Frankel, J.A. et Froot, K.A. (1986), "Understanding the US Dollar in the Eighties: the Expectations of Chartists and Fundamentalists", *Economic Record*, 62, (special issue): 24-38.
- Franke, J.A. et Froot, K.A. (1990), "Chartists, Fundamentalists and the Demand for Dollars", Courakis A.S. et Taylor M.P. (eds), *Private Behavior and Government Policy in Interdependent Economies*, (Oxford, Oxford University Press).
- Friedman, M. (1953), "The Case for Flexible Exchange Rates." Milton Friedman (eds), *Essays in Positive Economics*, Chicago: University of Chicago Press: 157-203.
- Granger, C. W. J. (1986). "Developments in the Study of Cointegrated Economic Variables," *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 48(3): 213-28.
- Granger, C.W.J. et T. Terasvirta (1993), *Modelling Nonlinear Economic Relationships*, (Oxford: Oxford University Press).
- Haggan, V. et Ozaki, T. (1981) "Modelling Nonlinear Random Vibrations Using an Implitude-dependent Autoregressive Time Series Model" *Biometrika*, 68: 189-196.
- Hong H. et Stein J. C., (1999). "Differences of Opinion, Rational Arbitrage and Market Crashes," *NBER Working Papers* 7376.
- Jacks D. S., Meissner C. M. et Novy D., (2008). "Trade Costs, 1870-2000," *American Economic Review*, 98(2), : 529-34.
- Jansen E.S. et T. Teräsvirta (1996), "Testing Parameter Constancy and Super Exogeneity in Econometric Equations", *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, novembre, 58(4): 735-63.
- Jawadi, F. et Prat G. (2008), "Nonlinear Stock Price Adjustment in the G7 Countries", Communication presented in the 21th Australian Conference of Banking and Finance, December, 16-18, Sydney.
- Johansen, S. et Juselius, K., (1990), "Maximum Likelihood Estimation and Inference on Cointegration with Application to the Demand for Money", *Oxford Bulletin of Economics and Statistics* 52 (2): 169-210.
- Kilian L. et Taylor, M. P., (2001). "Why is it so Difficult to Beat the Random Walk Forecast of Exchange Rates?," *CEPR Discussion Papers* 3024.
- Kräger H. et P. Kugler (1993), "Nonlinearities in Foreign Exchange Markets: A Different Perspective", *Journal of International Money and Finance*, 12: 195-208.

- Lardic S., Mignon V. et Restout R. (2003), "Couts de Transaction et Dynamique Non-Lineaire des Taux De Change : Une Verification Empirique de la PPA à l'Aide des Modeles Star ", *Working paper*, MODEM.
- Luukkonen R., Saikkonen P. et Teräsvirta T. (1988), "Testing Linearity against Smooth Transition Autoregressive Models ", *Biometrika*, 75 (3): 491-499.
- Maddala, G. S. (1991) "A Perspective on the Use of Limited-Dependent and Qualitative Variables Models in Accounting Research". *The Accounting Review* 66 (4): 788-807.
- Martens M., Kofman P. et Vorst T. C. F. (1998). "A Threshold Error-Correction Model for Intraday Futures and Index Returns," *Journal of Applied Econometrics*, 13(3): 245-263.
- McMillan J. (2005), "Quantifying Creative Destruction Entrepreneurship and Productivity in New Zealand," *Industrial Organization* 0509006, EconWPA.
- Michael P., A.R. Nobay et D.A. Peel (1997), "Transactions Costs and Nonlinear Adjustment in Real Exchange Rates : An Empirical Investigation", *Journal of Political Economy*, 105(4): 862-79.
- Michael P., D.A. Peel et M.P. Taylor (1997), "Ajustement Non Lineaire vers le Taux de Change d'Equilibre de Long Terme : Le Modèle Monétaire Révisité", *Revue Economique*, 48(3): 653-59.
- Murray J., Van Norden S., Vigfusson R. (1996), "Excess Volatility and Speculative Bubbles in the Canadian Dollar: Real or Imagined?", *Rapport Technique* No. 76, Banque du Canada.
- O'Connell P. et Wei S-J (2002), "The Bigger They Are, the Harder They Fall: How Price Differences across US Cities Are Arbitraged", *Journal of International Economics*, 56(1): 21-53.
