

**Université Abdelhamid IBN BADISSE MOSTAGANEM**

**Faculté des sciences économiques, sciences commerciales et des sciences de  
gestion**

**Département des sciences économiques**



**Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme magister en Sciences  
Economiques**

**Option : Techniques Quantitatives Appliquées en Economie**

**Thème**

**Etude prévisionnelle de la volatilité des prix du pétrole par les modèles  
ARCH et GARCH**

**Présenté par**

**HAMDANI Souad**

**Soutenu le : 20 Avril 2017**

**Composition du jury :**

<b>Dr. Bachir BEKKAR</b>	MC. A	<b>Président</b>	<b>Université de Mostaganem</b>
<b>Dr.Ahmed AMEUR AMEUR</b>	Professeur	<b>Rapporteur</b>	<b>Université de Mostaganem</b>
<b>Dr. Belkhir MAAMAR</b>	Professeur	<b>Examineur</b>	<b>Université d'ORAN</b>
<b>Dr. Fatima ZEROUAT</b>	MC. A	<b>Examineur</b>	<b>Université de Mostaganem</b>
<b>Dr. Zineddine GUEDEL</b>	MC. B	<b>Membre invité</b>	<b>Université de Mostaganem</b>



## Résumé

Les événements récents et la forte volatilité observée dans les marchés pétroliers nécessite une étude analytique et prévisionnelle approfondie dans le but de trouver un modèle économétrique fiable pour prévenir cette volatilité, ce travail procède à l'investigation empirique du marché pétrolier de l'O.P.E.P. la modélisation de l'évolution du prix spot au cours du temps dans le but d'extraire une mesure de la volatilité est effectuée à l'aide du modèle ARCH (R.F. Engle, 1982) puis GARCH (T.Bollerselv, 1986).

### **Mots clés**

Volatilité, prix spot, modèles :ARCH, GARCH, Autoregressif, Séries financiers.

## Abstract

the recent events and the high volatility observed in the oil market requires an in-depth analytical and forecasting study in the face of finding a reliable econometric model to prevent this volatility, this paper proceeds to empirical investigation of oil market in OPEP countries ARCH (R.F.Engel, 1982) and GARCH (T.Bollerselv, 1986) models have been applied in modeling evolution of spot price over time with an aim to exact a volatility measurement.

### **Key words**

Volatility, spot price, ARCH model, GARCH model, Autoregressif model, financial series.



# *Remerciements*

Merci au grand Dieu de m'avoir donné la force, la patience et le courage de mener ce travail jusqu'à la fin.

Je tiens, en premier lieu, à remercier mon encadreur, le Professeur Ahmed AMEUR AMEUR et l'enseignante Mme. Meriem BOUGUEROUA d'avoir accepté de diriger ce mémoire.

Je suis particulièrement reconnaissante pour leur lecture attentive de la version du manuscrit, pour leur générosité et leur conseil méthodologique et scientifique malgré ses importantes et occupantes fonctions.

J'exprime aussi mes précieux sentiments de gratitude et de reconnaissance à tous ceux qui m'ont enseigné, notamment, les cadres enseignants de la faculté des sciences économiques, commerciales et des sciences de gestion, Université ABDELHAMIB IBNOU BADIS de Mostaganem.

Je tiens en deuxième lieu à remercier les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail de recherche et de participer à la soutenance. Je tiens encore à dire combien j'apprécie tous ce qui m'a soutenu durant la préparation de ce mémoire, plus particulièrement, ma famille et mes amis.

Mes remerciements vont aussi à tous ceux qui ont collaboré à l'accomplissement de ce travail de près ou de loin.

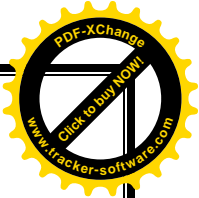
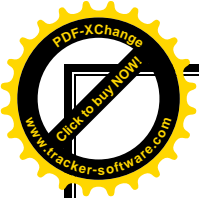
Par ailleurs, aussi attentive que soit la préparation d'un manuscrit d'un mémoire, erreurs et incohérence peuvent subsister. Je m'excuse d'avance auprès des lecteurs et tout mes remerciements de bien vouloir me les communiquer.



# *Dédicace*

*Je dédie ce travail à mon marie, mes chers parents, mon frère et mes sœurs, pour leur générosité, leur encouragement et leur soutien.*

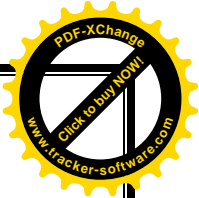
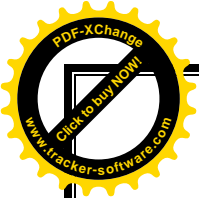
*Je dédie aussi le travail à mes beaux parents, mes beaux frères et mes belles sœurs, pour leur encouragement.*



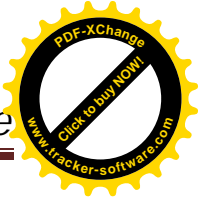
# *Sommaire*



<b>Introduction générale.....</b>	<b>4</b>
<b>CHAPITRE I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrolier.....</b>	<b>10</b>
Introduction .....	10
1.1. Le marché pétrolier .....	11
1.2. Le prix du pétrole .....	16
1.3. Les crises pétrolières .....	32
1.4. La volatilité.....	36
<b>CHAPITRE II : Techniques d'analyse et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH .....</b>	<b>44</b>
Introduction .....	44
2.1. Rappel des concepts techniques .....	46
2.2. Les modèles ARMA et les série financières .....	52
2.3. Les modèles ARCH et (G)ARCH .....	57
2.4. Processus de type GARCH (1986 : Tim Bollerselv) .....	65
2.5. Modèle ARMA-GARCH (1986 : Weiss).....	70
2.6. La prévision.....	71
<b>CHAPITRE III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH .....</b>	<b>81</b>
Introduction .....	81
3.1. Modélisation de la volatilité du prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH .....	82
3.2. Modélisation de la série des prix Spot du pétrole .....	95
3.3. La Prévision sur les prix de brut par ARCH .....	111
Conclusion générale .....	118
Bibliographie.....	122
<a href="#"><u>ANNEXES</u></a> .....	130



# *Introduction générale*



## Introduction générale

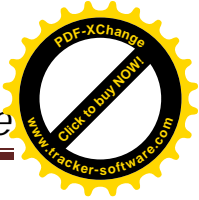
Dans les dernières décennies, de nombreux travaux de recherche ont été consacrés à l'étude des prix du baril de pétrole qui y est par nature très volatil, environ 30 fois plus que l'indice des prix à la consommation français. L'analyse des prix du pétrole est une préoccupation qui est loin d'être nouvelle pour les économistes et les investisseurs. Plusieurs raisons sont à la base d'un tel intérêt. Le pétrole est considéré comme la matière première la plus essentielle au développement industriel car c'est un facteur de production essentiel et même pour l'évolution du domaine des transports, le pétrole est à la fois une source d'énergie majeure pour toute économie moderne. Une autre motivation pour étudier le prix du pétrole est sa volatilité car des fluctuations brutales des prix du pétrole peuvent avoir des conséquences très graves sur l'économie mondiale.

Bien entendu, le prix du pétrole est toujours influencé par des facteurs politiques. De plus, le marché pétrolier s'est beaucoup transformé depuis les années quatre-vingts avec l'émergence de marchés "future" pour le pétrole. L'abandon d'un système de prix administrés au profit d'un système de marchés a certes aidé à déterminer le prix réel du pétrole. Mais il a aussi contribué à sa volatilité. Cette volatilité des prix de cette matière provoque l'apparition des crises appelées « crises pétrolières » et qui y ont des effets plus au moins graves sur les économies des pays importatrices et exportatrices du pétrole donc sur l'économie mondiale.

En raison des préoccupations traditionnelles concernant le pétrole, les chercheurs se sont principalement intéressés aux problèmes de ruptures graves, c'est-à-dire les crises pétrolières, ces problèmes restent importants. Cependant, dans les économies modernes. La volatilité des prix du pétrole est tout aussi prononcée à court terme. Dans ce contexte, il semble essentiel de tenir compte des crises pétrolières sur la volatilité.

La modélisation et la prévision de la volatilité des prix du pétrole qui a déjà conduit à beaucoup de travaux. Reste encore un défi technique. Parmi les modèles les plus populaires dans le cas du pétrole nous avons retenu les suivants : un modèle ARMA qui est considéré comme un modèle de prévision classique avec une hypothèse d'une





volatilité constante, et un modèle ARCH qu'on essaye dans ce travail de vérifier sa robustesse en matière de prévision.

## La problématique du travail

Depuis le mois de février 2011, l'instabilité géopolitique qui règne dans de nombreux pays producteurs de pétrole a maintenu le baril de pétrole au-dessus du seuil de 100 dollars. Ainsi, en avril 2011, au plus fort de la crise libyenne, le prix mensuel du Baril avait atteint 124 dollars. La résolution du conflit l'a fait baisser aux alentours de 110 dollars. Mais depuis la fin du mois de janvier 2012, le durcissement de la position de l'Union européenne et des États-Unis face à l'Iran, deuxième plus gros producteur de l'OPEP, a fait à nouveau grimper les cours au niveau d'avril 2011. Avec le risque de frappes sélectives sur l'Iran et la menace de tensions dans le détroit d'Ormuz, le prix du baril reste à des niveaux élevés : depuis la mi-février 2012, il oscille entre 120 et 130 dollars le baril. Ces variations préoccupent les économies des pays consommateurs ou offreurs du pétrole, en sens technique la forte volatilité des prix du pétrole rend la prévision des prix compliquée et très difficile car cela, nécessite une modélisation par des modèles développés qui améliorent la qualité des estimateurs et la qualité de la prévision.

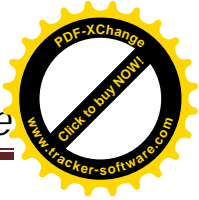
Au vu de ces événements et à l'intérêt général qui nécessite l'examen et l'étude approfondie sur la variation des prix du pétrole se pose les questions suivantes :

Faut-il toujours craindre la volatilité des prix du pétrole qui entraînent plusieurs crises pétrolières?

Peut-on minimiser les effets négatifs de la volatilité des prix du pétrole sur l'économie par l'intégration d'un modèle de prévision dans le système d'étude et d'analyse du secteur d'énergie?

Est-ce que les méthodes de prévision à cours terme sont utiles pour prévenir la volatilité des prix du pétrole ?

Est-ce qu'un modèle de type ARCH peut offrir des réponses sur le comportement de la volatilité des prix du pétrole et plus précisément en terme de prévision ?



C'est à ces questions que la présente étude, qui s'inscrit dans la logique des travaux réalisés jusque là sur la prévision de la volatilité des prix du pétrole et les techniques d'analyse et d'étude des séries financières tente de répondre.

## Hypothèses

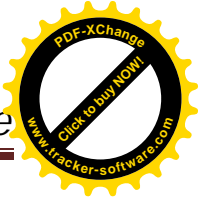
- Dans notre scénario prévisionnel, nous faisons l'hypothèse de l'absence d'un quatrième choc pétrolier, au sens des chocs des années 1970, mais plutôt à la poursuite de la tendance haussière du prix du pétrole, liée aux fondamentaux : dans un contexte général marqué par une forte instabilité géopolitique (Nigéria, Soudan, Syrie, Yémen), le baril demeurerait à 110 dollars en moyenne, la demande toujours dynamique des pays émergents compensant la baisse dans les pays développés.
- L'apparition d'une forte volatilité au cours des dernier mois de l'année 2015.
- Le prix du pétrole varie légèrement vers la baisse à court terme dû à la présence d'un choc autonome de demande mondial du pétrole.
- La modélisation ARCH (autorégressive hétéroscédasticité conditionnelle) facilite la compréhension de la volatilité sur les marchés financiers et améliore les estimations et l'analyse de la volatilité observé dans les séries des prix du pétrole.

## Objectif

Le principal objectif qui nous incitent à la sélection principale de ce thème est l'intérêt et la volonté de l'Etat de minimiser et gérer les actions négatives des crises pétrolières, Ce travail procède à l'investigation empirique du marché pétrolier de l'O.P.E.P. la modélisation de l'évolution du prix spot au cours du temps dans le but d'extraire une mesure de volatilité est effectuée à l'aide du modèle ARCH (R.F. Engle, 1982) puis GARCH (T.Bollerslev,1986) et de permettre aux décideurs de réduire l'incertitude autour des décisions futures des agents économiques.

## La méthodologie

L'étude de ce thème semble être importante du fait qu'elle se distingue des autres. En outre, elle peut nous apporter des éclairages sur l'impact de la forte nervosité au sien du marché pétrolier sur le prix du pétrole. Pour bien mener cette étude, et pour pouvoir



répondre à notre problématique, nous avons mené d'abord une étude théorique suivie ensuite d'une étude analytique qui à nécessité :

- Une recherche bibliographique qui nous a permis de cerner notre problématique, de fixer les objectifs de notre analyse et de prendre connaissance des aspects théoriques liés, notamment au développement du domaine économétrique et à l'apparition des nouvelles techniques qui ont mené la phase de la prévision très fiable et facile. Cela, constituent un des principaux axes de notre analyse ;
- Une analyse de données statistiques et économétriques portant sur l'évolution des prix spot du pétrole brut.

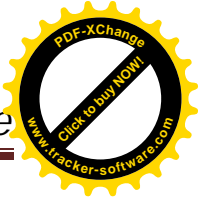
## Structuration du travail

Afin de répondre à notre problématique, nous avons structuré notre travail en trois chapitres:

Le premier chapitre intitulé : « **Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole** » sera consacrée à des différents types de marchés pétroliers et les fondements théoriques des chocs et contre choc pétrolier et de volatilité du marché pétrolier. Nous présentons ainsi une étude historique du prix du pétrole et sa détermination, ainsi qu'une représentation des crises pétrolières.

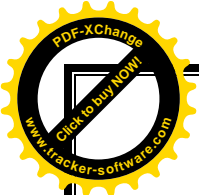
Le deuxième chapitre intitulé : « **Techniques d'analyse et de prévision des séries Financières ARCH et (G)ARCH** », ce chapitre sera consacré à une étude théorique sur les méthodes de prévision des séries temporelles citant les modèles ARMA est les différent classes des modèles ARCH avec un concept de base sur les différent termes économétriques utilisés dans le travail.

Ensuite, une application empirique sur le marché pétrolier sera présentée dans le troisième chapitre intitulé : « **La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH** » afin, de modéliser l'évolution du prix spot du pétrole. Au cours du temps et cela, dans le but d'extraire une mesure de volatilité à l'aide des modèles ARCH et GARCH, le chapitre scinde en trois sections.



Dans ce travail on va adopter deux modes d'approches descriptifs et quantitatifs dans l'analyse du sujet pour obtenir les résultats souhaités, et recueillir des données provenant de différentes sources :

- Rapports et brochures de l'Organisation des pays exportateurs de pétrole OPEC ;
- Bulletins et rapports de l'Organisation des pays exportateurs de pétrole OPEC ;
- Statistiques annuelles du Fonds monétaire international (FMI)



# ***CHAPITRE I***

## ***Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole***



# Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

---

## CHAPITRE I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrolier

### Introduction :

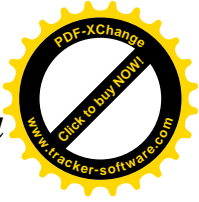
Le marché pétrolier est considéré comme le plus grand marché de matières premières produites au niveau mondial. Il connaît depuis longtemps d'important développement et de grandes perturbations qui génèrent des risques d'incertitudes quant à la stabilité de l'économie mondiale. Ainsi, aux compagnies pétrolières et aux traders sont venus s'ajouter les banques d'investissement, les gestionnaires de fonds mutuels ou de fons de pensions, les compagnies d'assurance et les fonds spéculatifs<sup>1</sup>.

Il a évolué d'un marché de commerce vers un marché financier où les horizons des échanges s'étendent au-delà de dix ans. Cette évolution s'est accompagnée par l'apparition de nouveaux intervenants sur le marché pétrolier. Cette financiarisation du marché du pétrole brut a entraîné des fluctuations (volatilités) accrues du prix du pétrole. En effet, l'élargissement de ce marché à d'autre intervenant s'est accompagné par l'introduction des instruments dérivés qui ont bouleversé les modalités de fixation des prix du baril entraînant ainsi son instabilité. Si la fonction économique centrale des marchés dérivés est la gestion des risques du prix, ils rendent aussi possible la spéculation et l'arbitrage considérés comme facteurs de déstabilisation de ces prix.

Il est utile de bien connaître le fonctionnement du marché pétrolier et en particulier la manière dont s'opère la détermination des prix de ce produit. Deux principales séries de facteurs permettent d'expliquer les raisons de l'instabilité des marchés pétroliers et les fortes crises pétrolières à savoir les facteurs déstabilisants des fondamentaux du marché (offre et demande) et les facteurs financiers ayant trait à la spéculation sur les marchés à terme et au cours du dollar américain.

---

<sup>1</sup> AMIC Etienne, DARMOIS Gilles et FAVENNEC J-P., « L'énergie, a quel prix ? Les marchés de l'énergie » Ed.Technip, Paris, 2006, P.31.



# Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

---

Dans ce chapitre nous essayons de faire une projection sur la définition du marché pétrolier, ses différents types ainsi que leurs fonctionnements d'un côté, et les modalités de détermination des prix du pétrole d'un autre côté en passant par l'instabilité et la forte volatilité du prix du pétrole et l'historique des différentes crises pétrolières qui ont touché le marché du pétrole.

## 1.1. Le marché pétrolier :

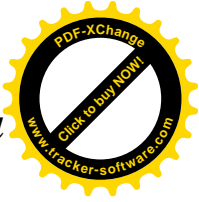
Actuellement, le pétrole est la principale source d'énergie dans le monde et le moteur de toute économie. L'échange de cette matière importante s'effectue dans un marché appelé le marché du pétrole. C'est un lieu où se rencontre l'offre et la demande de pétrole et de produits pétroliers. C'est sur ce marché que se forme le prix du baril de pétrole et ses divers dérivés.

Ce marché du pétrole est devenu, au cours des vingt dernières années, le plus grand marché de matières premières au monde. Il a connu de grandes évolutions passant d'un simple marché de commerce physique de pétrole et de produits pétroliers vers un marché financier sophistiqué où les horizons des échanges s'entendent d'aujourd'hui au-delà de dix ans, ces évolutions se sont toujours coïncidées avec des périodes de fortes fluctuations des prix du pétrole telle que celles de 1973, 1979 et 1986. Au cours de son évolution, le marché international du pétrole a attiré un grand nombre d'intervenants citant les producteurs de pétrole, les consommateurs de pétrole et les négociants en pétrole. En effet, suite à l'évolution du marché pétrolier, il présente actuellement une gamme complète d'instruments d'intermédiation et de couverture contre les risques de hausse et de baisse des prix du pétrole. Il joue un rôle de lissage dans le temps grâce à des échanges de contrats à différents termes qui permettent d'amortir les chocs d'offre et de la demande.

Le commerce du pétrole brut<sup>2</sup> ne se déroule pas dans un seul type de marché. On distingue deux types de marchés pétroliers différents l'un de l'autre dans le fonctionnement à savoir ; le marché physique et le marché financier

---

<sup>2</sup> Le pétrole brut est le produit le plus important et le plus activement transigé partout dans le monde, comme il y a de nombreuses variétés et qualités de pétrole brut.



# Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

---

## 1.1.1. Le marché physique :

Une grande partie du commerce du pétrole concerne des contrats à long terme entre vendeurs et acheteurs sous forme de transactions à terme. Néanmoins, il arrive souvent que les négociants veulent aussi acheter ou vendre du pétrole à court terme à cause de la demande qui évolue différemment que prévu, ou à cause des fluctuations de prix du pétrole. Comme la marchandise part alors sur place (en anglais «on the spot<sup>3</sup>») pour une autre destination, les transactions se déroulent en général environ en deux semaines. On désigne ce type de commerce par marché spot ou, aussi, marché libre ou au comptant. Aussi, on peut distinguer un deuxième type de marché pétrolier ou se déroule la plus part des transactions, c'est le marché à terme ou marché des contrats à terme, appelé aussi forward<sup>4</sup>. C'est un marché où les règlements se font à une échéance ultérieure, et prévue à l'avance de celle où les transactions sont conclues.

### a) Le marché physique au comptant :

Le marché physique au comptant<sup>5</sup> ou de spot désigne un marché du « moment » et du « lieu ». C'est un marché où un acheteur et un vendeur cherchent à conclure une transaction, à un moment donné, à un certain prix, pour une cargaison déterminée et livrable en un certain lieu. Ce type de marché fonctionne selon les mécanismes de la loi de l'offre et de la demande d'où son nom (marché libre), la confrontation entre l'offre des vendeurs et de la demande des acheteurs de pétrole sur le marché spot (libre) permet de fixer un prix spot du pétrole. Le marché au comptant n'a pas un lieu physique bien déterminé et il fonctionne 24 heures sur 24.

Au début des années 80, le marché spot est devenu un marché de référence du pétrole brut. Un ensemble d'éléments étaient en fait à l'origine de l'essor du marché spot entant que marché de référence, parmi lesquels, on citera notamment :

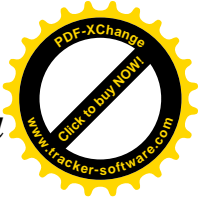
---

<sup>3</sup> Spot est un mot anglais désigne les transactions « au comptant » où indique une date de valeur, qui est la date du jour.

<sup>4</sup> Forward : contrat à terme, considéré comme un produit dérivé.

<sup>5</sup> Marché physique au comptant est appelé marché « Spot » (à court terme).





## Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

---

- La substitution à l'offre de l'OPEP et l'accroissement de l'offre dite Non-OPEP ou Hors-OPEP (l'ensemble des pays producteurs du pétrole qui ne sont pas membre de l'OPEP) ;
- La contraction de la demande due à la récession et à la rationalisation des usages du pétrole suite aux effets du second choc pétrolier 1979 – 1980.

Une telle situation dans laquelle le marché est excédentaire (offre supérieure à la demande) provoque une baisse du prix spot du pétrole et des produits pétroliers ce qui incite les acheteurs à recourir au marché physique au comptant pour satisfaire leurs besoins accroissant, ainsi le volume des transactions effectuées sur ce type de marché pétrolier et diminuant celles effectuées dans le cadre des contrats à long terme.

Dans le cas d'un marché déficitaire (offre inférieure à la demande), le prix spot connaîtra une hausse par rapport au prix fixé par les contrats à long terme<sup>6</sup>, et les producteurs vendeurs du pétrole et des produits pétroliers préféreront l'intervention et la vente sur le marché spot en passant des transactions au jour plutôt que des contrats de longue durée.

Au delà, on distingue sept principaux marchés physiques au comptant existant à travers le monde. Ces marchés sont différents les uns par rapport aux autres, du fait qu'ils traitent différents pétrole bruts et produits raffinés.

- a- Le marché de Rotterdam est le marché physique le plus important et cela pour le traitement de plusieurs pétroles bruts et produits raffinés ;
- b- Le marché méditerranéen traite des bruts de différentes qualités d'origines russes, libyennes et iraniennes ;
- c- Le marché du Golf du Moyen Orient traite des bruts d'Oman et des Emirats Arabes Unis. Et aussi de petites quantités de bruts d'Arabie saoudite ;
- d- Le marché de l'extrême Orient traite les bruts du Moyen Orient et aussi des quantités limitées des bruts de Malaisie et d'Inde ;

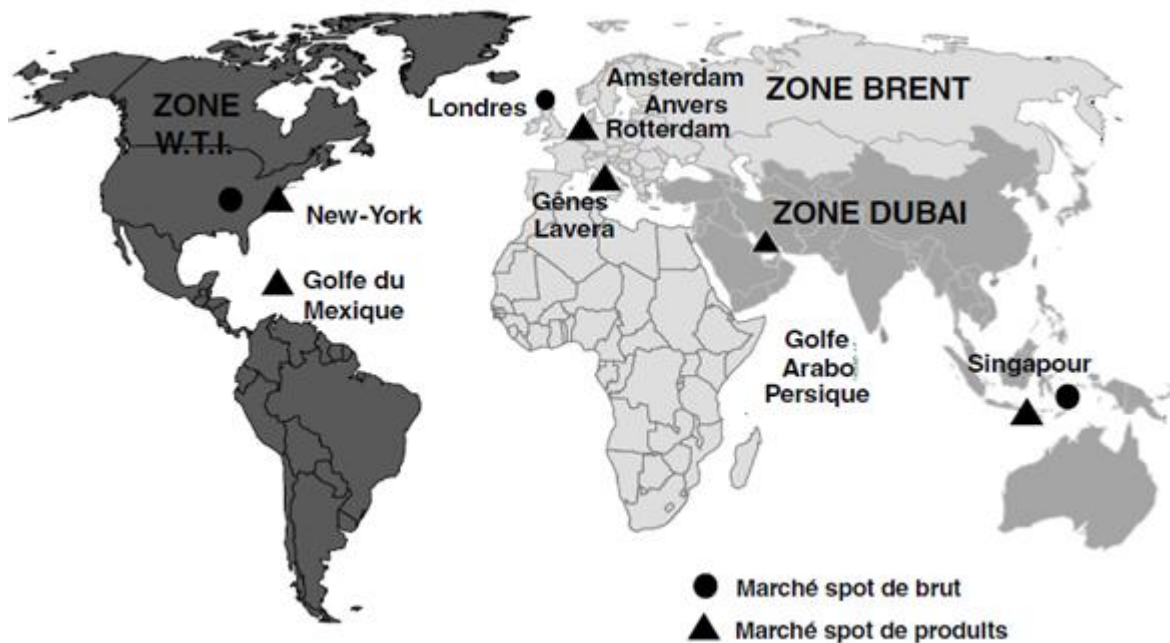
---

<sup>6</sup> Ces caractéristiques du prix spot ont été perçues lors de l'essai de modélisation VAR du marché du pétrole (cf. Labys W., Murcia V., Terraza M., 1992).

# Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

- e- Le marché des Etats Unies traite les bruts américains et quelques bruts Latino-américains ;
- f- Le marché de la Mer du Nord traite les bruts de Norvège et du Royaume-Unis ;
- g- Le marché de l’Afrique de l’Ouest traite des bruts du Nigéria et d’Angola.

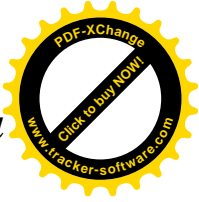
Figure N° 01 : Les grands marchés spot pétroliers internationaux



Source : Un dossier réalisé par la direction des matières premières et des hydrocarbures DIMAH

## b) Le marché physique à terme :

Le marché physique à terme ou à livraison différée du pétrole, appelé aussi « marché forward », est un marché sur lequel s'échangent des cargaisons de pétrole à une date ultérieure et pour un prix immédiatement fixé. L'achat et la vente des cargaisons



# Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

---

physiques se font pour des dates de changement non connues au moment de la transaction. En effet, le marché physique à livraison différée est un marché de « gré à gré » dont l'acheteur et le vendeur décrivent dans un contrat « ferme » sur mesure toutes les conditions de leur transaction qui doivent être respectées par les deux parties du contrat.

Le marché physique à livraison différée est utilisé par les vendeurs pour garantir l'écoulement de leur production future, et par les acquéreurs pour sécuriser leur approvisionnement, tout en bénéficiant de l'avantage de négocier et de fixer le prix au moment de la signature du contrat forward. Toute fois, ce type de transactions a prédominé uniquement jusqu'aux années soixante-dix pour céder la place au développement du marché physique au comptant et des marchés de couverture à terme. Son principal inconvénient a été le manque de souplesse ou de flexibilité, en effet, dans ce type de contrat, l'une des deux parties (acheteur et vendeur) ne peut se retirer qu'à condition de trouver un tiers de substituant homogènes qu'ils ne peuvent donc pas revendues aisément à un tiers.

## 1.1.2. Le marché financier (future) :

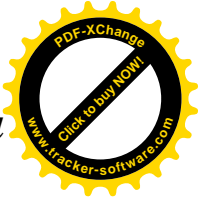
Ce marché financier est appelé également le marché à terme financier de pétrole ou encore le « marché de papier ». Le marché à terme financier du pétrole peut être aussi défini comme un marché sur lequel s'échangent des promesses de vente et d'achat de pétrole brut ou d'un produit pétrolier déterminé, pour une date ultérieure et moyennant un prix immédiatement fixé. Mais peu de contrats arrivent à échéance et donnent lieu à une transaction physique.

Ce marché prend sa définition sur la base de son système de transaction, sur lequel s'échangent des baril-titres (en anglais; paper barrel). Ce type de système est apparu au milieu des années 1980. Il s'agit de contrats à terme négociés sur les bourses de matières premières en particulier à New York (le NYMEX « New York Mercantile Exchange »), à Londres (l'IPE « International Petroleum Exchange ») et à Singapour (le SIMEX « Singapor International Monetary Exchange »).



# Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

---



Le marché à terme est assimilé souvent au marché financier dans le sens où il traite toutes les transactions financières qui servent, dans la majeure partie des cas, à se couvrir contre des fluctuations du prix du pétrole. Cela étant, on peut se demander si ces marchés à termes jouent bien leurs rôles de couverture contre l'incertitude des prix futurs du pétrole, devant la montée de l'utilisation des outils de couverture sous formes spéculatives.

Les différents marchés du pétrole brut existants et présenté dans la section précédente servent à la fixation des prix du pétrole et à l'étude et l'analyse de l'évolution des prix du pétrole.

## 1.2. Le prix du pétrole :

Le prix du pétrole est fixé sur le marché mondial. Le pétrole fait l'objet d'un commerce intense partout dans le monde et il peut être facilement expédié d'un marché à un autre. Par conséquent, le marché du pétrole s'étend à toute la planète et l'équilibre entre l'offre et la demande détermine le prix du brut partout dans le monde.

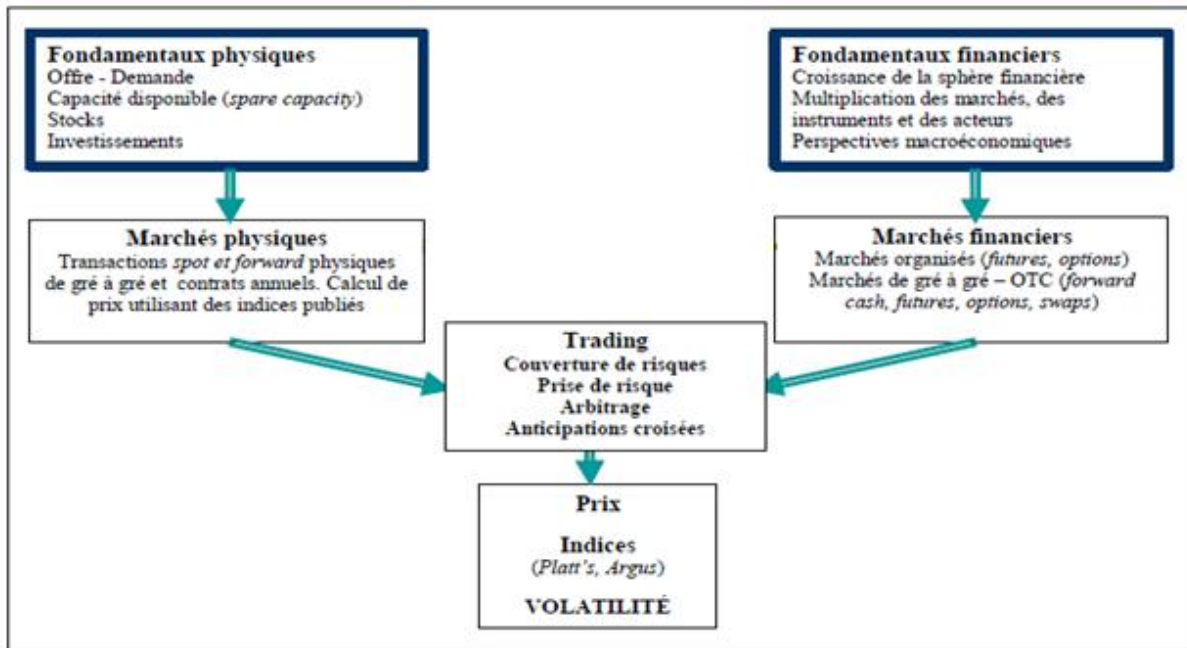
Les prix du pétrole brut sont très complexes, car il n'existe pas un seul type de pétrole brut mais une multitude, avec différentes caractéristiques. Sept marchés physiques (au comptant) déterminent chacun les prix de plusieurs bruts. Aujourd'hui, on assiste au développement des marchés financiers qui servent à la fixation des prix du pétrole et les rendent très volatiles.

Dans le graphe ci-dessus on présente les différents facteurs qui servent à la fixation des prix du pétrole.



# Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

Figure N° 02 : Les facteurs qui servent à la fixation des prix du pétrole.



Source : Centre de Géopolitique de l'énergie et des matières premières

## 1.2.1. Un historique sur le prix du pétrole:

Le pétrole est l'un des facteurs clés de l'économie mondiale, son prix résulte de la confrontation de l'offre et la demande sur le marché mondial. De ce fait, le prix du pétrole reste toujours sensible et réagit facilement aux crises politiques et économiques ou aux changements de la politique de production. Et delà, dans cette section on va projeter les phases les plus importantes dans l'évolution des prix du pétrole.

### 1.2.1.1 La fondation de l'OPEP :

Dans cette période la situation a grandement évolué, le prix du pétrole était largement sous contrôle. Les compagnies pétrolières multinationales du secteur privé dominaient et établissaient le commerce pétrolier, et même la liste des prix du pétrole. Encore au début des années 60, un baril de pétrole coûtait entre deux dollars et demi et trois dollars, guère plus que durant la Seconde guerre mondiale.

Au vu des bénéfices importants des compagnies pétrolières, les pays producteurs ont revendiqué une augmentation de leurs revenus, alors que les compagnies pétrolières s'employaient à diminuer encore leurs prix. Pour préserver leurs intérêts et prévenir un effondrement des prix du pétrole, cinq des plus importants Etats producteurs se sont



# Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

---

groupés et ont créé, en 1960, l'organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP). L'OPEP compte aujourd'hui onze pays membres: les cinq Etats fondateurs Iran, Irak, Koweït, Arabie saoudite et Venezuela, ainsi que six autres, Algérie, Libye, Nigeria, Indonésie, Qatar et Emirats arabes unis.

## 1.2.1.2 La variation des prix du pétrole dans les années 70 et 80 :

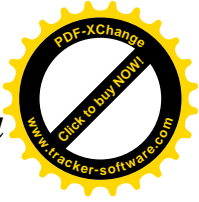
La première démonstration de puissance de l'OPEP remonte à 1973. Suite au déclenchement de la guerre au Proche-Orient, elle refuse les livraisons de pétrole vers les Etats-Unis et les Pays-Bas, provoquant ainsi une crise. Cette dernière, encore que plus psychologique que physique, a fait flamber le prix du pétrole de 40 pour cent en l'espace de six mois. Même si les prix sont redescendus au terme de l'embargo, ce soudain regain de confiance en soi des pays producteurs a changé la donne sur le marché pétrolier. Jusque vers le milieu des années quatre-vingt, l'OPEP a maîtrisé l'évolution des prix du pétrole. Cette domination n'était pas due au hasard: aujourd'hui encore, les onze pays membres de l'OPEP détiennent trois quarts des réserves mondiales de pétrole et fournissent quelque 40% de la production mondiale de pétrole.

## 1.2.1.3 La perte d'influence de l'OPEP :

Le renversement du régime iranien et la guerre Iran-Irak qui s'en est suivie ont fait grimper le prix du pétrole, comme jamais auparavant, à 35 dollars entre 1979 et 1981. Toutefois, de nouvelles restructurations du marché pétrolier ont stimulé la concurrence et entraîné la baisse des prix à dix dollars le baril. Les membres de l'OPEP ont réagi en fixant des quotas de production. Au travers de cette diminution artificielle de l'offre de pétrole, ils ont essayé de stabiliser les prix. La part croissante des producteurs de pétrole hors OPEP, et aussi le manque de discipline des membres de l'OPEP au niveau de la production, ont commencé à miner peu à peu l'influence du cartel. L'offre de pétrole étant abondante, les prix n'ont guère excédé les 20 dollars le baril dans les années nonante. En 1999, la crise imprévue en Asie a déclenché l'effondrement des prix à un niveau record au-dessous de 10 dollars.

## 1.2.1.4 Le prix du pétrole depuis l'an 2000 :

Aujourd'hui, l'OPEP ne détermine plus les prix du pétrole de façon autonome. Toutefois, le prix moyen du panier OPEP reste un indicateur de valeur pour la branche.



# Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

---

Dès lors que, de toute évidence, des prix élevés du pétrole affaiblissent l'économie mondiale, et diminuent du même coup la demande de pétrole et la capacité de concurrence à long terme de cette source d'énergie, tous les producteurs de pétrole membres de l'OPEP ou pas ont intérêt à des prix stables, mais pas excessivement élevés.

La flambée des prix du pétrole au tournant du siècle relève d'une multitude de facteurs.

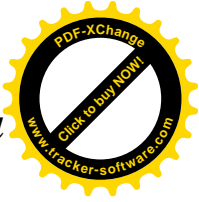
Les prix reflètent moins la situation actuelle de l'approvisionnement que l'attente des opérateurs du marché. La forte croissance économique dans le Sud-Est asiatique, la crainte d'actes terroristes et l'utilisation intense des capacités de production et de traitement peuvent influencer sur l'approvisionnement futur en pétrole et maintenir des prix élevés. Mais ces derniers, à leur tour, créent un attrait pour de nouveaux investissements, ce qui élargit l'offre.

## 1.2.1.5 La crise financière de 2008 :

Les perturbations sur les marchés financiers peuvent porter plusieurs noms selon les phénomènes qui manifestent sur la place. La crise de subprimes ou « subprime mortgage crisis » est une crise qui a touché le secteur des prêts hypothécaires américains et qui a participé au déclenchement de la crise financière de 2007-2008

La crise de subprime a affecter profondément le marché du pétrole en provoquant un pic très important a tendance haussière dans l'évolution des prix du pétrole ce qui a entraîné un choc pétrolier appelé le choc de 2008. C'est un choc de demande. Ce choc a débuté en 2008 avec une explosion des cours du pétrole dont les raisons sont principalement :

- Augmentation de la demande des pays émergents, en effet, la montée en puissance de la Chine, l'Inde et d'autre pays asiatiques sur les marchés mondiaux s'est accompagnée d'une hausse de leurs besoins en produits pétroliers ;
- L'augmentation de la demande des Etats-Unis suite à la baisse de ses capacités de production à partir de 2005 et suite à la vague de froid ;
- L'instabilité politique des pays du Moyen-Orient notamment avec la guerre en Irak ce qui a entraîné une réduction du volume total de la production mondiale ;
- La spéculation sur le marché mondial pétrolier et la baisse ininterrompue de la valeur du dollar ;



# Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

---

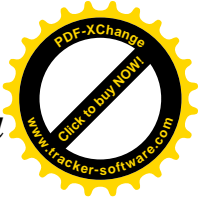
- Les attentats contre des infrastructures pétrolières au Nigeria (un grand pays producteur de pétrole en Afrique) ;
- L'inflation mondiale a aussi contribué à alimenter la hausse des prix du pétrole devenu une « valeur refuge » trop demandée, notamment par les spéculateurs, afin d'éviter les pertes dues à la dévaluation du dollar sur le marché.

Par conséquent, le prix du baril de brut a pu franchir le seuil des 100 dollars. Il était de 51,51 dollars/baril en janvier 2007 pour passer à 145,85 dollars/baril en juillet 2008. Cette année restera probablement dans les annales pétrolières au même titre que les chocs pétroliers de 1973 et 1980, le contrechoc de 1986 ou la rupture de 2004 en termes de demande. La hausse des prix a en effet été exceptionnelle jusqu'au mois de juillet ainsi évidemment que le décrochage rapide et massif observé ensuite. Cela traduit le résultat d'une myopie de l'ensemble des acteurs face au retournement économique très mal anticipé.

## 1.2.1.6 Fin 2011 début 2012 (de la crise libyenne à la crise iranienne) :

Les changements géopolitiques provoquent la volatilité des cours pétroliers, dans ce contexte l'Institut français du pétrole a estimé ainsi le montant de la prime de risque associée au conflit en Libye à 15-20 dollars par baril. Après la mini-flambée en avril 2011, avec un pic à 126 dollars, la résolution assez rapide de la crise libyenne a permis le recul des prix du baril en dessous de 110 dollars au quatrième trimestre 2011. En outre, la production libyenne, qui était tombée à 0 en août 2011 a progressé pour atteindre plus d'1 million de barils par jour (Mbj) selon la National Oil Company libyenne. Après l'amélioration des cours du pétrole en fin d'année, une nouvelle crise est intervenue début 2012, avec le renforcement des sanctions de l'Union européenne vis-à-vis de l'Iran. Le 23 janvier 2012, l'Union européenne a ainsi décidé un embargo pétrolier graduel contre l'Iran, prévoyant l'annulation de tous les contrats existants au 1er juillet, pour laisser le temps aux pays les plus dépendants du pétrole iranien (Grèce, Espagne, Italie) de trouver d'autres sources d'approvisionnement. En réponse, l'Iran a menacé de suspendre immédiatement toutes ses exportations vers l'Union européenne. La conséquence directe a été une augmentation du prix du pétrole, qui a atteint 120 dollars en moyenne en février 2012. Pourtant, le marché est plutôt équilibré, avec une offre égale à la demande au





# Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

---

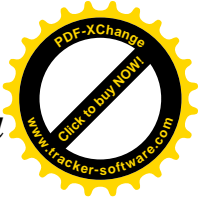
premier trimestre 2012 mais la crainte de pénuries subites a induit une nouvelle poussée des cours du pétrole. La volatilité du prix du pétrole et la nervosité des marchés pétroliers est palpable, comme en atteste l'augmentation du volume de positions ouvertes sur les marchés des Futures.

## 1.2.1.7 La stabilité des prix du pétrole en 2013 :

L'année 2013 a été remarquable par une stabilité des cours pétroliers, l'offre mondiale a progressé de 0,45 Mbj entre juin et décembre 2013. L'essentiel de cette hausse est le fait des producteurs non membres de l'OPEP, notamment les États-Unis.

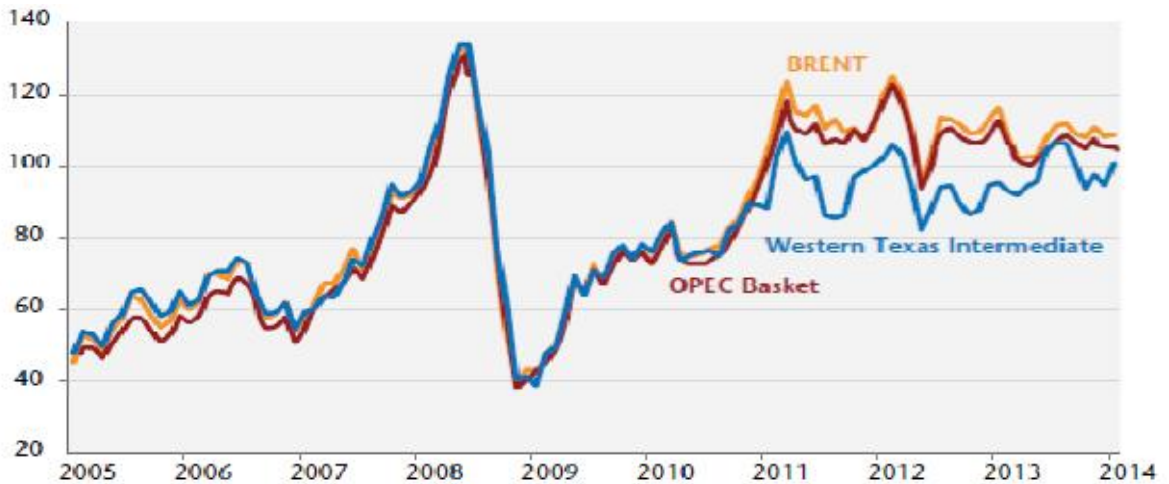
En revanche, l'offre des membres de l'OPEP a décliné depuis fin 2012, surtout en raison des ruptures d'approvisionnement en Libye, aux vols et sabotages qui se poursuivent au Nigéria et aux sanctions contre l'Iran, qui n'ont pas été totalement compensées par l'Arabie Saoudite. La production iranienne reste à des niveaux historiquement bas, elle atteint 2,7 Mbj en janvier 2014. Sur le plan de la demande, on observe un rééquilibrage en faveur des pays de l'OCDE, dont la demande s'est raffermie au deuxième semestre 2013.