- Obstfeld M. et Taylor A. (1997), "Nonlinear Aspects of Good-Markets Arbitrage and Adjustment: Heckscher's Commodity Points Revisited", *Journal of the Japanese and International Economies*, 11: 441-479.
- Orléan P. (1986), "Mimétisme et Anticipations Rationnelles : Une Perspective Keynésienne ", *Recherches Economiques de Louvain*, 52(5): 45-66.
- Orléan A. (1990), "Le Rôle des Influences Interpersonnelles dans la Détermination des Cours Boursiers ", *Revue économique*, 41(5): 839-868.
- Pavlidis E., Paya I. et Peel D. (2009), "Specifying Smooth Transition Regression Models in the Presence of Conditional Heteroskedasticity of Unknown Form," *Working Papers* 005913, Lancaster University Management School, Economics Department.
- Peel et Taylor (2000), "Nonlinear Adjustment, Long-run Equilibrium and Exchange Rate Fundamentals", *Journal of International Money and Finance*, 19: 33-53.
- Peters E. E. (1994), *Fractal Market Analysis*, John Wiley & Sons Inc.

- Rothman P., Dijk D.V. et Franses P.H. (2001), "A Multivariate STAR Analysis of the Relationships Between Money and Output", *Macroeconomic Dynamics*, 5(4) : 506-532.
- Saikkonen, P. et Luukkonen, R. (1988) "Lagrange Multiplier Tests for Testing Nonlinearities in Times Series Models", *Scandinavian Journal of Statistic*, 15: 15–68.
- Sarantis N. (1999), "Modelling non-linearities in real effective exchange rates", *Journal of International Money and Finance*, 18(1): 27-45.
- Sargan, J. D. (1964). "Wages and prices in the United Kingdom: A Study in Econometric Methodology." P. E. Hart, G. Mills, and J. K. Whitaker (eds.), *Econometric Analysis for National Economic Planning*, Vol. 16 of Colston Papers. London: Butterworth Co., pp. 25—63.
- Sercu P., R. Uppal et C. van Hulle (1995), "The Exchange Rate in the Presence of Transaction Costs : Implications for Tests of Purchasing Power Parity", *Journal of Finance*, 50(4): 1309-19.
- Shleifer A. (2000), *Inefficient Markets: An Introduction to Behavioral Finance*, Oxford University Press.
- Taylor, M. P., Peel, D., et Sarno, L. (2001), "Nonlinear Mean Reversion in Real Exchange Rates: Toward a Solution of the Purchasing Power Parity Puzzle". *International Economic Review*, 42(4): 1015-1042.
- Teräsvirta T. (1994), "Specification, Estimation, and Evaluation of Smooth Transition Autoregressive Models", *Journal of the American Statistical Association*, 89: 208-18.
- Teräsvirta, T et Anderson, H M, (1992), "Characterizing Nonlinearities in Business Cycles Using Smooth Transition Autoregressive Models", *Journal of Applied Econometrics*, 7(S): 119-36.
- Uctum, R. (2007), "Econométrie des Modèles à Changement de Régimes : Un Essai de Synthèse", *L'Actualité Economique*, 83(4): 447-482.
- Usupbeyli, A. (2011), "Survol de la Littérature sur les Modèles de Taux de Change d'Equilibre : Aspects Théoriques et Discussions Comparatives", *SBF Dergisi*, 66(4), 125-153.
- Van Dijk, D. et Franses, P.H. (2000), "Nonlinear error-correction models for interest rates in the Netherlands", Barnett, W.A., Hendry, D.F., Hylleberg, S., Teräsvirta, T., Tjostheim, D., Würtz, A., (eds.), *Nonlinear Econometric Modelling in Time Series Analysis*, (Cambridge University Press, Cambridge): 203-227.
- Vigfusson R. (1997), "Switching between Chartists and Fundamentalists: a Markov Regime-Switching Approach", *International Journal of Financial Economics*, 2: 291-205.
- Youssefmir M., Huberman B.A. et Hogg T. (1994), "Bubbles and Market Crashes" Dynamics of Computation Group, Xeros Palo Alto Research Center, mimeo.