Au premier semestre, on a assisté à une baisse radicale de l'écart de prix entre le Western Texas Intermediate (WIT) étatsunien et le Brent européen le spread est passé de 18 dollars en janvier 2013 à 3 dollars en juillet 2013, grâce à la mise en place de nouvelles infrastructures à Cushing, Oklahoma, et à la hausse de la production de brut léger aux États-Unis qui s'est substituée à l'importation de Brent. Pourtant, au deuxième semestre, l'écart s'est à nouveau creusé, en raison des tensions croissantes sur la Syrie et la Libye qui ont poussé le Brent à la hausse, et d'une nouvelle hausse des niveaux de stock à Cushing. Au troisième trimestre, les stocks américains ont retrouvé leur haut niveau de 2010, soit 97 jours de demande.



# Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

Figure N° 03 : Evolution des trois indices pétroliers de références 2005 février 2014.



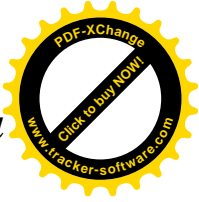
Source : Céline Antonine, Fiche pays département d'analyse et de prévision, « pétrole: une stabilité durable »,2013.

### 1.2.1.8 La baisse des cours en 2014 :

Le prix du pétrole a évolué sur les six premiers mois de 2014 entre 107 et 112 \$/b, soit des niveaux proches des moyennes annuelles observées depuis 2011 (111 à 108 \$/b) En moyenne mensuelle. Il a été affecté ponctuellement par les tensions géopolitiques, par exemple en février, quand la Russie a mis en alerte ses troupes le long de sa frontière avec l'Ukraine, ou en juin avec les conflits du nord de l'Irak. Mais l'absence d'impact sur la production a permis d'éviter des pressions sur les prix du pétrole. Il y a même eu de bonnes nouvelles avec la relance de la production libyenne à partir du mois d'août, relance qui reste fragile compte tenu du contexte intérieur très instable.

Après quatre années de stabilité autour de 105 dollars le baril, le prix du pétrole a fortement chuté depuis juin 2014. John Baffes, Ayhan Kose, Franziska Ohnsorge et Marc Stocher (2015) ont analysé les causes de la baisse des prix du pétrole et ses répercussions macroéconomiques et financières.

La chute des prix du pétrole est importante et possède plusieurs caractéristiques que l'on retrouve également avec la chute des années 1985-1986, cette chute des prix suivait une période de forte expansion de l'offre de pétrole de la part des producteurs n'appartenant pas à l'OPEP et elle résulte de la décision de l'OPEP d'accroître sa production et cette chute s'explique principalement par un affaiblissement de la demande mondiale et par plusieurs facteurs :



## Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

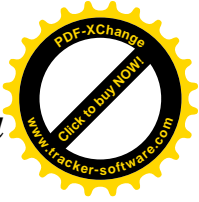
---

- Plusieurs années de hausses surprise de la production de pétrole non conventionnel ;
- Une faible demande mondiale ;
- Un changement significatif de la politique de l'OPEP ;
- L'assouplissement de certains risques géopolitique (réduisant les craintes de perturbation dans l'approvisionnement) ;
- Une appréciation du dollar américain.

Les estimations empiriques que réalisent Baffes et ses coauteurs suggèrent que les facteurs relatifs à l'offre expliquent davantage la baisse des prix du pétrole que les facteurs relatifs à la demande. Dans la mesure où la plupart des facteurs à l'origine de la baisse des prix du pétrole sont susceptibles d'être toujours à l'œuvre à moyen terme, les prix du pétrole devraient rester à un niveau durablement faible, sans pour autant cesser d'être volatiles.

Cette chute des prix du pétrole 2014 va entraîner de substantiels transferts de revenus des pays exportateurs de pétrole vers les pays importateurs, ce qui va stimuler l'activité économique à moyen terme. L'analyse des données historiques amènent Baffes et ses coauteurs à estimer qu'une baisse des prix du pétrole de 45% liée à l'offre tend à accroître la croissance mondiale de 0,7 à 0,8 points de pourcentage à moyen terme et à réduire l'inflation mondiale d'environ 1 point de pourcentage à court terme. La baisse des cours pétroliers va réduire les coûts de production des entreprises et accroître le pouvoir d'achat des ménages. Le solde extérieur des pays importateurs aura tendance à s'améliorer.

L'impact économique sur les pays exportateurs sera par contre négatif et bien plus immédiat. Les pays exportateurs vont connaître une détérioration de leur solde extérieur avec la contraction de la valeur des exportations, mais aussi une dégradation du solde budgétaire avec le tarissement des recettes fiscales tirées de l'exportation du pétrole. Les pays exportateurs auront alors tendance à connaître des sorties de capitaux, des pertes sur leurs réserves et de brutales dépréciations de leurs devises. Les banques centrales sont alors incitées à resserrer leur politique monétaire pour stabiliser l'inflation et préserver la confiance des marchés, ce qui contribuera également à déprimer l'activité domestique.



# Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

---

À partir de juillet, le marché est entré dans une phase de chute rapide des cours du pétrole qui sont passés, en moyenne mensuelle, de 112 \$/b en juin à moins de 100 \$ en septembre (97 \$) pour atteindre 80 \$ en novembre et moins de 70 \$ début décembre.

## 1.2.1.9 Les prix du pétrole pour l'année 2015 :

Sur la base des données de marché disponibles en décembre, une fourchette de prix compris entre 60 à 80 \$/b constitue un scénario crédible en moyenne pour 2015. C'est à ces niveaux de prix que l'on parvient à réduire les excédents envisageables sur le marché en renforçant la demande et en réduisant l'offre de *tight oil*. L'équilibre est atteint pour un prix de 50 à 60 \$/b au premier semestre et de 70 à 80 \$/b au second. Il est intéressant de noter que la correction des prix observée entre juin et décembre 2014 est cohérente avec cette estimation. Ce n'est donc pas la spéculation qui est en cause mais bien la perception de l'équilibre offre/demande du marché pétrolier.

À contexte équivalent, des ajustements significatifs ne sont cependant pas à exclure au fur et à mesure que les effets des prix bas sur l'évolution de la production des *tight oil* américains seront mieux connus, dans un sens comme dans l'autre : remontée des cours si les opérations de forage sont fortement impactées, ou au contraire baisse si les progrès techniques se poursuivent, notamment si le ciblage des formations à forer s'améliore et les efforts pour accroître la productivité moyenne des puits continuent de porter leurs fruits.

## 1.2.2 Les déterminants du prix du pétrole :

Contrairement à la majorité des biens et services, ce n'est pas une simple confrontation de l'offre et de la demande qui permet de déterminer le prix du pétrole. Mais il y a d'autres facteurs qui influencent sur le prix et qui expliquent une part de sa volatilité. La volatilité qui mesure les écarts de prix entre deux périodes a été sans aucun doute en 2008 l'une des plus violentes que l'on a connues dans l'histoire pétrolière. Ce n'est évidemment pas la seule et il suffit d'examiner l'évolution des prix du pétrole en dollars constant depuis l'origine de cette industrie jusqu'à la fin du 19e siècle. Pour rappel, et avant le premier choc pétrolier de 1973-1974, le prix moyen du pétrole de référence comme le (Arabian Light, le Brent ou le WTI) selon les périodes, était de l'ordre de 2 dollar le baril. Ensuite, ce prix moyen a dépassé les 12 dollar lors du premier choc



## Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

---

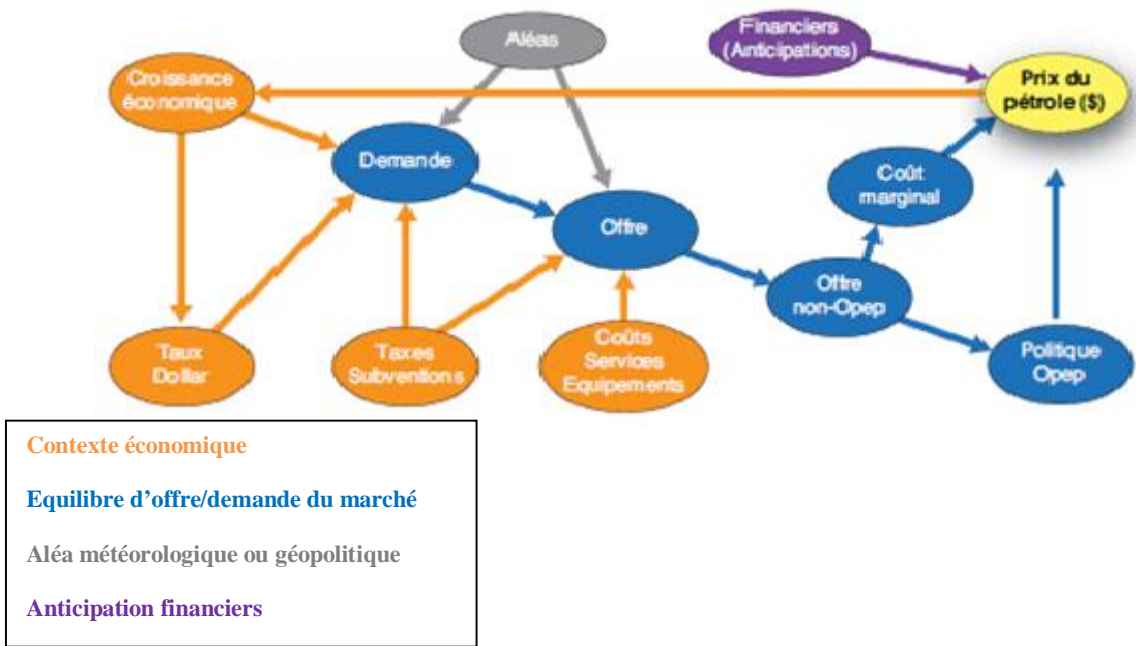
puis atteint le sommet de 40 dollar lors du deuxième choc en 1979-1980, avant de redescendre à moins de 10 dollar lors du contre-choc de 1986. Ce même prix a ensuite atteint les 40 dollar au moment de la guerre du Golfe de 1990 avant de chuter à nouveau à 10 dollar dans les années 1998-1999, franchis en mai 2004, les 50 dollar en septembre 2004, les 70 dollar en 2005 lors de l'ouragan Katerina et le seuil des 100 dollar le baril est atteint le 2 janvier 2008.

Les prix diminuaient ensuite sensiblement, du fait de certaines problèmes liées à la crise économique et au ralentissement de la demande en Asie, avant de s'effondrer à moins de 40 dollar fin 2008, en pleine crise financière et économique mondiale (crise de supprime). En 2009, les prix ont balancé entre 70 et 80 dollar le baril. En dollars constants de 2008, c'est seulement vers 90 et 100 dollars le baril que l'on retrouve le niveau atteint lors du second choc pétrolier (40 dollars à l'époque). Notons que ce niveau élevé avait déjà été observé au début de l'ère pétrolier, en 1869, à une époque où les prix du pétrole étaient très volatils aux États-Unis.

Il est d'usage pour pouvoir rendre compte de la complexité de la détermination des prix de faire appel comme le propose Péter Gobin, au triangle de détermination des prix, chaque coin du triangle représente un facteur qui a une influence sur le prix du pétrole à court, moyen et long terme. La figure 05 montre toute la complexité de la formation du prix du brut. Le contexte économique, l'équilibre offre demande du marché pétrolier, les aléas divers d'ordre météorologiques ou géopolitiques ainsi que les anticipations financières constituent les déterminants principaux du prix du pétrole. La croissance économique, elle-même influencée par le prix du brut, reste l'élément dominant de ce puzzle. Elle détermine l'évolution de la demande qui va définir la politique d'ajustement de l'offre des pays membres de l'Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP). L'offre des non-OPEP étant en effet toujours à son maximum, c'est l'OPEP qui doit ajuster sa production au marché pour tenter de limiter les baisses et parfois les hausses trop importantes.

# Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

Figure N° 04 : Les déterminants du prix du pétrole.

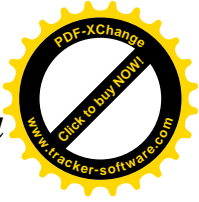


Source : Revu économique Panorama 2009.

Dans cette section on a étudié les déterminants des prix du pétrole explicatifs qui interfèrent dans le domaine de l'anticipation de l'évolution du prix de cette matière importante, ces déterminants sont nombreux et diversifiés. On peut seulement dénombrer les principaux déterminants retenus dans la littérature et voir dans quelle mesure ils jouent ou ont pu jouer un rôle. Nous avons retenu neuf facteurs qui, à des degrés divers, peuvent être considérés comme explicatifs. Ces neuf facteurs sont les suivants : épuisement prochain des réserves, la disponibilité de l'offre de pétrole et son coût d'accès, le taux d'utilisation des capacités de production, la capacité d'absorption des économies exportatrices, le rythme de croissance de la demande de pétrole, le pouvoir de marché de certains opérateurs, la spéculation sur les marchés, l'évolution du cours du dollar et les tensions politiques.

### 1.2.2.1. L'épuisement des réserves :

La prise en compte d'une rente de rareté (épuisabilité) dans les anticipations de prix peut elle expliquer la hausse des prix du brut ? Le pétrole, comme la plupart des autres sources d'énergie, est une ressource épuisable et cela lui confère un statut particulier.



## Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

---

Le prix de marché de cette ressource doit tenir compte non seulement du coût d'extraction, mais aussi du coût d'option que constitue cette valeur en terre sacrifiée (Gaudet et Hung, 1987). Cela conduit à deux conclusions opérationnelles (Percebois, 1997) :

- Il existe dans le cas d'une ressource dont la quantité est physiquement limitée une différence entre la recette marginale et le coût marginal, et cette différence correspond à un « coût d'usage » (rente de rareté) ;
- Le profit marginal du propriétaire de cette ressource épuisable doit croître au cours du temps, rythme du taux d'intérêt pris comme taux d'actualisation. Il est en effet indifférent pour ce propriétaire de transformer son stock en terre en un flux monétaire à la date  $t$  avec un profit marginal égal à  $\pi$  ou d'opérer cette transformation à la date  $(t+n)$  avec un profit marginal égal à  $\pi (1+a)^{t+n}$  où  $a$  le taux d'actualisation égal au taux d'intérêt.

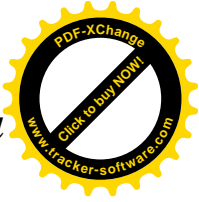
Hotelling en déduit le sentier optimal d'évolution du prix de la ressource suivant la structure du marché :

- En concurrence parfaite, le prix net des coûts d'extraction d'une ressource non renouvelable doit croître au rythme du taux d'actualisation ;
- En situation de monopole (privé), la recette marginale nette des coûts d'extraction d'une ressource non renouvelable doit croître au rythme d'actualisation. Le prix d'équilibre diffère du prix de concurrence par la prise en compte d'une rente de monopole qui est positive dès lors que l'élasticité-prix de la demande est, en valeur absolue, supérieur à l'unité<sup>7</sup>.

On peut utiliser cette approche en termes de rente de rareté pour interpréter le premier choc pétrolier. Au début des années 1970, la demande mondiale de pétrole augmentait sensiblement plus vite que l'offre disponible sur le marché, du fait d'une croissance économique soutenue dans les pays de l'OCDE. L'OPEP devait chaque année trouver 100 millions de tonnes supplémentaires pour équilibrer le marché. Le ratio réserves/production, qui était 40 ans dans les années 1960, était tombé à 30 ans début

---

<sup>7</sup> Newberry, Economic journal, septembre 1981.



# Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

---

1970. Anticipant la fin du pétrole, le marché considérait que la hausse des prix était inéluctable. Des tensions politiques (guerre du Kippour) ont suffi à provoquer cette hausse des prix, de façon plus brutale et dans un délai plus court que prévu.

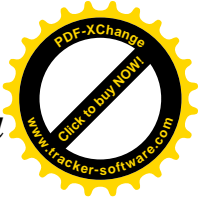
## 1.2.2.2. Les déterminants liés à l'offre disponible : structure de la production, taux d'utilisation des capacités disponibles et coût d'accès au brut :

Il faut rappeler qu'à l'échelle mondiale, l'offre de pétrole s'est fortement accrue depuis le premier choc pétrolier puisqu'on est passé de 56 Mb/j (soit 2 800Mtep par an) en 1973 à 87Mb/j en 2008 (soit 4 350Mtep par an). Mais la structure de l'offre s'est fortement modifiée depuis ce moment. La part des pays de l'OPEP est passée de 55 à 40% sur la période, alors que les trois-quarts des réserves prouvées se trouvent localisées au sien de l'OPEP.

Depuis 1991, la production mondiale de pétrole se fait avec un taux d'utilisation des capacités de production supérieur à 90%. Le chiffre était de 88% en 1981 et il avait chuté à 81% lors du contre-choc de 1986. L'AIE a estimé ce taux à près de 96% en 2007, ce qui explique les tensions sur le marché international. Des études économétriques menées par Gately (2004) et Ayouz-Reymondon (2008) tendent à montrer que l'élasticité-prix de l'offre de pétrole est très faible à court terme, et ne dépasse guère 0,6 à long terme. Cela peut expliquer en partie l'envolée des prix observée depuis 2007, l'OPEP ayant du mal à accroître sa production forte de capacités disponibles.

Le progrès technique avait permis de réduire fortement le coût d'accès au brut dans les années 1980-1990, ce qui explique que les huiles extra-lourdes du bassin de l'Orénoque au Venezuela, qui jusqu'en 1990 étaient considérées comme exploitables seulement si le baril dépassait 40 dollars, sont devenues ensuite rentables avec un baril à 20 dollars à la fin des années 1990. Mais les choses ont tendance à changer depuis 2000, et le coût d'accès au brut s'est élevé sous l'effet de deux facteurs : des coûts directs plus élevés et des contraintes environnementales plus fortes.





# Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

---

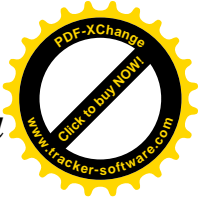
## 1.2.2.3. Les déterminants liés à la demande :

Pour beaucoup d'analystes, c'est dans la forte progression de la demande de pétrole, celle émanant des pays d'Asie (Chine et Inde) notamment, qu'il faut chercher la cause principale de la hausse des prix observée en 2007-2008. L'élasticité-prix de la demande de pétrole est faible à court terme si l'on se réfère à de nombreux travaux économétriques. Cela tient au fait que le pétrole bénéficie d'usages captifs (dans le secteur des transports) et que la substitution entre formes d'énergie requiert le plus souvent un renouvellement de l'équipement.

La Chine à elle seule a fortement contribué à l'augmentation de la demande mondiale, puisque les besoins chinois sont passés de 4,18 Mb/j en 1997 à 7,86Mb/j en 2007. La Chine est ainsi devenue le deuxième plus gros consommateur au monde, derrière les États-Unis, alors qu'elle n'est que cinquième producteur mondial derrière l'Arabie saoudite, la Russie, les États-Unis et l'Iran.

## 1.2.2.4. Le pouvoir de marché des producteurs :

Le deuxième choc pétrolier (1979-1981) peut être interprété comme la volonté des pays de l'OPEP de profiter d'un contexte politique favorable et d'une anticipation à la hausse des prix du brut pour introduire une rente de monopole dans le prix d'équilibre du pétrole, en plus de la rente de rareté qui avait été introduite lors du premier choc. Mais très vite, l'OPEP va être victime d'un effet de ciseaux. La stabilisation de la demande mondiale de fait des politiques de substitutions entre formes d'énergie et des efforts d'économies d'énergie, à un moment où l'offre des NOPEP (non OPEP) a pu être développée grâce à des prix de marché rémunérateurs, va se traduire par une chute de la part de l'OPEP dans la production mondiale de pétrole. Elle était de 54% en 1973, avait déjà chuté à 47% en 1979 puis à 39% en 1980, avant d'atteindre le creux de 30% en 1985. La hausse du cours du dollar entre 1980 et 1986 devait certes atténuer quelque peu le manque à gagner au niveau des recettes, mais la réalité était alors que l'OPEP, avec 30%, ne contrôlait plus le marché. Après avoir adopté une stratégie offensive, l'OPEP allait devoir opter pour une stratégie défensive dès 1982. Il lui fallait choisir entre deux solutions : soit une stratégie de défense du prix de marché, ce qui impose de mettre en place des quotas



# Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

---

de production, ce qui sera d'ailleurs la stratégie adoptée en 1983, soit une stratégie de défense de sa part de marché, ce qui impose d'opter pour une guerre des prix destinée à faire sortir du marché les producteurs NOPEP dont les coûts de production sont supérieurs à ceux de l'OPEP. Ce sera la stratégie impulsée fin 1985 par le ministre saoudien du pétrole, Cheikh Yamani, qui sera un échec relatif. Après l'instauration des quotas en 1983, la plupart des pays de l'OPEP se sont comportés en « free raiders » et l'Arabie a dû jouer le rôle de « swing producer », réduisant régulièrement son offre pour équilibrer le marché dans un contexte où tous les autres offreurs (au sien de l'OPEP ou hors OPEP) avaient tendance à accroître la leur. Il arriva un moment en 1985 où l'Arabie Saoudite produisit moins de pétrole que l'Angleterre en mer du Nord. C'est que la tentation de ne pas respecter les quotas est forte, surtout si le prix du marché est rémunérateur. Comme le rappelle S. Boussena, « l'OPEP est forte quand les prix sont faibles et elle est faible quand les prix sont forts ».

## 1.2.2.5. La spéculation et le cours du dollar :

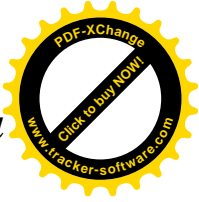
Les déterminants liés à la spéculation et au cours du dollar expliquent-elles pour partie la volatilité des prix vers la hausse observée en 2007 et début 2008 sur le marché au comptant dit de spot ?

Plusieurs investigations et enquêtes ont été menées touchant l'influence de la spéculation sur la volatilité du prix du brut aux États-Unis par the Commodity futures trading commission. Ces enquêtes n'ont pas pu démontrer une influence décisive des marchés à terme sur les marchés au comptant<sup>8</sup>. Il faut, certes, s'entendre sur le concept de spéculation. Une étude économétrique menée par Antoshin et Samiei au FMI (2006), sur englobant la période 1997-2005, montre que les transactions effectuées sur les marchés à terme réagissent, en les amplifiant parfois, aux fluctuations observées sur les marchés du physique au comptant.

Les spéculateurs font monter le prix sur le marché physique au comptant via des achats de précaution, qui se traduit notamment par du stockage supplémentaire.

---

<sup>8</sup> selon Ayouz et Reymondon ;



# Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

---

Ainsi, la forte hausse du cours du pétrole lors du second choc pétrolier dans un contexte où le cours du dollar augmentait, portait en elle les germes du contre-choc observé en 1985-1986, cette hausse ayant favorisé les substitutions inter énergétiques et ayant permis d'investir massivement dans du pétrole hors OPEP.

Les interactions entre le cours du dollar et le prix du pétrole sont complexes, et on trouve des arguments historiques qui justifient tantôt une influence du cours du dollar sur les prix du pétrole, tantôt l'inverse.

On peut tout d'abord trouver des arguments expliquant comment le cours du dollar peut influencer le prix du pétrole. « Une dépréciation du dollar réduit le prix réel du pétrole pour les pays importateurs du pétrole »<sup>9</sup>

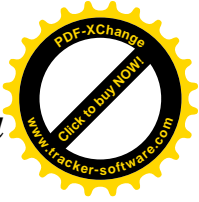
A l'inverse, on peut aussi considérer que les fluctuations du prix du pétrole sont de nature à influencer le cours du dollar. Une augmentation du cours du pétrole induit une demande accrue de dollars puisque les transactions sont libellées en cette monnaie, ce qui tend à accroître le cours du dollar. D'un point de vue empirique, on trouve plutôt des études qui montrent que le prix du pétrole est une variable explicative de l'évolution à long terme du cours du dollar.

## 1.2.2.6. « La capacité d'absorption » des tensions politiques :

Quant aux tensions politiques internationales, leur lien avec la hausse du prix du pétrole est évident, même si ces tensions ne sont pas la seule cause, voire la cause principale de la montée des prix du brut. Ce fut le cas lors des deux chocs pétroliers, lors du conflit Irak-Iran ou des guerres du Golfe (notamment 1990). Des accidents sur des infrastructures ou des intempéries (ouragans) sont également de nature à engendrer une hausse des prix, comme ce fut le cas par exemple en 2005 avec l'ouragan Katerina qui a fortement réduit la capacité de raffinage dans le Golf du Mexique, ces tensions se manifestent principalement sur le marché spot (un tiers des échanges) mais, par ricochet, se transmettent ensuite à l'ensemble des transactions (les deux tiers des échanges se faisant via des transactions OTC).

---

<sup>9</sup> Article Coubert Mignon et Peno (2008).



# Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

---

Les théories économiques disponibles dans la « boîte à outil » des économistes nous aident-elles à mieux comprendre le fonctionnement des marchés internationaux et la formation des prix du pétrole ? La réponse est positive lorsqu'on analyse les évolutions passées. Indiscutablement, la théorie des ressources épuisables de Hotelling et l'approche en termes de rente de rareté nous aident à comprendre les anticipations des acteurs sur le marché.

La théorie de l'innovation est elle aussi utile pour comprendre comment le progrès technique utilisé au niveau de l'exploration – production peut faire baisser le coût d'accès aux hydrocarbures et du coup infirmer, pour un temps du moins, la thèse de Hotelling.

La théorie de la cartellisation est d'un grand secours pour comprendre les modifications observées au cours du temps sur les divers marchés, caractérisés tantôt par une structure relativement concurrentielle, tantôt par une structure oligopolistiques génératrice de rentes. Mais c'est peut être au niveau de la « financiarisation » des activités énergétiques que l'apport théorique a été le plus novateur ces dernières années.

## 1.3. Les crises pétrolières :

Le marché pétrolier est par nature instable. Un excès de la demande en millions de barils par jour conduit à des mouvements vers la hausse, et un déficit de la demande de certaines de barils se traduit par les mêmes mouvements vers la baisse. Ces marchés pétroliers ont connus plusieurs périodes de fluctuation des prix du pétrole depuis 1973 à nos jours. Ces fluctuations peuvent être un mouvement soit à la hausse soit à la baisse qui ont considérablement secoué les économies des pays importateurs et des pays exportateurs de pétrole. Un choc ou un contre-choc pétrolier peut provoquer une instabilité sur le marché pétrolier comme au prix du pétrole. Les crises pétrolières peuvent être de natures différentes selon les cas et selon leurs incidences sur les indicateurs de l'activité économique et sur les marchés boursiers. Et delà, on distingue deux types de crises pétrolières à savoir ; un choc pétrolier et un contre-choc pétrolier.



# Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

---

## 1.3.1. Le choc pétrolier :

Un choc pétrolier désigne la situation dans laquelle une économie fortement tributaire des importations de pétrole et soumise à une augmentation brutale et significative des prix sans qu'il lui soit possible à court terme de réagir autrement que par :

- Soit un recours aux prélèvements réels sur la richesse nationale ;
- Soit un recours à l'endettement extérieur<sup>10</sup>.

Un choc pétrolier doit répondre aux caractéristiques suivantes :

- Une hausse brutale des prix qui perturbe profondément et durablement l'économie d'un pays ;
- Une augmentation des prix des importations qui doit être plus rapide que celle des produits nationaux et il ne faut pas qu'elle soit échelonnée dans le temps ;
- Le produit importé doit être nécessairement un produit stratégique pour l'économie importatrice (un produit sans substituts nationaux immédiatement disponibles) et par conséquent, une élasticité – prix de la demande très faible à court terme. On peut distinguer deux types de ; le choc de l'offre et le choc de demande.

### a) Un choc d'offre :

Un choc pétrolier est dit d'offre s'il s'agit d'un choc économique provoqué par une modification brutale de l'offre du pétrole sur le marché, combinant hausse du prix et baisse de la production. Ce type de choc qui résulte d'une rupture de l'offre et en grande partie provoqué par le comportement des producteurs à qui revient la décision d'augmenter ou de diminuer l'offre du pétrole sur le marché.

Ces dernières années, le marché pétrolier a connu deux chocs pétroliers d'offre à savoir :

- Le choc pétrolier de 1973 dû à la guerre du Kippour ;

---

<sup>10</sup> PERCEBOIS Jacques, « Economie de l'énergie », Préface de MAINGUY Yves, Ed.Economica, 1989,p.24.

# Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

➤ Le choc pétrolier de 1979 dû à la révolution iranienne.

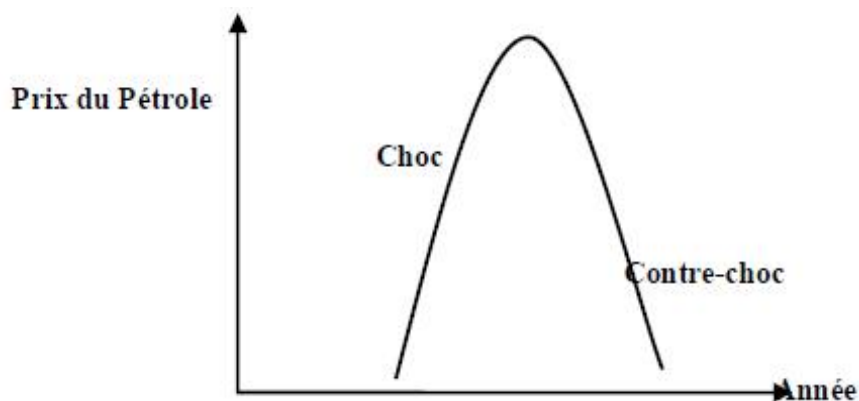
Ces deux chocs d'offre étaient survenus en phase de décélération économique, ainsi, l'augmentation des prix du pétrole n'est pas provoquée par une augmentation de la demande mais par une baisse de la production et de l'offre sur le marché à cause de conflits au Moyen-Orient.

## b) Un choc de demande :

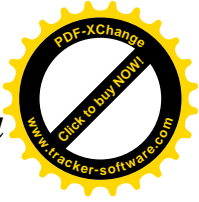
On parle d'un choc pétrolier de demande lorsque la hausse des prix du pétrole a pour origine une demande supérieure à l'offre, ainsi, ce type de choc résulte du comportement des consommateurs ou d'une manière générale des demandeurs du pétrole sur le marché qui dépend de la situation économique d'un pays, autrement dit, le choc pétrolier de demande suit dans un contexte d'expansion économique qui encourage la consommation pétrolière.

Le troisième choc pétrolier de 2008 est un exemple de choc de demande dans la mesure où il est dû à l'augmentation de la demande notamment surtout, des pays émergents qui connaissent une période d'expansion économique très importante durant ces dernières années.

Figure N° 05 : Représentation d'une crise pétrolière



**Source :** HAOUA Kahina, Mémoire de magister « l'impact des fluctuations des prix du pétrole sur les indicateurs économiques en Algérie »



# Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

---

## 1.3.2. Le contre-choc pétrolier :

On désigne par contre-choc pétrolier une chute brutale des prix du pétrole sur le marché mondial du pétrole, c'est une combinaison soit d'une baisse des prix et d'une contraction de la demande soit d'une baisse des prix et d'une offre abondante. Le marché pétrolier a connu 3 contre-choc à savoir ; Le contre-choc pétrolier de 1986, Le contre-choc de 1997-1998, Le contre-choc pétrolier de 2009 et le dernier contre-choc de 2014.

## 1.3.3. La relation entre un choc et un contre-choc pétrolier :

La différence qui existe entre un choc pétrolier, qui est une augmentation considérable et imprévisible du prix du pétrole, et le contre-choc pétrolier qui est une chute brutale du prix du pétrole sur les marchés internationaux du pétrole. Il existe une relation de causes à effets entre un contre-choc pétrolier et un choc pétrolier, cette relation signifie qu'un choc pétrolier peut être à l'origine d'un contre-choc pétrolier (et vis-versa) dans la mesure où, la hausse des prix encourage d'un côté la production (offre) du pétrole et de produits pétroliers et décourage d'un autre côté la consommation (demande) de pétrole et cette situation finira par faire subir, aux prix du pétrole, une baisse due à l'augmentation de l'offre et la diminution de la demande du pétrole sur le marché.

Il est à noter qu'un prix faible du pétrole n'encourage pas les pays producteurs à produire puisqu'ils ont intérêts à limiter leurs productions à fin que les prix augmentent.

Inversement, des prix trop élevés entraînent une baisse de la consommation donc la baisse des cours.

Sur le marché pétrolier, offre (pays exportateurs) et demande (pays importateurs) se rencontrent pour échanger. Un prix d'équilibre se fixe. La flambée des cours du pétrole à des effets négatifs sur les pays importateurs et des effets positifs sur les exportateurs de pétrole. L'effet de ces fluctuations résulte des transferts du pouvoir d'achat entre ces pays. La gravité de la perte du pouvoir d'achat des pays importateurs dépend de l'intensité pétrolière de la production et de l'élasticité de la demande de pétrole par rapport au prix. Certaines études effectuées par Fried, Schulze (1975), Dohner(1981) et Humt, Isard Laxton (2000) montrent bien que la volatilité des cours du pétrole entraîne les transferts

# Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

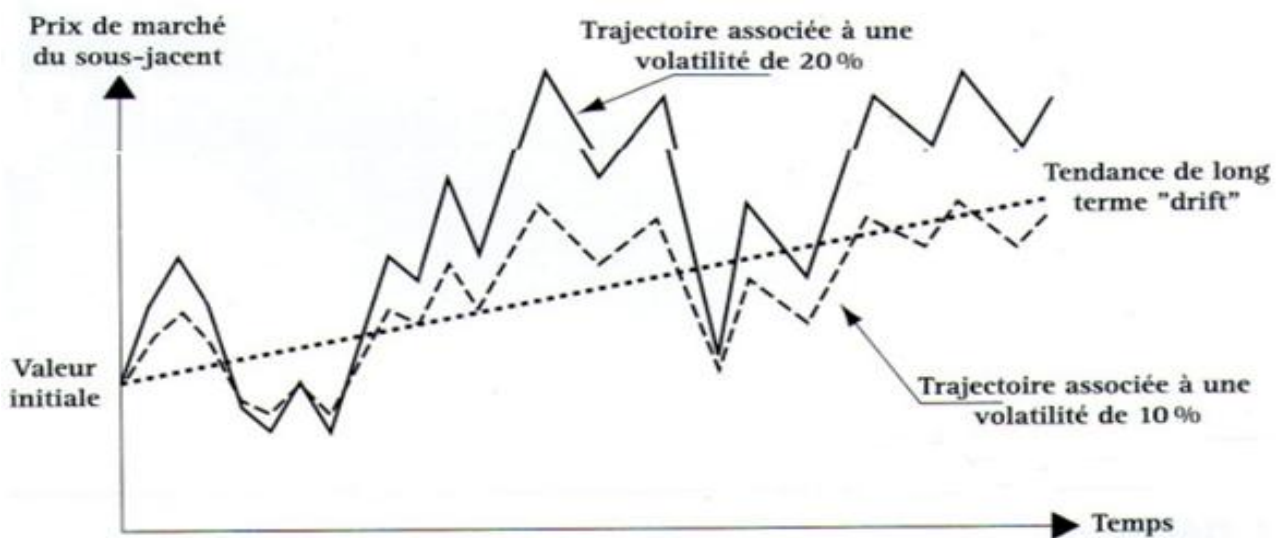
des richesses des économies importatrices de pétrole vers les économies exportatrices, ce qui devrait réduire la demande mondiale. En effet, l'augmentation des prix de pétrole relativement aux prix des autres biens et services échangés, profite aux fournisseurs (pays exportateurs) et coûte aux acheteurs (pays importateurs).

## 1.4. La volatilité:

### 1.4.1. Définitions :

- **Définition 1** : « La volatilité est un paramètre d'incertitude, de dispersion autour de la trajectoire moyenne d'un sous-jacent donné. Il existe donc a priori au moins autant de volatilités que de sous-jacents »<sup>11</sup>.

Figure N° 06 : Comparaison des trajectoires des sous-jacent pour différents niveaux de volatilité



Source : COUGNAUD Benoit, « L'univers des risques en finance ».

La volatilité peut donc s'interpréter graphiquement comme un paramètre de dispersion déterminant l'éloignement potentiel entre la trajectoire réelle du prix d'actif et la tendance de long terme. Cette dernière peut au choix être déduite du coût de portage de l'actif ou par simple lecture des prix de marché des contrats futurs portant sur le sous-jacent.

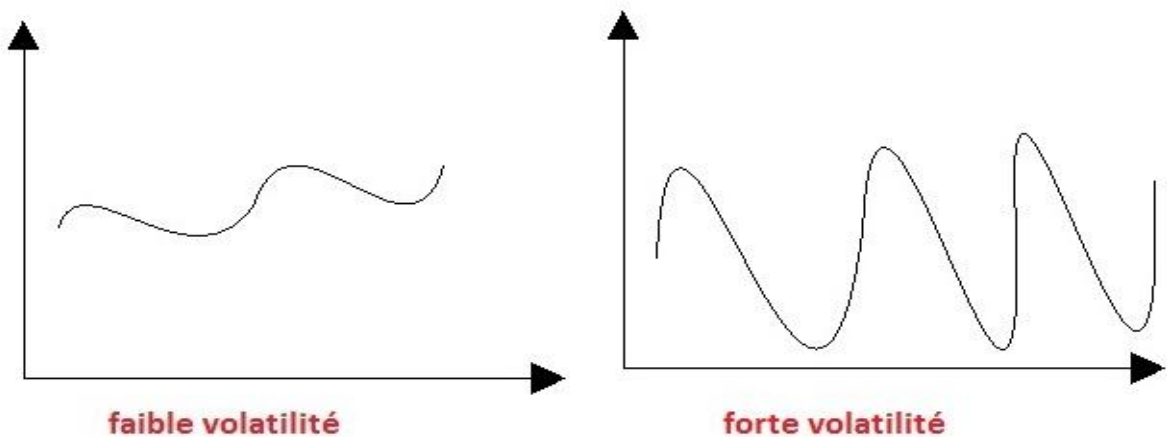
<sup>11</sup> COUGNAUD Benoit, « L'univers des risques en finance ».



# Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

- **Définition 2 :** la volatilité  $\sigma$  est définie comme l'écart-type de la rentabilité par unité de temps lorsque les rentabilités sont exprimées en composition continu. Lorsque la volatilité est utilisée dans le cadre de l'évaluation des options, l'unité de temps est généralement l'année. Cependant, dans le cadre de la gestion des risques, la volatilité est généralement évaluée en base journalière.
- **Définition 3 :** la volatilité mesure l'amplification de la variation d'un cours. Autrement dit, un titre financier dont la volatilité est élevée signifie que son cours varie fortement, voire de façon exagérée sur une période donnée. A l'inverse, un titre dont la volatilité est faible signifie que son cours varie peu et/ou de manière assez cohérente. La volatilité s'exprime en pourcentage.

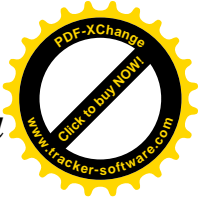
Figure N° 07: Les différentes catégories de la volatilité



Source : abcbourse.com.

## 1.4.2. Les facteurs de la volatilité :

La volatilité dépend d'un très grand nombre de facteurs propres à chaque entreprise, à chaque secteur et à chaque époque. Toutefois, cinq facteurs structurels sont à l'origine de la plupart des fluctuations de cours. Ils sont liés aux anticipations et aux comportements des investisseurs et des spéculateurs, aux asymétries d'information et à l'incertitude sur la valeur fondamentale des actions.



## Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

---

### 1.4.2.1. Les comportements réversibles des offreurs et des demandeurs de titres :

Ceux qui demandent et ceux qui offrent des titres peuvent parfaitement permuter leur rôle sans frais ni délai, au gré des changements d'anticipation. Une entreprise industrielle ou commerciale, en revanche, ne peut pas modifier son activité sans frais ni délai. Renault, par exemple, ne peut pas racheter les voitures qu'elle a vendues, à la manière d'un opérateur rachetant un titre qu'il vient de vendre. Ces changements rapides d'anticipations expliquent pourquoi l'action Renault peut varier de plusieurs dizaines de points de pourcentage en quelques séances, alors que son chiffre d'affaires ne varie guère que de 10 % au plus d'une année sur l'autre.

### 1.4.2.2. L'interdépendance de l'offre et de la demande de titres :

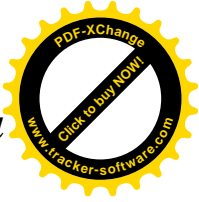
Les courbes d'offre et de demande sont souvent liées de façon négative. Une même information peut engendrer simultanément une variation de la demande et une variation en sens inverse de l'offre, d'où des écarts de cours importants. Ainsi, lorsqu'une information arrive sur le marché et qu'elle est jugée favorable à une action.

### 1.4.2.3. La volatilité de la valeur fondamentale des actions :

La valeur fondamentale ( $V$ ) représente l'actualisation des dividendes futurs. Gordon et Shapiro ont proposé la formule suivante :  $V = d / (i + \pi - g)$  où  $d$  est le dividende actuel,  $i$  le taux d'intérêt,  $g$  le taux de croissance anticipé des dividendes et  $\pi$  la prime de risque. Une variation du taux d'intérêt entraînant souvent une variation de même sens de la prime de risque et de sens inverse du taux de croissance  $g$  des dividendes, elle peut donc avoir des effets considérables sur  $V$ . Fondamentale de l'action devient, au sens littéral, incalculable, ce qui explique sans doute les excès commis sur les titres liés aux nouvelles technologies durant la " bulle " et les volatilités extrêmes de ces titres.

### 1.4.2.4. L'asymétrie d'information :

Sur un marché boursier, tous les intervenants sont confrontés aux incertitudes sur les valeurs fondamentales des actions. Mais ils ne disposent pas tous des mêmes



# Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

---

informations. Ainsi, contrairement aux analystes financiers, l'épargnant particulier n'a ni le temps ni les moyens d'acquérir et de traiter l'information.

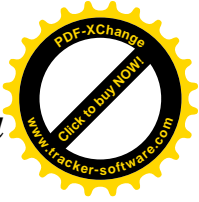
L'asymétrie entre les intervenants informés, ou qui se croient tels, et les autres, moins informés, peut être à l'origine des comportements grégaires qui augmentent la volatilité. Pendant les périodes de forte incertitude, lorsque la volatilité est déjà élevée, les épargnants et les gérants de portefeuille moins informés, qui ont conscience de ne pas pouvoir former leur jugement en toute objectivité, s'en remettent à l'observation du comportement des autres opérateurs, leur attribuant ainsi une information plus complète. De ce fait, ils achètent quand tout le monde achète et ils vendent quand tout le monde vend. C'est le comportement d'imitation ou encore de "mimétisme" (A. Orléan, 1999). Dans la mesure où il tend à faire passer un grand nombre d'ordres semblables simultanément, lesquels ne trouvent pas immédiatement des contreparties en nombre suffisant, le comportement d'imitation contribue à augmenter la volatilité des marchés au-delà de la volatilité liée à l'incertitude sur la valeur fondamentale.

## 1.4.2.5. Le rôle controversé des marchés dérivés :

Le développement récent des marchés de produits dérivés a considérablement étendu les possibilités offertes aux opérateurs financiers. Par exemple, sur le marché Euronext regroupant les Bourses d'Amsterdam, Bruxelles, Lisbonne et Paris, il est aujourd'hui possible d'acheter ou de vendre à crédit la plupart des actions cotées au premier marché ainsi que de nombreuses actions cotées au second et au nouveau marché. Il est également possible d'acheter ou de vendre des options d'achat (call) ou de vente (put) sur des titres ou sur des indices, en choisissant une échéance pouvant aller jusqu'à cinq ans. L'accès d'un grand nombre d'opérateurs aux opérations d'achats à crédit et de ventes à découvert et, depuis 1973, aux opérations à options, est souvent considéré comme un facteur d'augmentation de la volatilité. Or, l'existence de produits dérivés peut aussi jouer un rôle stabilisateur des fluctuations de marché.

## 1.4.2.6. Une volatilité très irrégulière :

Les différents facteurs de la volatilité peuvent se renforcer mutuellement. Par exemple, une modification des taux d'intérêt directeurs par les autorités monétaires



# Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

---

peut modifier les anticipations de dividendes et les notations financières des entreprises qui déterminent leur prime de risque. Ces modifications affectent les valeurs fondamentales, déclenchant des vagues d'achats ou de ventes. Le résultat de cet enchaînement de facteurs peut être une forte volatilité des cours boursiers, sans commune mesure avec la variation attendue du taux d'intérêt. Comme de longues périodes de stabilité des taux directeurs sont interrompues par de courtes périodes de réajustements, les périodes de forte volatilité alternent ainsi avec les périodes de faible volatilité.

Il en va de même avec la publication d'une information sur une action. Si elle laisse anticiper une modification de sa valeur fondamentale par le biais d'une modification du taux de croissance du dividende ou de la prime de risque, ou des deux en même temps, elle peut déclencher des ordres d'achat ou de vente qui ne trouveront pas immédiatement de contreparties, à cause de la corrélation négative entre les offreurs et les demandeurs de titres, engendrant ainsi une volatilité élevée. Les informations affectant la valeur fondamentale d'une action arrivant, elles aussi, de façon intermittente sur le marché, la volatilité boursière présente de ce fait des cycles irréguliers.

### 1.4.3. Limitation et contrôle de la volatilité :

Les instances régulatrices des bourses ne se préoccupent guère de la volatilité de leurs indices de marché tant qu'elle ne dépasse pas une valeur critique voisine de 25 %. En revanche, les volatilités annualisées supérieures inquiètent, comme cela a été le cas en 1987 et comme cela reste souvent le cas depuis 1997, et ceci pour deux motifs principaux : d'une part la protection de l'épargne et le bon fonctionnement des marchés, d'autre part la prévention du risque systémique.

Plus la volatilité est élevée, plus il est possible de réaliser des gains ou des pertes en très peu de temps. En effet, au-delà de 1 % de volatilité quotidienne, les gains potentiels dépassent les coûts de transaction des investisseurs. Ces gains ou ces pertes sont souvent disproportionnés par rapport aux variations des valeurs fondamentales des actions, ils donnent alors l'image d'un " casino ", comme s'il n'y



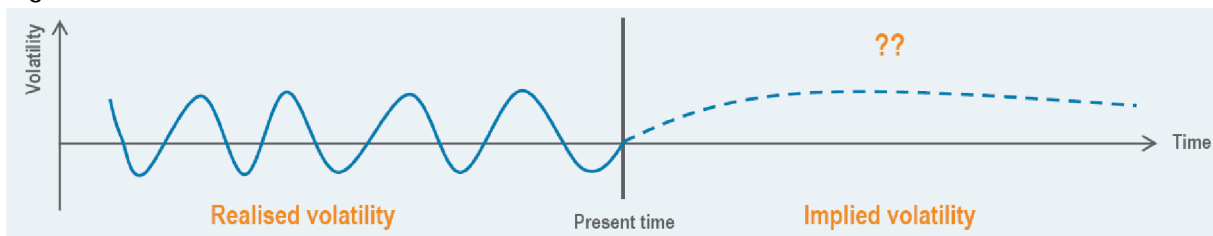
# Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

avait plus de valeur fondamentale du tout. Cette image péjorative dissuade les épargnants et de nombreuses institutions gérant l'épargne d'investir en bourse. Il est en effet difficile de démarcher ou de conserver une clientèle d'épargnants échaudés par des pertes importantes ou effrayés par leur éventualité.

## 1.4.4. Les différentes mesures de la volatilité :

Deux mesures concurrentes de la volatilité s'opposent : la volatilité historique (réalisée) déterminée à partir des évolutions de prix passés, et la volatilité implicite reflétant l'instabilité anticipée par le marché quant à l'évolution des prix future.

Figure N° 08: Les différentes mesures de volatilité



Source : Licence 3 Paris Dauphine – Philippe GIORDAN

### 1.4.4.1. La volatilité historique (réalisée) :

Celle-ci s'obtient très simplement à partir de la trajectoire passée du sous-jacent. Elle est le plus souvent supposée égale à l'écart type des variations quotidiennes historiques du sous-jacent avant d'être ramenée sur une base annuelle pour favoriser les comparaisons.

Cette mesure ne tient pas compte de l'écart par rapport à une trajectoire moyenne détruite des prix de future. Elle se contente, en effet, de mesurer la dispersion des variations quotidiennes autour de la moyenne consistée historiquement. Elle capte l'information d'étenue dans les trajectoires historiques des cours. En revanche, elle n'incorpore aucune information tirée de l'environnement de marché actuel, elle ne prend donc pas en compte les anticipations de marché quant à l'évolution future du cours du meme sous-jacent. Cette mesure est donc résolument orientée vers le passé. elle peut, néanmoins, revêtir un caractère prédictif lorsque le comportement antérieur du marché est supposé constituer un estimateur fiable des évolutions futures.



# Chapitre I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrole

---

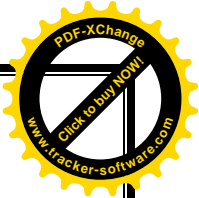
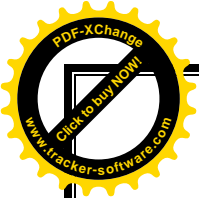
## 1.4.4.2. La volatilité implicite :

A l'inverse, la volatilité implicite constitue une mesure foncièrement orientée vers les perspectives d'évolutions futures. Elle capte l'information incluse dans les derniers prix d'options constatés sur le marché et intègre les anticipations des intervenants quant au risque de dispersion des prix autour des cours à terme attendus (ceux-ci sont estimés sur la base de la courbe des prix future). A l'inverse de la volatilité historique, cette mesure est donc résolument orientée vers le future « forward looking »

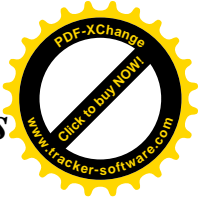
## Conclusion du premier chapitre :

Les fluctuations instable et continue des prix du pétrole, enregistrée depuis les années soixante-dix soulevait de nombreuses questions quant à la détermination du prix du pétrole à un moment donné et au jeu complexe des interdépendances entre les marchés physiques et les marchés financiers, ainsi que entre leurs fondamentaux respectifs. Un examen des facteurs qui sont à l'origine de la détermination du prix du pétrole fait apparaitre plusieurs facteurs entrant en jeu pour expliquer l'extrême fluctuation et la volatilité du prix du pétrole.

Devant l'insuffisance des capacités de production du pétrole et devant l'augmentation de la demande mondiale s'y ajoute aussi la spéculation parfois brutale sur les marchés pétroliers qui amplifie la volatilité et l'évolution du prix du pétrole en rapport, surtout, avec des facteurs politiques pour expliquer l'instabilité accrue du prix du pétrole



***CHAPITRE II***  
***Techniques de***  
***prévision des séries***  
***financières ARCH et***  
***(G)ARCH***



## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

---

### CHAPITRE II : Techniques d'analyse et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

#### Introduction

De nombreuses techniques de prévision ont été développées pour le domaine des séries financières. Une importante classe du modèle stochastique utilisé pour la prévision décrit la relation entre la future valeur de la série étudiée et les valeurs précédentes de la même série. Le choix du modèle dépend de la nature de la série (stationnaire, non stationnaire, linéaire, non linéaire). Dans ce travail, on s'intéresse à l'étude des séries temporelles stationnaires, pour ce type de série Box et Jenkins (1970)<sup>12</sup> ont proposé d'utiliser les fonctions d'autocorrélation (ACF)<sup>13</sup> et d'autocorrélation partielle (PACF)<sup>14</sup> empiriques. Leur méthodologie repose sur le fait que la fonction d'autocorrélation théorique d'un modèle moyenne mobile  $MA(q)$  et la fonction d'autocorrélation partielle d'un modèle autorégressif  $AR(p)$  ou un modèle mixte  $ARMA(p,q)$ . L'estimation des paramètres d'un modèle  $ARMA(p,q)$  lorsque les ordres  $p$  et  $q$  sont supposés connus peut se réaliser par différentes méthodes dans le domaine temporel : la méthode des Moindres Carrés Ordinaires (modèle sans composante  $MA$ ,  $q = 0$ ) dans ce cas, on retrouve les équations de Yule Walker. En remplaçant les autocorrélations théoriques par leurs estimateurs, on peut retrouver les estimateurs des MCO des paramètres du modèle par la résolution des équations de Yule Walker, Maximum de Vraisemblance approché (Box and Jenkins 1970), Maximum de Vraisemblance exacte (Newbold 1974, Harvey et Philips 1979, Harvey 1981). Les modèles  $ARMA$  sont plus utilisés dans le domaine des séries temporelles, elles donnent des résultats robustes en matière de prévision.

Les techniques d'analyse des séries financières qui sont caractérisées par une forte volatilité aléatoire dans le temps, ce phénomène que l'on retrouve dans de nombreuses séries temporelles, notamment celles qui portent sur les prix des actifs financiers. Il s'agit

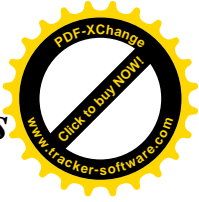
---

<sup>12</sup> Box et Jenkins ont proposé une approche qui consiste en une méthodologie d'étude systématique des séries chronologiques afin de déterminer, dans la famille des modèles  $ARIMA$ , le plus adapté à représenter le phénomène étudié.

<sup>13</sup> En Anglais : Autocorrelation

<sup>14</sup> En Anglais : Partial Autocorrelation





## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

---

d'élaborer des modèles estimés à l'aide de séries chronologiques de données où les résidus sont faibles. Pendant un certain nombre d'observations, puis plus grands pour les périodes suivantes, et ainsi de suite. Ce phénomène se retrouve souvent sur les séries des cours boursiers car sur ces marchés financiers la volatilité des prix est forte. Bien que l'ampleur des variations du cours évolue dans le temps, les chercheurs utilisaient généralement des méthodes statistiques basées sur l'hypothèse d'une volatilité constante comme celle des modèles ARMA. Cette hypothèse introduisait de nombreux biais. L'analyse et la modélisation de la volatilité d'une série chronologique est importante pour les acteurs de la finance.

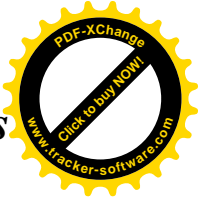
Le concept d'hétéroscédasticité conditionnelle autorégressive (ARCH - AutoRegressive Conditional Heteroskedasticity) proposé en 1982 par le professeur Robert Engle<sup>15</sup>, lors d'une étude sur la variance de l'inflation pour la Grande-Bretagne, a permis de mieux modéliser la volatilité saisonnière de nombreuses séries temporelles. L'idée fondamentale du modèle ARCH est que la variance de l'aléa au temps  $t$  dépend de l'importance des aléas au carré des périodes précédentes. Le modèle ARCH est donc une extension du modèle linéaire quand la variance conditionnelle du terme de l'erreur peut varier dans le temps.

Et de la, les techniques régulièrement utilisées dans le domaine des séries financières sont les modèles ARCH et GARCH ces modèles sont montrés suffisamment robustes pour prévoir n'importe quelle série financière. La méthodologie ARCH s'est rapidement diffusée car elle a des avantages à la fois descriptifs et prédictifs. Elle facilite la compréhension de la volatilité sur les marchés financiers d'indices boursiers ou d'options, améliore les estimations des risques de gestion de portefeuilles ou l'analyse de la volatilité des rendements boursiers.

Dans ce chapitre nous essayons de faire une présentation sommaire des techniques d'analyse des séries chronologiques. Nous essayons d'étudier les caractéristiques statistiques en termes de stationnarité des séries financières temporelles et les différents

---

<sup>15</sup> Robert F. Engle est né en 1942 à Syracuse, dans l'Etat de New York. Il grandit à Media (Pennsylvanie) avec ses deux soeurs jumelles dans une famille de la "classe moyenne" américaine, son père étant chimiste et sa mère professeur de français.



## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

---

tests. Nous présentons d'abord les différentes classes des modèles (AR, MA, ARMA) en étudiant leurs propriétés et la méthode de Box-Jenkins. Tout cela fait l'objet d'une section des concepts de bases. Nous présentons ensuite les modèles ARCH et GARCH qui nous permettront l'étude des séries financières et faire un aperçu sur la prévision de la série étudiée.

### 2.1. Rappel des concepts techniques :

Cette section se propose de familiariser le lecteur aux différentes applications liées à l'économétrie des séries temporelles, orientée, bien sûr, vers l'économie et la finance. La démarche adoptée, à cet effet, on commence par un rappel de concepts-clé jugés importants pour une meilleure appréhension des applications qui suivront :

#### 2.1.1. Chronique : (série chronologique, série temporelle):

Une chronique est une suite finie de valeurs numériques représentant l'évolution d'une variable aléatoire indexé par le temps. C'est une suite des observations des variables des intervalles de temps réguliers. Autrement, pour une chronique, les observations doivent être consécutives et d'une fréquence identique. L'objet des séries temporelles est donc l'étude des processus.

#### 2.1.2. Processus stochastique, variables aléatoires : (processus aléatoire, fonction aléatoire) :

Un processus stochastique correspond à l'évolution d'une variable aléatoire  $Y_t$  dans le temps. Une variable aléatoire est la valeur prise par  $Y_t$  à chaque instant du temps.

##### a) Stationnarité et bruit blanc :

###### ▪ **Processus stationnaire :**

La stationnarité est un concept clé pour la validité d'une régression sur des séries temporelles. D'un point de vue statistique, la stationnarité suppose que le passé est comparable au présent et au futur. Ainsi, une série chronologique est stationnaire, au sens strict, si sa distribution de probabilité ne change pas au cours du temps : cette



## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

définition forte de la stationnarité implique que la distribution jointe  $(Y_{t+1}, Y_{t+2}, \dots, Y_{t+n})$  ne dépende pas de  $t$  ; si c'est le cas, on conclut que  $Y_t$  est non stationnaire.

Par ailleurs (définition faible de la stationnarité), un processus temporel  $Y_t$  est stationnaire si :

**$E[Y_t] = \mu$  pour tout  $t$**  C'est-à-dire la série stationnaire en moyenne.

**$VAR [Y_t] = E(Y_t^2) = \sigma^2$  pour tout  $t$**  C'est-à-dire la série est stationnaire en variance.

**$Cov [Y_t, Y_{t+k}] = E[(Y_t - \mu)(Y_{t+k} - \mu)] = \gamma_k$**  C'est-à-dire l'auto-covariance ou la covariance entre deux périodes  $t$  et  $t+k$  est uniquement fonction de la différence des temps  $k$ .

Un processus est stationnaire si celui-ci n'a ni trend, ni saisonnalité et de ce fait, il fluctue autour d'une moyenne constante. Il apparait donc que la stationnarité est une exigence qui assure l'utilisation du modèle en dehors de la période sur laquelle il a été estimé

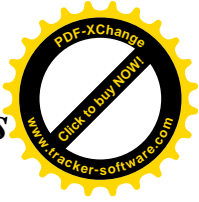
- **Processus non-stationnaire**

Une chronique ou un processus qui ne vérifie pas les hypothèses citées ci-dessus est dite non stationnaire. Donc, il faudra stationnariser la série des données étudiées avant de passer à son estimation et ensuite à la prévision. La méthode de stationnarisation dépend de la source de la non stationnarité de la chronique. Pour identifier cette source de la non stationnarité, le modèle suivant doit être testé :

$$Y_t = \alpha_0 + \alpha_i Y_{t-i} + \epsilon_t$$

Le test est basé sur les Critère de sélection dit « Statistique de  $t$  de Student ( $t$ ) » avec une Probabilité critique (Prob).

<p>*Test de signification du trend :</p> <p><math>H_0 : \alpha_i</math> est non significatif</p> <p><math>H_1 : \alpha_i</math> est significatif</p>	<p>* Test de signification de l'intercept :</p> <p><math>H_0 : \alpha_0</math> est non significatif</p> <p><math>H_1 : \alpha_0</math> est significatif</p>
--	---



## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

On dit qu'une série chronologique est non-stationnaire en tendance si le test de student (t) confirme que le coefficient de trend  $\alpha_i$  est significativement différent de zéro. Ce paramètre sera significatif si et seulement si la Probabilité de t student est inférieure  $< 0,05$  et si le coefficient de t Student est supérieur à  $> 1,96$  dans le cas contraire, il est non significatif.

Après l'estimation du modèle :

$$Y_t = \alpha_0 + \alpha_{it}Y_{t-i} + \varepsilon_t$$

Et après le calcul des paramètres, l'Examen de la stationnarité d'une série chronologique s'effectue selon les résultats de coefficients obtenus. Ci après le tableau N° 01 montrant les différentes décisions qui peuvent être prises après estimation. Dans ce tableau on a utilisé les termes du logiciel Eviews.

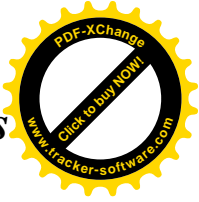
Tableau N° 01 : Examen de la stationnarité d'une série chronologique

Décision	Type de modèle	Processus	Méthode de stationnarisation
$\alpha_i$ est significatif	Trend and intercept	Trend	Ecart à la tendance
$\alpha_i$ est non significatif	Intercept		
et			
$\alpha_0$ est significatif		Differency	
$\alpha_i$ est non significatif	(None)	Stationnary (DS)	Filtre aux
et	Ni tendance ni		différences
$\alpha_0$ est non significatif	constante		

### Remarque :

Ci après la terminologie correspondante en français :

- 1- Trend and intercept : un modèle autoregressif qui contient une Tendance et une constante



## *Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH*

---

- 2- Intercept : un modèle autoregressif qui contient seulement la constante
- 3- None : un modèle autoregressif qui ne contient ni tendance ni constante
- 4- Les processus TS : (trend stationary) qui représentent une non-stationnarité de type déterministe ;
- 5- Les processus DS : (Differency stationary) pour les processus non-stationnaires aléatoires.
  
- 6- Pour stationnariser un processus TS, la bonne méthode est celle des moindres carrés ordinaires, pour un processus DS il faut employer le filtre aux différences.

### **Procédure :**

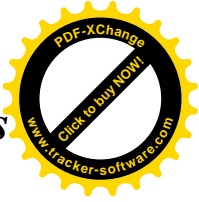
- Si le modèle est un TS :  $\left\{ \begin{array}{l} 1/ \text{Estimer le modèle } Y_t = \alpha_0 + \alpha_{jt} Y_t + \varepsilon_t \\ 2/ \text{Générer les résidus } \hat{\varepsilon}_t \\ 3/ \text{Tester si } \hat{\varepsilon}_t \text{ est stationnaire} \end{array} \right.$
  
- Si le modèle est un DS : il faut différencier ou intégrer la série  $Y_t$  étudiée « d » fois ( $d \geq 1$ ) pour obtenir une chronique stationnaire, c'est-à-dire  $Y_t \rightarrow I(d)$ .

Un processus DS non-stationnaire  $Y_t$  est intégré d'ordre  $d$ , noté  $I(d)$ , si en le différenciant « d » fois, on obtient un processus stationnaire.

Nous ne pouvons identifier clairement les caractéristiques stochastiques d'une série chronologique que si elle est stationnaire. L'étude de stationnarité s'effectue essentiellement à partir de l'étude des fonctions d'autocorrélation ou de leur représentation graphique appelée « Corrélogramme ». Une série chronologique est stationnaire si elle ne comporte ni tendance ni saisonnalité ni dérive. Nous allons donc, à partir de l'étude du Corrélogramme d'une série chronologique, essayer de montrer de quelle manière nous pouvons mettre en évidence ces deux composantes.

Nous pouvons distinguer différents types de séries stationnaires :

- A mémoire, c'est-à-dire dont on peut modéliser, par la loi de reproduction, le processus ;



## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

- Identiquement et indépendamment distribuée notée *i.i.d* ou appelée Bruit Blanc « White Noise » ;
- Normalement (selon une loi normale) et indépendamment distribuée notée *n.i.d.* ou appelée Bruit Blanc Gaussien.

**b) Bruit blanc :**

Lorsque le processus est bien estimé, les résidus entre les valeurs observées et les valeurs estimées par le modèle doivent se comporter comme un bruit blanc. On notera par la suite  $\hat{\varepsilon}_t$  le résidu d'estimation du modèle. Un processus  $\hat{\varepsilon}_t$  est un bruit blanc lorsque les trois hypothèses sont vérifiées :

**1- Hypothèse de centralité ou Test de nullité de la moyenne des résidus :**

$$E(\varepsilon_t) = 0; \text{ pour tout } t$$

Soit T le nombre de données disponibles (après avoir enlevé les retards correspondant aux termes AR et MA). Si le processus  $\{\varepsilon_t, t \in Z\}$  est *i. i. d.*  $(0, \sigma_\varepsilon^2)$ , on doit avoir :

$$\bar{\varepsilon}_t = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \hat{\varepsilon}_t \xrightarrow{T \rightarrow \infty} 0$$

Par application du théorème central limité, on montre que :

$$\frac{\bar{\varepsilon}_t}{\hat{\sigma}_{\varepsilon t}} \sqrt{T} \xrightarrow{T \rightarrow \infty} N(0,1)$$

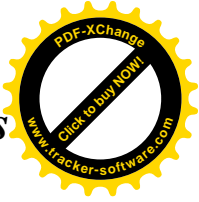
Dés lors, on peut tester la nullité de la moyenne des résidus en construisant l'intervalle de confiance sur  $\bar{\varepsilon}_t$  au seuil standard de 95%.

$$P \left\{ \bar{\varepsilon}_t \in \left[ \frac{-1,96 \hat{\sigma}_{\varepsilon t}}{\sqrt{T}}, \frac{1,96 \hat{\sigma}_{\varepsilon t}}{\sqrt{T}} \right] \right\} = 0,95$$

- 2- Hypothèse d'homoscédasticité :** Un bruit blanc est par définition homoscédastique. Tous les tests d'hétéroscédasticité peuvent ici être employés. Test de Chow (comparaison des variances des résidus sur des sous périodes de la chronique).

$$E(\varepsilon_t^2) = \sigma^2, \text{ pour tout } t = t - k$$

- 3- Absence d'autocorrélation des erreurs Test d'autocorrélation des résidus :**



## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

$$E(\varepsilon_t, \varepsilon_{t-k}) = 0; \text{ pour tout } t \neq t - k$$

Si les résidus  $\{\varepsilon_t, t \in Z\}$  obéissent à un bruit blanc, il ne doit pas exister d'autocorrélation dans la série. On peut alors utiliser les différents tests suivants :

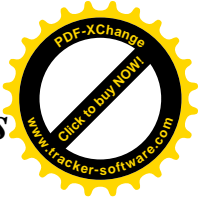
1. Test de Durbin Watson : test de l'autocorrélation d'ordre 1.
2. Etude de la FAC et de la FAP : on doit vérifier qu'il n'existe aucune autocorrélation ou autocorrélation partielle significativement non nulle pour le processus étudié. Cette étude est prolongé par les tests du "porte-manteau"
3. Tests du "porte-manteau" ou tests d'adéquation globale du modèle. Ces tests reposent sur l'idée que la FAC d'un bruit blanc ne doit pas révéler d'autocorrélations non nulles. En pratique, on utilise deux tests : Test de Box et Pierce, Test de Ljung-Box.

Donc, par définition, un bruit blanc est un processus stationnaire. Par ailleurs, un processus  $\varepsilon_t$  est un bruit blanc indépendant si  $E(\varepsilon_t) = 0$  ;  $E(\varepsilon_t^2) = \sigma^2$  ;  $\varepsilon_t$  et  $\varepsilon_{t-k}$  sont indépendants pour tout  $k \neq 1$ . Et le bruit blanc est dit gaussien si le processus  $\varepsilon_t$  est un bruit blanc indépendant tel que  $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$ .

### 2.1.3. Les séries financières :

Une série financière est une série temporelle ou une suite finie de données indexées par le temps. L'indice temps peut être selon les cas: la minute, l'heure, le jour, l'année etc. L'analyse des séries financières en question consiste en opération de prévision, de modélisation et caractérisation du phénomène étudié. L'objectif de la prédiction est de prévoir avec précision l'évolution à cours termes de la série, la modélisation vise la détermination du comportement de cette série à long terme, tandis que la caractérisation vise à déterminer les propriétés fondamentales d'une série temporelle.

La prévision de l'évolution d'un marché financier dans le futur à partir de l'historique des cours de Bourse, est un domaine qui nécessite des techniques et des outils robustes pour le traitement et la prévision.



## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

---

### 2.1.3.1. Les caractéristiques des séries financières :

En analysant les différentes propriétés statistiques des séries financières telles que la moyenne, la déviation standard, l'autocorrélation et les observations extrêmes « points isolés », il est souvent possible d'avoir une estimation raisonnable du processus générateur de ces séries financières. Avant, la plupart des modèles représentant les séries financières supposaient que les résidus pouvaient être considérés comme étant un bruit blanc gaussien. Cependant, nous savons maintenant que cette hypothèse n'est pas correcte. On sait que les séries financières possèdent un certain nombre de caractéristiques différentes de celles du bruit blanc gaussien. Les caractéristiques les plus marquantes des séries financières sont:

- 1- **Leptokurtique** : un excès du coefficient d'aplatissement les séries financières possèdent un coefficient d'aplatissement plus important que celui du bruit blanc gaussien.
- 2- **Hétéroscédasticité** : La variance des résidus change dans le temps.
- 3- **Autocorrélation** : Les résidus ne démontrent qu'une faible auto-corrélation, tandis que les carrés des résidus sont autocorrélés à un niveau significatif.

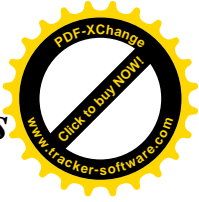
### 2.1.4. Modélisation ARMA ou Modélisation (G)ARCH d'une série financière :

A l'issue de ces tests diagnostics, s'il se dégage que la série des résidus est stationnaire en moyenne ; il reste à déterminer si les erreurs sont autocorrélées ou non et/ou leurs variances sont hétéroscédastiques ou non. Ces deux derniers tests permettent de préciser le modèle à utiliser pour la prévision de la série étudié.

### 2.2. Les modèles ARMA et les série financières :

Il s'agit d'une méthode de prévision qui utilise l'information contenue dans la série elle même en vue de faire des prévisions. Pour cela, il faut commencer par modéliser la série temporelle selon un processus ARMA .Les processus ARMA serviront d'abord de modèle pour décrire l'évolution des séries temporelles et ensuite pour les prévoir.





## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

---

Les modèles ARMA s'appuient principalement sur deux principes mis en évidence par Yule et Slutsky, le principe autorégressif (Auto Regressive) et moyenne mobile (Moving Average).

Puis en 1970, leur application à l'analyse et à la prédiction des séries temporelles fut généralisé par Box et Jenkins en combinant les deux principes ARMA, ils montrèrent que ce processus pouvait s'appliquer à de nombreux domaines et était facile à implémenter. Cette méthodologie propose un moyen très efficace pour pouvoir choisir un modèle entre les différent classes des modèles ARMA qui représente la série des données étudiées et pour cela, l'examen de la représentation graphique des autocorrélations simple et autocorrélations partielle appelé « Corrélogramme » fait l'objet du choix.

Un Corrélogramme est par définition la représentation graphique mettant en évidence une ou plusieurs corrélations entre des séries de données. C'est une autocorrélation de processus présentée comme une fonction de décalage. Il est très utile pour déterminer le type d'une série temporelle.

### 2.2.1. Le Modèle AR (auto Régressif):

Un processus autorégressif est un processus dont chaque valeur est décrite comme une combinaison linéaire des valeurs précédentes plus une composante aléatoire qu'on l'appelle un «bruit blanc». Le nombre de valeurs précédentes considérées est appelé «ordre» du processus.

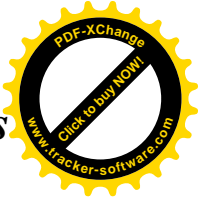
**Définition :** le processus  $(X_t, t \in N(\text{ou } Z))$  satisfait l'équation générale d'un processus AR d'ordre  $p$  si :

$$X_t = \delta + \sum_{i=1}^p \alpha_i X_{t-i} + \varepsilon_t$$

Où :

$\delta$  Le coefficient d'accroissement

$\alpha_i$  Les coefficients d'autorégressifs



## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

---

$\varepsilon_t$  Un bruit blanc indépendant.

- **Caractéristiques des Corrélogrammes** : il est démontré que le Corrélogramme simple d'un processus AR( $p$ ) est caractérisé par une décroissance géométrique de ses termes de type :  $\rho_k = \rho^k$ . le Corrélogramme partiel a ses seuls  $p$  premiers termes différents de zéro.

### 2.2.2. Le modèle MA (Mouving Average : Moyenne Mobile) :

Dans le processus de moyenne mobile chaque valeur est décrite par une composante d'erreur aléatoire et une combinaison linéaire des erreurs aléatoires associées aux valeurs précédentes. De même, l'ordre du processus est défini par le nombre d'erreurs précédentes prises, en considération.

**Définition** : Le processus  $(X_t, t \in N(\text{ou } Z))$  satisfait l'équation générale d'un processus MA d'ordre  $q$  :

$$X_t = \mu + \sum_{i=1}^q \beta_i \varepsilon_{t-i} + \varepsilon_t$$

Où

$\beta_i$  Les coefficients de moyenne mobile

$\varepsilon_{t-i}$  Bruit blanc.

- **Caractéristiques des Corrélogrammes** : le Corrélogramme simple d'un processus MA( $q$ ) est de la forme générale :

$$\rho_k = \frac{\sum_{i=0}^{i=q-k} \alpha_i \alpha_{i+k}}{\sum_{i=0}^{i=q} \alpha_i^2} \text{ pour } k = 0, 1, \dots, q \text{ et } \rho_k = 0 \text{ pour } k > q.$$



## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

---

C'est-à-dire que seuls les  $q$  premiers termes du Corrélogramme simple sont significativement différents de zéro. Le Corrélogramme partiel est caractérisé par une décroissance géométrique des retards.

### 2.2.3. Le Modèle Mixte ARMA (Mélange de processus AR et MA) :

Le modèle linéaire le plus courant est le modèle ARMA qui combine simplement les deux principes AR et MA.

**Définition :** Le processus admet l'équation générale suivante qui définit un modèle ARMA ( $p, q$ )

$$X_t = \mu + \sum_{i=1}^p \alpha_i X_{t-i} - \sum_{i=1}^q \beta_i \varepsilon_{t-i}$$

Où  $p$  est l'ordre de processus autorégressif et  $q$  l'ordre de processus moyenne mobile.

Les  $\alpha$  et les  $\beta$  sont des coefficients à estimer.  $p$  et  $q$  sont des paramètres à identifier.

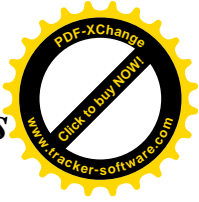
$X_t$  est alors une expression de son propre passé mais aussi du passé et présent des erreurs  $\varepsilon$ .

- **Caractéristiques des Corrélogrammes :** les Corrélogrammes simple et partiels sont, par conséquent, un mélange des deux Corrélogrammes des processus AR et MA purs. Il s'avère ainsi plus délicat d'identifier ces processus à partir de l'étude des fonctions d'autocorrélations empiriques.

### 2.2.4. Conditions d'utilisation des modèles AR, MA, ARMA :

Les modèles AR, MA, ARMA ne sont pas représentatifs que dans les cas des séries chronologiques qui sont:

- Stationnaires en tendance ; ou
- Corrigées des variations saisonnières.



## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

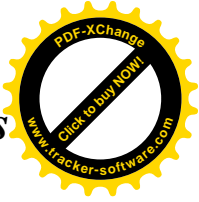
---

### 2.2.5. La méthode de box et Jenkins :

La méthode de Box et Jenkins est une méthode qui passe par plusieurs étapes, et permet de sélectionner un modèle ARMA susceptible de représenter correctement une série temporelle.

On distingue quatre phases dans cette méthode :

- **L'identification des paramètres  $p$  et  $q$  (le choix du modèle) :** la phase de l'identification est la plus importante et la plus difficile, elle consiste à déterminer le modèle adéquat dans la famille des modèles ARMA. Elle est fondée sur l'étude des Corrélogrammes simple et partiel.
- **L'estimation des paramètres du modèle (les  $\alpha$  et  $\beta$ ) :** Les méthodes d'estimation diffèrent selon le type de processus diagnostiqué. Dans le cas d'un modèle AR ( $p$ ), nous pouvons appliquer une méthode des moindres carrés ou bien nous pouvons utiliser les relations existantes entre les autocorrélations et les coefficients du modèle (équations de Yule-walker). L'estimation des paramètres d'un modèle MA( $q$ ) s'avère plus complexe. Box et Jenkins suggèrent d'utiliser une procédure itérative de type balayage.
- **La validation du modèle (tests d'adéquation) :** La phase de validation du modèle est très importante et nécessite le plus souvent un retour à la phase d'identification, les paramètres du modèle étant estimés, nous examinons les résultats d'estimation.
  - **Les coefficients du modèle :** doivent être significativement différents de zéro (le test du  $t$  de student s'applique de manière classique). Si un coefficient n'est pas significativement différent de 0, il convient d'envisager une nouvelle spécification éliminant l'ordre du modèle AR ou MA non valide.
  - **L'analyse des résidus :** s'effectue à partir de deux critères à respecter :
    - La moyenne est nulle, dans le cas contraire il convient d'ajouter une constante au modèle ;
    - Le résidu est un bruit blanc, la statistique  $Q$  de Box-Pierce et de Ljung-Box permettent de tester cette hypothèse. Si le résidu n'est pas



## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

---

un bruit blanc, cela signifie que la spécification du modèle est incomplète et qu'il manque au moins un ordre à un processus.

- **La prévision** : lorsque le modèle est validé, la prévision peut alors être déduite et calculée au modèle le plus adapté à un horizon de quelques périodes, limité car la variance de l'erreur de prévision croit très vite avec l'horizon.

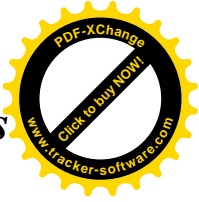
Les modèles ARMA sont considérés comme des modèles classiques de prévision, ces modèles supposent des séries temporelles à variance constante (hypothèse d'homoscédasticité). Cette modélisation néglige donc, éventuellement, l'information contenue dans le facteur résiduel de la chronique.

### 2.3. Les modèles ARCH et (G)ARCH :

Les modèles de type ARCH sont des modèles introduits par le professeur ENGEL en 1982 il s'agit de l'hétéroscédasticité conditionnelle autoregressive ARCH (en anglais Auto Regressif Conditionnal Heteroscedasticity), et de ses nombreuses extensions. L'apparition des modèles ARCH et GARCH doit être placée dans un contexte particulièrement utile qui est l'analyse et la prévision de la volatilité dans les marchés financiers. Ils sont des outils les plus intéressants apparus pour caractériser ce type de phénomène qui est la volatilité.

Depuis l'introduction des modèles ARCH, des centaines de travaux de recherche se sont attachés à appliquer ce type de modélisation à des séries financières ces modèles ont connu des développements et des applications très importants durant cette décennie. Ces modèles permettent de modéliser des chroniques (la plupart du temps financières) qui ont une volatilité (ou variance ou variabilité) instantanée qui dépend du passé. Il est ainsi possible d'élaborer une prévision dynamique de la chronique étudié en termes de moyenne et de variance.

Le principe des modèles ARCH /GARCH consiste à poser la variance conditionnelle d'un processus comme une moyenne pondérée des carrés des résidus passés de ce processus.



## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

---

Ils fournissent une bonne représentation de la leptokurtosis et de l'hétéroscédasticité dépendante du temps, améliorent la qualité de l'estimation ainsi que la précision en matière de prévision.

Dans la section suivante nous allons aborder les différentes classes de modèles ARCH, GARCH (Generalized AutoRegressive Conditionnal Heteroscedasticity), les tests statistiques permettant de les repérer, puis les méthodes d'estimation et de prévision.

### 2.3.1. Présentation générale et problématique :

L'étude des séries temporelles financières s'est trouvée confrontée à deux types de problèmes :

- La non-stationnarité des séries financières ;
- Le caractère leptokurtique<sup>16</sup> de la distribution des données.

Soit le modèle de régression linéaire :  $y = Xa + \varepsilon$  avec

$Y$  : vecteur de dimension  $n$  des observations de la variable à expliquer,

$X$  : matrice de dimension  $n \times k + 1$  des données des variables explicatives,

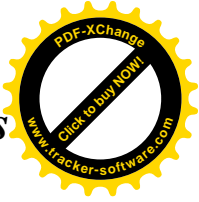
$a$  : vecteur de dimension  $k + 1$  des paramètres du modèle,

$\varepsilon$  : erreur de spécifications.

Supposons que le modèle soit à erreurs auto-corrélées de type AR(1) :

---

<sup>16</sup> Les queues de probabilité sont plus épaisses que celles de la loi normale aux extrémités les valeurs anormales sont donc plus fréquentes.



## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

---

$$\varepsilon_t = \rho\varepsilon_{t-1} + u_t = \sum_{n=0}^{\infty} \rho^n u_{t-n} \text{ avec } u_t \rightarrow i. i. d. (0; \sigma_u^2)$$

Comme  $E(\varepsilon_t) = 0$  par hypothèse, on obtient alors :

$$V(\varepsilon_t) = \frac{\sigma_u^2}{1 - \rho^2}$$

L'espérance et la variance conditionnelles<sup>17</sup> du modèle sont égales à :

$$E(\varepsilon_t | \varepsilon_{t-1}) = \rho\varepsilon_{t-1}$$

$$Var(\varepsilon_t | \varepsilon_{t-1}) = \sigma_u^2$$

Posons:  $\varepsilon_t = u_t \times z_{t-1}$  avec  $u_t \rightarrow i. i. d. (0; \sigma_u^2)$  et  $z_{t-1}$  une variable aléatoire, à variations stochastiques indépendantes de  $u_t$ .

Tel que :

$$E(\varepsilon_t) = 0 \text{ et } V(\varepsilon_t) = \sigma_u^2 z_{t-1}^2,$$

Le modèle est donc par construction hétéroscédastique. Dans ce cas, on écrit

$$V(\varepsilon_t | \varepsilon_{t-1}) = \sigma_u^2 z_{t-1}^2.$$

Et donc les propriétés stochastiques des estimateurs conditionnels ou non sont les mêmes, ce qui limite leur utilisation dans un cadre de prévision, notamment dans le cas des séries financières, car l'effet spéculatif ne peut pas être pris en compte. On préfère dans ce cas, donc utiliser les modèles ARCH.

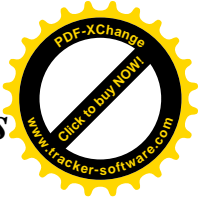
---

<sup>17</sup> Rappel :  $E(X/Y) = \sum_x xp(x/y)$  (cas discret) et  $E(X/Y) = \int xf(X/Y)dx$  (cas continu)

$E(X/Y) = E(X)$

Si X et Y sont indépendants :  $Var(X/Y) = E(X^2/Y) - E^2(X/Y)$

Exemple concernant un cours de bourse : si on a  $E(\text{cours}_{t+1}/\text{cours}_t) = \text{cours}_t$ . On en déduit que le meilleur prédictor du cours du jour est le cours de la veille. Le marché est parfaitement efficient.



## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

---

2.3.2. Modèle de régression de type ARCH :

2.3.2.1. Spécification du modèle :

Soit un modèle  $\mathbf{AR}(p) : \varphi_p(\mathbf{B})x_t = \varepsilon_t$  (ou un modèle de régression  $y = Xa + \varepsilon$ ) avec

$$\varepsilon_t = \mathbf{u}_t \mathbf{h}_t \text{ où } \mathbf{u}_t \rightarrow N(\mathbf{0}, \mathbf{1})$$

(En remplaçant  $z_{t-1}$  par  $h_t$  dans l'écriture précédente) on obtient

$$h_t^2 = a_0 + \sum_{i=1}^p a_i \varepsilon_{t-i}^2 = a_0 + a(B) \varepsilon_t^2$$

Tel que  $a_0 > 0, a_i \geq 0 \forall i$  et  $a(B) = a_1 B + a_1 B^2 + \dots + a_p B^p$

$h_t^2$  est appelé processus ARCH d'ordre  $p$  il est noté ARCH( $p$ ).

Le modèle AR (ou de régression) est dit modèle AR à erreurs ARCH( $p$ ).

Les espérances et les variances non conditionnelles et conditionnelles sont données par :

$$E(\varepsilon_t) = E(\mathbf{u}_t)E(\mathbf{h}_t) = \mathbf{0}$$

$$V(\varepsilon_t) = \sigma_u^2$$

$$E(\varepsilon_t | I_{t-1}) = E(\mathbf{u}_t | I_{t-1})E(\mathbf{h}_t | I_{t-1}) = \mathbf{0}$$

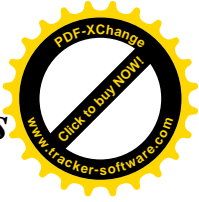
$I_t$  constitue l'ensemble de l'information par rapport à laquelle la condition est définie.

En termes conditionnels, il vient :  $\text{Var}(\varepsilon_t | I_{t-1}) = h_t^2$  (quantité variable dans le temps).

Le modèle reste correct sur sa trajectoire en moyenne car l'espérance conditionnelle est toujours nulle. On peut vérifier que la variance conditionnelle est finie si  $\sum_{i=0}^p a_i < 1$ .

L'intérêt de cette formulation réside dans l'interdépendance d'une variable endogène au modèle. Pour Engle, cette notion est très importante en finance car le risque





## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

---

d'erreur n'est pas le même selon les périodes  $t$  : il y a alternance de périodes d'accalmie et de périodes d'euphorie.

### 2.3.2.2. Propriétés d'un modèle ARCH (1) :

soit le modèle AR( $p$ ) :  $\varphi_p(B)x_t = \varepsilon_t$  (ou le modèle  $y = Xa + \varepsilon$ ) avec  $\varepsilon_t = u_t \times h_t$

$$\text{Où } u_t \longrightarrow N(0,1) \text{ et } h_t = \sqrt{a_0 + a_1 \varepsilon_{t-1}^2}$$

$$\text{Soit } \varepsilon = u_t \times \sqrt{a_0 + a_1 \varepsilon_{t-1}^2} \text{ où } a_0 > 0 \text{ et } 0 \leq a_1 < 1.$$

La moyenne non conditionnelle est donnée par :

$$E(\varepsilon_t) = E[u_t \times (a_0 + a_1 \varepsilon_{t-1}^2)^{\frac{1}{2}}] = E(u_t) \times E[(a_0 + a_1 \varepsilon_{t-1}^2)^{1/2}] = 0$$

Puisque par hypothèse nous avons  $E(u_t) = 0$ .

De même  $E(\varepsilon_t \varepsilon_{t-i}) = 0$  puisque  $E(u_t u_{t-i}) = 0$  pour  $i \neq 0$ .

La variance non conditionnelle de  $\varepsilon_t$  est donnée par :

$$E(\varepsilon_t^2) = E[u_t^2 \times (a_0 + a_1 \varepsilon_{t-1}^2)] = E(u_t^2) \times E[(a_0 + a_1 \varepsilon_{t-1}^2)]$$

$$\text{Or } \sigma_u^2 = 1 \text{ et la variance de } \varepsilon_t \text{ est donc égale à } E(\varepsilon_t^2) = \frac{a_0}{(1-a_1)}$$

La moyenne et la variance non conditionnelles ne sont donc pas fonction du temps.

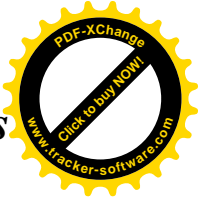
La moyenne conditionnelle est donnée par :

$$E(\varepsilon_t / \varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-2}, \dots) = E(u_t) \times E(a_0 + a_1 \varepsilon_{t-1}^2)^{1/2} = 0$$

$$\text{La variance conditionnelle est : } E(\varepsilon_t^2 / \varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-2}, \dots) = a_0 + a_1 \varepsilon_{t-1}^2$$

(Puisque  $\sigma_u^2 = 1$ ).

Ainsi dans une spécification de type ARCH seule la variance conditionnelle dépend des erreurs passées.



## *Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH*

---

### *Kurtosis d'un processus ARCH :*

Le kurtosis est le rapport du moment centré d'ordre 4 sur le carré du moment centré d'ordre 2. Pour un processus ARCH(1), il vient :

$$k = \frac{E(\varepsilon_t^4)}{E^2(\varepsilon_t^2)} = \frac{3(1 - a_1^2)}{1 - 3a_1^2}$$

$K$  est toujours supérieur à 3, un processus ARCH a donc une distribution leptokurtique qui permet de modéliser les phénomènes rares.

**Remarque :** La Kurtosis mesure le caractère pointu ou plat de la distribution de la série. La Kurtosis de la distribution normale est 3. Si la Kurtosis est supérieure à 3 (queues épaisses), la distribution est plutôt pointue (distribution leptokurtique) ; si la Kurtosis est inférieure à 3, la distribution est plutôt plate (distribution dite platikurtique).

### 2.3.2.3. Test d'un modèle de type ARCH :

Soit un modèle de régression  $y = Xa + \varepsilon$  avec une spécification de type ARCH pour l'erreur  $\varepsilon_t$  et telle que  $\varepsilon_t = u_t \times h_t$  où  $u_t \rightarrow N(0,1)$  et  $h_t^2 = a_0 + \sum_{i=0}^{\rho} a_i \varepsilon_{t-i}^2 = a_0 + a(B)\varepsilon_t^2$  avec  $a(B) = a_1B + a_1B^2 + \dots + a_{\rho}B^{\rho}$ .

Soit l'hypothèse emboîtée  $H_0 = a_1 = a_2 = \dots a_{\rho} = 0$  ; contre l'hypothèse alternative  $H_1 = a_i$  non tous nuls.

Si l'hypothèse  $H_0$  est acceptée, la variance de l'erreur est constante  $\sigma_{\varepsilon}^2 = a_0$ . Dans le cas contraire les termes de l'erreur suivent un ARCH dont l'ordre  $\rho$  est à déterminer.

Le test est fondé soit sur un test de Fisher classique, soit sur le test du multiplicateur de lagrange (LM) :

De manière pratique, on procède de la manière suivante :

1<sup>er</sup> étape : calcul de  $e_t$  le résidu du modèle de régression (ou d'un modèle ARMA).

2<sup>e</sup> étape : calcul des  $e_t^2$ .



## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

3<sup>e</sup> étape : régression autorégressive des résidus sur  $\rho$  retards (résidu décalé) où seuls les retards significatifs sont conservés,  $e_t^2 = a_0 + \sum_{i=1}^{\rho} a_i e_{t-i}^2$ .

4<sup>e</sup> étape : calcul de la statistique du Multiplicateur de Lagrange,  $LM = n \times R^2$  avec :

$n$  = nombre d'observations servant au calcul de la régression de l'étape 3,  $R^2$  = coefficient de détermination de l'étape 3.

Si  $LM > \chi^2(\rho)$  à  $\rho$  degrés de liberté lu dans la table à seuil  $\alpha$  fixé (en général 0,05), on rejette  $H_0$  ; on considère que le processus est justifiable d'un modèle ARCH( $\rho$ ).

C'est le test de significativité des coefficients  $a_i$  de la régression  $e_t^2$  sur  $e_{t-\rho}^2$ , qui permet de déterminer l'ordre  $\rho$  du processus ARCH sachant qu'un processus ARCH d'ordre 3 semble un maximum,, au-déla, le modèle sera justifiable d'un processus de type GARCH ( Generalized ARCH) présenté ci-après.

Une autre approche consiste à calculer le corrélogramme des résidus aux carrés du modèle initial. Si des termes de ce corrélogramme sont significativement différents de 0, alors on peut conclure à une spécification de type ARCH ; on utilise pour cela la statistique Q de Ljung-Box.

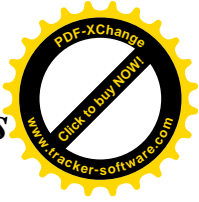
### 2.3.2.4. Procédure d'estimation et prévision :

La technique du maximum de vraisemblance peut être utilisée pour estimer les coefficients du modèle ARCH. La log-vraisemblance conditionnelle à la date  $t$  est donnée par :

$$l_t = Cte - \frac{1}{2} \log h_t^2 - \frac{1}{2} \varepsilon_t^2 \cdot h_t^{-2}$$

Et la log-vraisemblance totale par :

$$L = Cte - \frac{1}{2} \sum_{t=1}^{t=n} \log (h_t^2) - \frac{1}{2} \sum_{t=1}^{t=n} (\varepsilon_t^2 \cdot h_t^{-2})$$



## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

Le test précédent permet de déterminer l'ordre  $p$  du processus ARCH et donc d'estimer les paramètres de la régression (ou de l'ARMA) et  $\alpha$ .

Nous pouvons recourir aussi à la méthode des MCG réalisables (moindres carrés pondérés), les différentes étapes sont les suivantes :

1<sup>re</sup> étape : estimation du modèle ARMA ou de régression  $y = Xa + \varepsilon$ .

2<sup>e</sup> étape : A partir du résidu  $e_t$ , on effectue une régression par les MCO ( $e_t = h_t, e_t$  joue le rôle de  $h_t$ )

$$e_t^2 = \hat{a}_0 + \sum_{i=1}^p \hat{a}_i \varepsilon_{t-i}^2 + u_t$$

3<sup>e</sup> étape : on considère que l'on peut approcher la variance de l'erreur  $\varepsilon_t$  et  $h_t^2$ .

On estime de nouveau les paramètres du modèle par les MCG :

$$\hat{a} = (X' \Omega^{-1} X)^{-1} X' \Omega^{-1} Y.$$

Ce qui équivaut à faire une régression pondérée avec comme facteur de pondération :

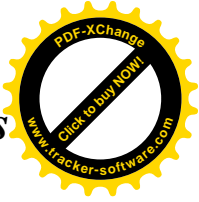
$$\omega = \frac{1}{h_t} \text{ et } \Omega = \text{diag}(h_t^2)$$

4<sup>e</sup> étape : estimation des coefficients  $a$  par MCG :

$$h_t^2 = \hat{a}_0 + \sum_{i=1}^p \hat{a}_i e_{t-i}^2 + u_t \text{ avec } \hat{a} = (e' \Omega^{-1} e)^{-1} (e' \Omega^{-1} h)$$

La différence de spécification d'un modèle ARCH par rapport au modèle linéaire général réside dans la variance de l'erreur du modèle :

- Dans le modèle linéaire, il est fonction de la variance résiduelle,  $\sigma_\varepsilon'^2$ .
- Dans le modèle ARCH(p), il va être fonction de  $h_t^2$ .



## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

---

En d'autres termes la variance de l'erreur n'est plus constante et de ce fait l'intervalle de confiance de la prévision est fonction de la volatilité de la série elle-même.

### 2.4. Processus de type GARCH (1986 : Tim Bollerselv) :

Le modèle ARCH permet une forme autorégressive pour la variance conditionnelle. On peut de façon usuelle introduire aussi une partie moyenne mobile. On obtient alors les processus GARCH

#### 2.4.1. Spécification :

Le modèle GARCH est une généralisation (Generalized), due à Builerslev (1986), des modèles de type ARCH. La spécification est la suivante :

$$y = Xa + \varepsilon \text{ avec}$$

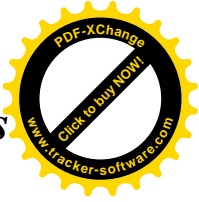
$$\varepsilon_t = u_t \times h_t, u_t \rightarrow N(0,1) \text{ et } h_t^2 = \hat{a}_0 + a(D)\varepsilon_t^2 + \beta(D)h_t^2$$

$$h_t^2 = a_0 + \sum_{i=1}^p a_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^q \beta_j h_{t-j}^2$$

Qui est l'écriture d'un GARCH (p,q).

#### Remarque :

- Si  $q=0$  on a un GARCH (p,q) = GARCH(p,0) = ARCH (p) et si  $q = 0$  et  $p = 0$  alors  $\varepsilon_t \rightarrow n. i. d.$
- Un processus de type GARCH (p,q) est équivalent à un processus de type ARCH( $\infty$ ) ce que l'on peut démontrer par récurrence (en remplaçant  $h_t^2$  par  $h_{t-1}^2$ , etc.). cette équivalence permet de déterminer les conditions de stationnarité d'un processus de type GARCH :  $\alpha(1) + \beta(1) < 1$ .



## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

Les processus GARCH sont similaire aux processus ARMA usuels dans le sens où le degré  $q$  apparait comme le degré de la partie de la moyenne mobile et  $p$  comme celui de l'autorégressive ; cela permet d'introduire des effets d'innovation. La variance conditionnelle est déterminée par le carré des  $p$  erreurs précédentes et des  $q$  variance conditionnelles passées.

### 2.4.2. Test et estimation de modèle de type GARCH :

Test d'un modèle de type GARCH : dans le cas d'une hétéroscédasticité conditionnelle supposée, on ne peut tester une spécification de type ARCH que contre une spécification de type GARCH.

Le test porte sur l'hypothèse nulle  $H_0$  d'une erreur ARCH( $p$ ) contre l'hypothèse  $H_1$  d'une erreur GARCH ( $p, q$ ). On va donc tester l'hypothèse  $H_0$  que les  $\beta_j$  sont nuls.

$H_0 : \beta_j = 0, j = 1, \dots, q$  ; contre l'hypothèse  $H_1$  : il existe au moins un  $\beta_j$  non nul.

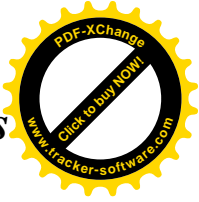
Le test le plus approprié est celui du multiplicateur de Lagrange :

$nR^2 \rightarrow \chi_q^2$  ( $q =$  degré de liberté) où  $R^2$  est le coefficient de détermination obtenu dans la régression par les MCO dans l'équation :

$$h_t^2 = \hat{\alpha}_0 + \sum_{i=1}^p \hat{\alpha}_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^q \beta_j h_{t-j}^2.$$

Si  $nR^2 \rightarrow \chi_q^2$  lu dans la table à un seuil de confiance (en général 0,05) et  $q$  degrés de liberté alors on rejette l'hypothèse  $H_0$ . les erreurs obéissent à un processus GARCH( $p, q$ ).

Estimation d'un modèle de type GARCH : la procédure d'identification des ordres d'un processus ARMA. L'estimation des paramètres du modèle peut se faire à l'aide de l'algorithme de Berndt, Hall ou bien celui de Hall et Hausman (1974) fondé sur une méthode de maximum de vraisemblance.



## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

---

### 2.4.3. Le modèle GARCH (1,1) :

Nous présentons dans cette section un modèle connu sous le nom de GARCH (1,1), proposé par Bollerslev en 1986. Dans un modèle GARCH(1,1),  $\sigma_n^2$  est calculé à partir de  $\sigma_{n-1}$  et de  $u_{n-1}$ , mais tient également compte du taux de variance moyen de long terme,  $V_L$ . L'équation du modèle GARCH (1,1) s'écrit :

$$\sigma_n^2 = \gamma V_L + a u_{n-1}^2 + \beta \sigma_{n-1}^2$$

Où  $\gamma, a, \beta$  sont les poids attribués respectivement à  $V_L, u_{n-1}^2, \sigma_{n-1}^2$ . Comme la somme des pondérations doit être égale à l'unité, on a :  $\gamma + a + \beta = 1$

Le « (1,1) » de GARCH (1,1) signifie que le calcul de  $\sigma_n^2$  se fonde sur la dernière observation de  $u^2$  et sur l'estimation la plus récente du taux de variance. Le modèle plus général GARCH (p,q), utilise les p dernières observations de  $u^2$  et les q estimations les plus récentes du taux de variance dans le calcul de  $\sigma_n^2$ . Le GARCH (1,1) demeure de très loin le plus populaire des modèles GARCH.

Pour  $\omega = V_L$ , on peut réécrire le modèle GARCH (1,1) sous la forme :

$$\sigma_n^2 = \omega + a u_{n-1}^2 + \beta \sigma_{n-1}^2$$

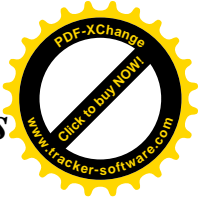
Cette dernière est généralement utilisée pour l'estimation des paramètres. Lorsque  $\omega, a$  et  $\beta$  sont estimés, on peut calculer  $\gamma$  qui vaut  $1 - a - \beta$ , et la variance de long terme  $V_L$  s'écrit alors  $\frac{\omega}{\gamma}$ . La stabilité du processus GARCH (1,1) est obtenue en imposant  $a + \beta < 1$ . si tel n'est pas le cas, la variance de long terme est affectée d'une pondération négative.

### 2.4.4. Les pondérations :

En substituant  $\sigma_{n-1}^2$  dans l'équation de GARCH (1,1), on obtient :

$$\sigma_n^2 = \omega + a u_{n-1}^2 + \beta (\omega + a u_{n-2}^2 + \beta \sigma_{n-2}^2)$$

Ou encore :



## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

---

$$\sigma_n^2 = \omega + \beta\omega + \alpha u_{n-1}^2 + \alpha\beta u_{n-2}^2 + \beta^2 \sigma_{n-2}^2$$

En substituant  $\sigma_{n-2}^2$  de la même façon, on obtient :

$$\sigma_n^2 = \omega + \beta\omega + \beta^2\omega + \alpha u_{n-1}^2 + \alpha\beta u_{n-2}^2 + \alpha\beta u_{n-3}^2 + \beta^3 \sigma_{n-3}^2$$

### 2.4.5. L'estimation des paramètres d'un GARCH (1,1) :

Nous montrons ici comment la méthode du maximum de vraisemblance est utilisée pour estimer les paramètres d'un modèle GARCH (1,1) ou d'autres modèles. Notons  $v_i = \sigma_i^2$  la variance estimée pour le jour ( $i$ ) et supposons que la distribution de probabilité de  $u_i$  conditionnelle à la variance soit normale. En procédant comme précédemment, les meilleurs paramètres sont ici ceux qui maximisent :

$$\prod_{i=1}^m \left[ \frac{1}{\sqrt{2\pi v_i}} \exp \left( -\frac{u_i^2}{2v_i} \right) \right]$$

Après passage aux logarithmes, il est équivalent de maximiser :

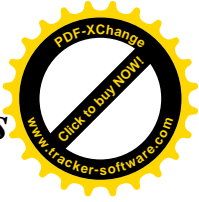
$$\sum_{i=1}^m \left( -\ln(v_i) - \frac{u_i^2}{v_i} \right)$$

Cette expression est équivalente à l'expression  $\sum_{i=1}^m \left( -\ln(v_i) - \frac{u_i^2}{v_i} \right)$ , hormis le remplacement de  $v$  par  $v_i$ . Les paramètres du modèle qui maximisent l'expression  $\sum_{i=1}^m \left( -\ln(v_i) - \frac{u_i^2}{v_i} \right)$  peuvent être obtenus par itérations successives.

#### 2.4.5.1. La qualité du modèle :

L'hypothèse qui sous-tend le modèle GARCH est que la volatilité varie au cours du temps. Dans certaines périodes, elle est relativement élevée et dans d'autres beaucoup plus faibles. En d'autres termes, lorsque  $u_i^2$  est élevé,  $u_{i+1}^2, u_{i+2}^2, \dots$  ont tendance à être élevés, et lorsque  $u_i^2$  est faible,  $u_{i+1}^2, u_{i+2}^2, \dots$  ont tendance à être faibles.





## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

---

Afin de vérifier la pertinence de cet argument, un examen de la structure d'auto-corrélation des  $u_i^2$  est nécessaire.

Supposons que  $u_i^2$  soit effectivement autocorrélés. Si le modèle GARCH fonctionne bien, il devrait faire disparaître cette autocorrélation et l'on peut tester cela en analysant la structure d'autocorrélation des variables  $u_i^2/\sigma_i^2$ . Si l'on obtient une très faible autocorrélation, le modèle retenu pour  $\sigma_i$  explique alors de manière satisfaisante les autocorrélations des  $u_i^2$ .

### 2.4.5.2 La prévision de la volatilité future par le modèle GARCH (1,1) :

Le taux de variance estimé à la fin de journée  $n-1$  pour la journée  $n$  s'écrit dans un modèle GARCH (1,1) :

$$\sigma_n^2 = (1 - \alpha - \beta)V_L + \alpha u_{n-1}^2 + \beta \sigma_{n-1}^2$$

Ce qui donne :

$$\sigma_n^2 - V_L = \alpha(u_{n-1}^2 - V_L) + \beta(\sigma_{n-1}^2 - V_L)$$

Pour la journée future  $n+t$ , nous avons :

$$\sigma_{n+t}^2 - V_L = \alpha(u_{n+t-1}^2 - V_L) + \beta(\sigma_{n+t-1}^2 - V_L)$$

La valeur espérée de  $u_{n+t-1}^2$  est  $\sigma_{n+t-1}^2$ , par conséquent :

$$E(\sigma_{n+t}^2 - V_L) = (\alpha + \beta)E(\sigma_n^2 - V_L)$$

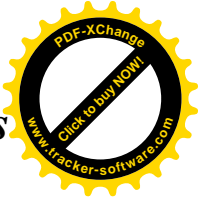
Où  $E$  représente l'espérance mathématique. L'utilisation itérative de cette équation conduit à :

$$E(\sigma_{n+t}^2 - V_L) = (\alpha + \beta)^t E(\sigma_n^2 - V_L)$$

Ou encore :

$$E(\sigma_{n+t}^2) = V_L + (\alpha + \beta)^t (\sigma_n^2 - V_L)$$

Cette équation permet une prévision de la volatilité pour la journée  $n+t$  à partir des informations disponibles à la fin de la journée  $n$ . les prévisions du taux de variance



## *Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH*

---

tendent vers  $V_L$  lorsqu'elles sont de plus en plus lointaines. Pour que le processus GARCH (1,1) soit stable, il est nécessaire que  $\alpha + \beta > 1$ , le poids attribué à la variance moyenne de long terme est négatif et le processus à tendance à s'éloigner de la moyenne, ce qui n'est pas satisfaisant.

### 2.5. Modèle ARMA-GARCH (1986 : Weiss) :

Finalement la modélisation GARCH peut être appliquée non au processus initial, mais à un processus d'innovation. Ceci permet aussi d'introduire divers effets additionnels variable explicative soit dans la moyenne conditionnelle, soit dans la variance conditionnelle.

Par exemple, on pourrait considérer un modèle de régression linéaire avec erreur GARCH.

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_t = X_t b + \varepsilon_t \\ \text{Où } (\varepsilon_t) \text{ satisfait un modèle GARCH}_{(p,q)} \end{array} \right.$$

Ou un modèle ARMA, dans lequel la variance non conditionnelle de Y pourrait avoir un effet sur la variance conditionnelle :

$$\left\{ \begin{array}{l} \phi(L)Y_t = \theta(L)\varepsilon_t \\ E(\varepsilon_t / \varepsilon_{t-1}) = 0 \\ V((\varepsilon_t / \varepsilon_{t-1}) = c + \sum_{i=1}^q a_i \varepsilon_{t-i}^2 + \gamma [E(Y_t / Y_{t-1})]^2 + \sum_{i=1}^s \gamma_i Y_{t-i}^2 \end{array} \right.$$

La méthodologie ARCH s'est rapidement diffusée car elle a des avantages à la fois descriptifs et prédictifs. Elle facilite la compréhension de la volatilité sur les marchés financiers d'indices boursiers ou d'options, améliore les estimations des risques de gestion



## *Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH*

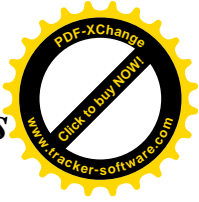
---

de portefeuilles ou l'analyse de la volatilité des rendements boursiers mais aussi les observations en coupe transversale de l'activité des ménages ou des entreprises.

Les modèles ARCH sont mieux adaptés aux spécificités des séries financières (volatilité variable, phénomènes d'asymétrie), les modèles ARCH ont des qualités supérieures aux représentations traditionnelles dans lesquelles la volatilité d'un titre ne varie pas (par exemple, dans les processus ARMA (Auto Regressive Moving Average) où les modèles reposent sur l'hypothèse d'une volatilité constante au cours du temps. Ce modèle ARCH initial a connu de très nombreuses extensions avec les modèles GARCH (Generalized ARCH) et l'introduction de valeurs retardées de la variance ou encore les modèles permettant de tenir compte des phénomènes d'asymétrie tels que les modèles EGARCH (Exponential GARCH), TGARCH (Threshold GARCH), QGARCH (Quadratic GARCH) ou ARCH-M (ARCH in Mean). Les processus FIGARCH permettent en outre d'introduire des comportements de mémoire longue de la volatilité. Ce sont des extensions des modèles GARCH intégrés (IGARCH) qui visent à évaluer les conséquences permanentes des chocs sur la volatilité. Dans le cadre de ses travaux sur la microstructure des marchés financiers, les modèles UHF-GARCH (Ultra High Frequency GARCH) introduits par le professeur Robert F. Engle permettent de comprendre les relations entre l'intensité des transactions et la volatilité des titres. Engle est en outre à l'origine des modèles GARCH multivariés avec corrélation conditionnelle dynamique (DCC-MVGARCH).

### 2.6. La prévision :

Prévoir, c'est porter un jugement sur les événements ou évolutions possibles à venir en utilisant comme outils le passé et le présent. Pour réussir une telle entreprise, quatre conditions sont à remplir : (1) une certaine régularité dans le fonctionnement du monde est tout d'abord nécessaire, (2) il faut par ailleurs que cette régularité fournisse une information sur l'avenir, (3) que la méthode choisie pour établir la prévision capture une part de cette régularité et (4) enfin qu'elle exclue au maximum le « bruit » ou les irrégularités passés. Les deux premières conditions sont constitutives du système économique, les deux dernières sont fonctions de la méthode de prévision ou de la théorie



## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

---

économique choisies. Il en résulte que les prévisions sont toujours entachées d'erreur et qu'il est possible d'en établir plusieurs pour un même événement à venir (qui constitue l'objet de la prévision). Des outils d'analyse doivent donc être développés afin de comparer et de hiérarchiser les prévisions pour discerner ce qui fait qu'on puisse, ou non, en qualifier certaines de « bonnes ».

### 2.6.1. La prévision en l'économie :

Pour comprendre les mérites propres des méthodes de prévision, il est essentiel d'en connaître les deux grandes classes, d'ailleurs non mutuellement exclusives : il existe d'une part des modèles purement *statistiques* sans représentation économique et d'autre part des modèles dits *structurels* dont l'ambition est de fournir une image du fonctionnement effectif de l'économie. Mais afin de bien présenter l'état actuel de la recherche, il nous semble essentiel de rappeler brièvement les développements de la prévision économique au XXe siècle, car chaque grande vague d'avancées a rencontré des écueils qui ont permis d'améliorer la compréhension des limitations des diverses méthodes<sup>18</sup>.

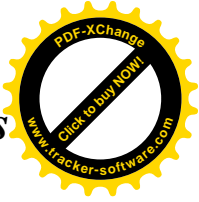
#### 2.6.1.1. Modèles structurels keynésiens :

La complexité et l'interdépendance des systèmes économiques a longtemps été un frein puissant à toute tentative de prévision, ce qui fit que les premières ne virent le jour qu'après l'émergence de modèles macroéconomiques simples. Après la publication de la Théorie Générale de J. M. Keynes en 1936 et grâce à de notables avancées techniques de la Statistique, s'ensuivit un vif développement de l'activité économique de construction, d'estimation et d'analyse de modèles visant à représenter le comportement des agents macroéconomiques. Ce bouillonnement intellectuel amena à la création de l'*Econometric Society* et de sa publication prestigieuse, la revue *Econometrica*<sup>19</sup>, qui devint le médium naturel de diffusion des idées et avancées de la Commission Cowles à l'université de Chicago au cours des années 1940 et 1950. La facilité d'usage des

---

<sup>18</sup> L'exposition historique doit en grande part à l'article de F. X. Diebold (1998) auquel on renvoie vivement le lecteur.

<sup>19</sup> À l'origine, les deux branches de l'économie théorique et de l'économétrie ne s'étaient pas encore divisées.



## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

---

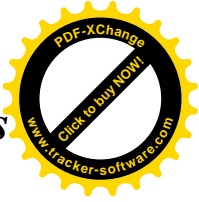
systèmes d'équations à base de modèles IS-LM permit leur généralisation dans les cercles universitaires et gouvernementaux s'attachant à l'analyse et à la prévision des politiques économiques. Les méthodes d'estimation économétrique étant encore peu développées, les principaux débats portaient sur des calibrages des coefficients de réaction. Les besoins naissants de planification entraînaient la généralisation de modèles *input-output* qui visaient à prévoir les tensions sur les capacités productives. L'augmentation de la quantité et de la qualité des données disponibles mena à une généralisation de modèles très détaillés de l'économie, comportant des centaines d'équations. Cette abondance d'information ne put empêcher un enlèvement des macro-modèles (comme le fameux modèle Wharton conçu autour de « Lawrence Klein » car ils subirent un cuisant échec dans les années 1970 alors que la stagflation apparaissait et que le chômage prenait son envol.

L'apparition de doutes quant au manque de fondements microéconomiques représentant les préférences, comportements et anticipations des agents aboutit à la remise en cause théorique des « systèmes d'équations ». La critique principale provint de Lucas (1976) qui remit en cause la stabilité des paramètres des modèles non « structurels ». Pour lui, il fallait rechercher les paramètres fondamentaux du comportement économique, ceux qui se révèlent stables. Cette approche tend à privilégier l'élaboration de modèles de faible taille, plus robustes aux chocs et changements de politique économique.

Par ailleurs, les capacités prévisionnelles des macro-modèles se virent bien souvent dépassées par de simples extrapolations statistiques. La macroéconomie purement keynésienne précéda de peu la prévision économétrique structurelle keynésienne dans sa perte de faveur. Une relative dissociation s'opéra entre les approches de modélisation (pour étudier la réaction de l'économie à une politique) et de prévision (où il s'agit d'obtenir la valeur future, assortie d'un intervalle d'incertitude, d'une ou plusieurs variables)

### 2.6.1.2. Modèles statistiques :

À la suite de la baisse d'intérêt pour l'utilisation de modèles théoriques en prévision, l'une des réponses fut une réorientation vers des méthodes alternatives plus



## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

---

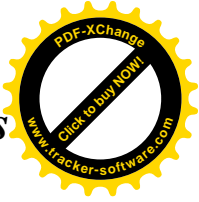
empiriques. Un modèle non-structurel élabore des prévisions dites inconditionnelles, qui s'attachent à déterminer l'évolution de l'économie en supposant que les règles de gouvernance économique ne soient pas modifiées contournant ainsi la critique de Lucas qui niait le pouvoir prévisionnel des modèles économiques en fondant son analyse sur leur manque de robustesse (de stabilité) vis-à-vis d'une intervention de politique économique alors que les modèles structurels établissent des prévisions conditionnées aux décisions de politique économique. Cette propriété même, conjuguée à la faiblesse des modèles structurels et aux avancées importantes des techniques statistiques a entraîné un fort intérêt pour ces nouvelles méthodes de prévision.

En réalité, les développements techniques étaient pour bonne part déjà connus et utilisés par les économètres car ils dataient d'avant l'émergence de la théorie keynésienne ; la borne initiale fut plantée dans les années 1920 par Slutsky et Yule, lorsque ceux-ci constatèrent que des équations différentielles linéaires, gouvernées par des chocs aléatoires constituaient un cadre simple et puissant pour la représentation et la prévision des variables économiques et financières. Ces équations différentielles (discrètes) stochastiques, appelées autorégressives, permettent d'exprimer une variable à l'instant présent comme la somme pondérée de ses valeurs passées et d'un choc purement aléatoire. L'exemple le plus simple en est le modèle autorégressif d'ordre 1, noté AR(1) où la variable  $y$  à l'instant  $t$ ,  $y_t$ , est donnée par :

$$y_t = ay_{t-1} + \varepsilon_t$$

Où  $\varepsilon_t$  suit une loi aléatoire (en général Gaussienne) de moyenne nulle et où les propriétés de  $y_t$  dépendent de la valeur  $a$ . Les processus autorégressifs sont liés de manière proche à ceux dits de moyenne mobile, étudiés aussi par Slutsky et Yule, où, à présent,  $y_t$  est exprimé comme la somme pondérée de chocs présent et passés. Le cas non trivial le plus simple en est la moyenne mobile d'ordre 1 (MA(1) pour « moving average ») :

$$y_t = \varepsilon_t + \theta\varepsilon_{t-1}$$



## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

---

Les représentations AR et MA sont, pour ce qui est des variables stationnaires<sup>20</sup>, les deux facettes d'une même dynamique et il est possible de passer de l'une à l'autre, mais au prix d'une perte d'efficacité dans l'estimation. Le très fort développement des modèles du type Slutsky-Yule doit son origine aux travaux, dans les années 1930, de H. Wold qui montra alors que sous des hypothèses de stationnarité toutes les séries temporelles peuvent être représentées comme modèles autorégressifs ou de moyenne mobile. Les algorithmes de prévision, d'estimation et de représentation de ces modèles furent développés dans les décennies 1940 et 1950, époque de forte avancée de l'économétrie, par Wiener, Kolmogorov et Kalman<sup>21</sup>.

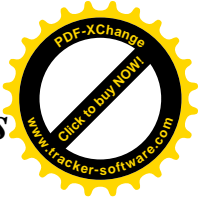
L'heure de la désillusion vis-à-vis des modèles keynésiens coïncida avec la publication par Box et Jenkins du livre référence en matière d'analyse et de prévision des séries temporelles. Une des idées phares de ces auteurs fut l'apport d'une nouvelle méthode pour représenter les tendances. À la place d'une fonction linéaire du temps, ils suggérèrent le concept de tendance stochastique qui est générée par la somme des chocs passés, conférant, de ce fait, à chacun d'entre eux un impact permanent. En termes de prévision, ceci implique une absence de retour à long terme vers une tendance précise, mais, au contraire, la présence à chaque instant d'une tendance locale fluctuante. Les variables présentant un comportement de tendance stochastique sont non-stationnaires et dites intégrées (on parle aussi de présence d'une racine unitaire). La contribution principale de Box et de Jenkins est, toutefois, l'élaboration d'un cadre opérationnel pour la prévision grâce à la clarification d'une méthode de formulation, d'estimation, d'évaluation d'un modèle et de prévision des séries qui reprenne les travaux de Slutsky-Yule et définisse les modèles ARMA, présentant conjointement des propriétés autorégressives et de moyenne mobile.

Les travaux de Box-Jenkins, s'ils ont focalisé essentiellement sur des modèles univariés, ont en revanche préparé un rapprochement de l'économétrie et de l'analyse statistique.

---

<sup>20</sup> La stationnarité au sens faible de  $y_t$  nécessite que l'espérance mathématique et la variance de  $y_t$  soient indépendantes de la date  $t$ .

<sup>21</sup> Pour une présentation des modèles espaces-états et du filtre de Kalman, voir Lemoine et Pelgrin (2003).



## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

### 2.6.2. Les types de prévision des séries temporelles :

En pratique, la prévision est toujours associée avec une erreur de prévision. En fait, il existe deux types de prévisions qui diffèrent par le traitement de l'erreur :

- 1- **Prévision du point** : Dans ce cas, le résultat de prévision est une valeur particulière qui devrait être égale à la valeur future de série qu'on cherche. Ce type de prévision ne donne aucune information sur la grandeur de l'erreur possible de la prévision.
- 2- **Prévision de l'intervalle de confiance** : Dans ce cas, le résultat de prévision est un intervalle qui couvre la vraie valeur future de série qu'on cherche avec une probabilité déterminée (par exemple 0.9 ou 0.95 ou 0.99). Cet intervalle donne une confiance dans la prévision, car il indique la probabilité d'avoir une erreur de la grandeur déterminée.

#### 2.6.2.1. Les erreurs de prévision :

En général, la prévision de l'échantillon de série temporelle n'est pas idéale et on peut définir l'erreur de la prévision :  $\varepsilon_t = x_t - \hat{x}_t$

Ou  $x_t$  est la vraie valeur de l'échantillon et  $\hat{x}_t$  correspond à sa prévision. Souvent on est intéressé seulement dans l'écart absolu de l'erreur :

$$|\varepsilon_t| = |x_t - \hat{x}_t|$$

Pour bien analyser la qualité de prévision, on veut utiliser les erreurs sur plusieurs échantillons. Dans ce cas on peut appliquer une des deux métriques :

#### 1- MAD (Mean Absolute Deviation) l'écart moyen de l'erreur :

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |\varepsilon_t|}{n} = \frac{\sum_{t=1}^n |x_t - \hat{x}_t|}{n}$$





### 2- MSE (Mean Squard Error) erreur quadratique moyenne :

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (\varepsilon_t)^2}{n} = \frac{\sum_{t=1}^n (x_t - \hat{x}_t)^2}{n}$$

L'erreur quadratique moyenne est plus populaire, car elle donne un poids plus grand aux erreurs plus grandes qui sont plus « dangereuses ».

#### 2.6.2.2. Les techniques de la prévision des séries temporelles :

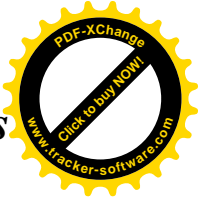
Voici quelques techniques qu'on peut utiliser pour la prévision dans les séries temporelles :

- 1- Estimation du dernier échantillon utilisée comme la prévision.
- 2- Lisage exponentiel.
- 3- Régression de série temporelle.
- 4- Autorégression de série temporelle (ARIMA).
- 5- Méthodologie de Box-Jenkins
- 6- Modèles basés sur l'espace d'états : Filtre de Kalman

#### 2.6.2.3. Choix de technique de la prévision des séries temporelles

Le choix d'une technique pour la prévision dépend des caractéristiques cherchées qui peuvent être divisées dans les catégories suivantes :

1. Type de la prévision (point, intervalle de confiance).
2. Horizon de la prévision (plus long => plus difficile).
3. Composant de la série (T, C, S, R).
4. Coût de la prévision
  - a. Développement du modèle pour la prévision
  - b. Mémoire demandée.
  - c. Complexité.



## Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH

---

5. Précision de la prédiction.
6. Disponibilité de données.
7. Facilité de l'opération et de la compréhension.

### 2.6.2.4. Développement des modèles pour prévision :

Dans ce chapitre on va présenter une méthodologie pour le développement des modèles pour prévision. Cette méthodologie sera illustrée par plusieurs exemples. Elle peut être décomposée en quatre étapes :

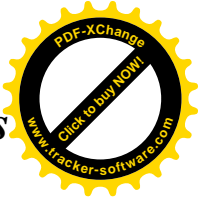
- 1) Identification du type de modèle
  - a) Application du Corrélogramme
- 2) Estimation des paramètres du modèle
  - a) Estimation des moindres carrés **LES** (Moindre carré ordinaire MCO)
  - b) Estimation du maximum de vraisemblance **MLE**
- 3) Vérification du modèle
  - a) Analyse du résidu
- 4) Vérification des alternatifs (si la vérification du modèle n'est pas positive)
  - a) Retour à l'étape numéro1 ou l'identification.

Dans le chapitre d'application sur les données des prix spot du pétrole suivant, on va illustrer cette méthodologie en considérant seulement les types de modèles appartenant à la famille ARIMA avec des perturbations de type GARCH Par contre, la méthodologie est valide aussi pour des autres types de modèles.



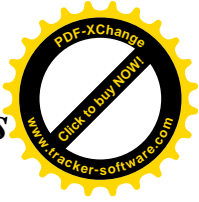
## *Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH*

---



### 2.6.3. Le modèle et robustesse des prévisions :

Cette section illustre comment utiliser la taxinomie présentée précédemment dans le cadre de la prévision ; par exemple comment pallier les chocs déterministes, ceux qui entraînent des erreurs d'espérance non nulle. Plusieurs voies s'ouvrent à nous : utiliser des méthodes purement statistiques ou améliorer un modèle existant. La réponse à apporter dépend de l'utilisation qu'on souhaite faire de la prévision. Mais dans les cas exposés ci-dessous, il est important de déterminer la forme du choc que les variables subissent. De manière simple, on s'intéressera donc en premier, les méthodes que nous présentons ci-dessous sont utilisées couramment par les prévisionnistes professionnels : nous tâchons surtout de montrer pourquoi, et sous quelles hypothèses, elles peuvent être gage d'amélioration de la prévision. A priori, la nature d'un choc non anticipé n'est pas connue ; pourtant l'intérêt de l'analyse formelle apparaît sous deux angles : elle permet d'une part de savoir dans quel contexte une méthode se révélera utile et ce faisant, sur la base d'une hypothèse concernant les risques de chocs, de choisir parmi les corrections possibles pour certaines variables à prévoir. Ainsi ces techniques peuvent-elles s'insérer dans un modèle plus général qui, quant à lui, permettra d'obtenir des variantes.



## *Chapitre II : Techniques d'analyses et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH*

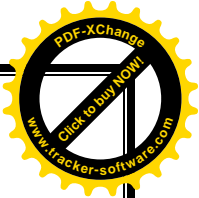
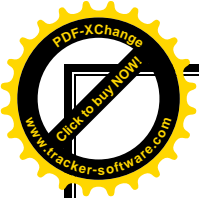
---

Conclusion du deuxième chapitre :

De nombreuses techniques sont utilisées pour l'analyse des séries temporelles dans ce travail on a essayé de cercler les techniques couramment utilisées comme les modèles uni-variés ARMA pour des séries temporelles et des modèles multi-variés comme les modèles VAR (Vecteur Auto Régressif) et VECM (Vector Error Correction Model) et les modèles ARCH et GARCH pour les séries financières caractérisées par l'existence du phénomène de la volatilité, dans ce travail on cherche d'étudier la raison de l'apparition de la volatilité du marché financier. La raison de l'existence de la volatilité n'est pas seulement les informations anticipées existantes sur le marché financier mais aussi les comportements des investisseurs dans ce domaine, les bulles spéculatives sur les marchés boursiers et plusieurs autres facteurs. La modélisation de la volatilité, ou bien les fluctuations aléatoires dans le temps observé dans de nombreuses séries temporelles, notamment dans des séries financières comme les séries des prix du pétrole. Bien que l'ampleur des variations du cours évolue dans le temps, les chercheurs utilisaient généralement des méthodes statistiques basées sur l'hypothèse d'une volatilité constante comme le cas des modèles ARMA qui supposent une variance constante dans le temps. Cette hypothèse introduisait de nombreux biais, notamment dans la phase de la prévision.

Les modèles ARCH et GARCH, par contre, ont l'avantage de permettre de modéliser avec assez peu de paramètres des séries temporelles complexes. Pour cette raison ces modèles sont très utilisés dans les séries financières, en particulier pour prédire la volatilité.

Pour terminer, il faut, insister sur l'intérêt des modèles ARCH du point de vue de probabilité théorique, ceci pouvant également, à plus long terme, permettre de résoudre ou de mieux comprendre certaines difficultés techniques rencontrées dans l'étude de séries financières. Les modèles ARCH constituent en effet l'une des rares classes de modèles dynamiques non linéaires qui peut être explicitement analy



# ***CHAPITRE III***

## ***La prévision de volatilité des prix du pétrole par les méthodes ARCH et (G)ARCH***



## *Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH*

---



### CHAPITRE III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH

#### Introduction :

L'analyse et la prévision des séries financières, en particulier, la série des données sur les prix du pétrole, et plus particulièrement la prévision à court et moyen terme, n'a pas connu des études approfondies en Algérie. Les études ayant été réalisées jusqu'ici ce sont les études qui utilisent des modèles multi-variés, les modèles couramment utilisés par les différents organismes Algériens sont souvent des modèles VECM (Vector Error Correction Model) par la dynamique VAR (Vecteur Auto Régressif,) ou des approches par les modèles d'équilibre générale Algérien MEGA ou les modèles d'équilibre générale calculable MEGC. Ce sont des modèles d'analyse qui traitent généralement l'effet des variations des prix du pétrole sur les différents indicateurs macro-économiques.

La diffusion de logiciels spécialisés met la prévision des séries temporelles à la portée de toutes les organisations. La prévision est fondamentale dans la mesure où elle est à la base de l'action. La prise de décision doit en effet toujours reposer sur des prévisions. C'est ainsi qu'un organisme comme l'OPEP s'intéresse aux prévisions des ventes futures pour faire face à la demande mondiale, gérer sa production et ses stocks, mais aussi orienter sa politique commerciale (prix, produits, etc.). Il s'agit ici de prévision à court terme. Il est possible d'exposer les méthodes de prévision à plusieurs niveaux.

Les méthodes classiques de prévision fondées sur les processus ARMA supposent des séries temporelles à volatilité constante. Cette modélisation n'est pas toujours conforme à la réalité surtout quand il s'agit d'une série des prix du brut. Elle néglige l'information contenue dans la partie non expliquée du processus d'évolution de notre série des prix. Il est alors nécessaire de remettre en cause la formalisation économétrique traditionnelle des aléas basée sur l'homoscédasticité.

Notre recherche va porter sur les le prix spot du pétrole brut. En effet, le prix spot du pétrole brut étant un prix au jour le jour, il est beaucoup moins stable dans le temps que le prix officiel fixé à partir de contrats à long terme. L'analyse de la série temporelle uni-



## *Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH*

---

variée des prix spot du marché pétrolier de l'O.P.E.P. montre des propriétés non traditionnelles de l'hétéroscédasticité et de leptokurtosis.

Les résidus obtenus après estimation des paramètres du modèle ARMA générateur de la régression finale représentent la partie purement aléatoire non expliquée de l'évolution des prix spot du pétrole brut. Ils sont la source d'aléa non contrôlés par le modèle, et donc de la volatilité. En présence de l'hétéroscédasticité, les modèles ARCH (R.F.Engle, 1982) apportent une réponse au problème de changement de régime observé sur le graphique des résidus. Ils permettent d'introduire une volatilité aléatoire.

Leur principe consiste à poser la variance conditionnelle d'un processus comme une moyenne pondérée des carrés des résidus passés de ce processus. Ils fournissent une bonne représentation de la leptokurtosis et de l'hétéroscédasticité dépendante du temps, améliorent la qualité de l'estimation ainsi que la précision en matière de prévision.

Dans ce chapitre on essaye d'analyser et modéliser la volatilité de la série des prix spot du pétrole brut en utilisant des modèles sophistiqués des séries temporelles à savoir, les modèles ARCH et (G)ARCH. Pour cela, et dans un premier lieu, on essaye d'analyser les propriétés statistiques de notre série ce qui nous permet de passer à la phase de la modélisation et finalement à la phase de prévision.

### 3.1. Modélisation de la volatilité du prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH :

Un Objectif commun dans l'analyse des séries temporelles, cet objectif est de fournir des prévisions. Dans ce travail, l'objectif est de modéliser la volatilité de la série des prix spot du pétrole brut et donner une mesure de la forte volatilité observée dans les cours des prix du pétrole brut. Le prix du pétrole brut est une série temporelle de type financier. Ce qui consiste à l'application d'un modèle sophistiqué fondé sur la modélisation ARCH et (G)ARCH. Cette modélisation va nous permettre d'améliorer la qualité en matière de la précision dans la prévision.



## ***Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH***

---

### 3.1.1. Présentation des données des prix SPOT du pétrole brut :

Pour l'étude de notre recherche on a choisit le Prix Spot du pétrole brut de référence<sup>22</sup> le prix spot de l'OPEP basket (le panier de l'O.P.E.P). Nous disposons de la série mensuelle des prix spot du pétrole brut avec un total de données de 190 observations exprimé en Dollars US par baril<sup>23</sup> extraite des bulletins statistiques annuels de l'OPEP couvrant la période : janvier 2000 à Octobre 2015. Dans cette section nous présenterons les données des prix SPOT du pétrole brut et leurs propriétés statistiques ensuite on essaye d'aborder l'étape de modélisation.

La notation choisie pour la série est (en retenant la lettre P pour désigné le prix du pétrole brut et la lettre  $s$  pour le prix spot du pétrole brut, la lettre  $t$  indique le temps), on note  $Ps_t$  : le prix spot du pétrole brut en \$ / baril. Les données des prix spot du pétrole, les graphes et les calculs sont effectués par le logiciel EViews 7.0<sup>24</sup>.

#### 3.1.1.1. Etude Graphique :

Cette première étape qui précède la modélisation est très importante. Car elle repose sur l'analyse visuelle du graphe retenu des données historique de l'évolution des prix spot du pétrole brut, et aussi sur l'étude de la stationnarité qui est la partie la plus important dans la phase de la modélisation de la série des prix spot du pétrole étudié.

Le graphe (figure N°09) suivant représente l'évolution des prix spot du pétrole ( $Ps_t$ ) pendant la période de janvier 2000 à octobre 2015.

---

<sup>22</sup> Les Prix de références sont des valeurs qui remplace le prix de marché dans les calculs théoriques lorsque l'on considère que les prix du marché ne représente pas la vraie valeur économique, on les appelle également prix économique, prix comptable, prix réels.

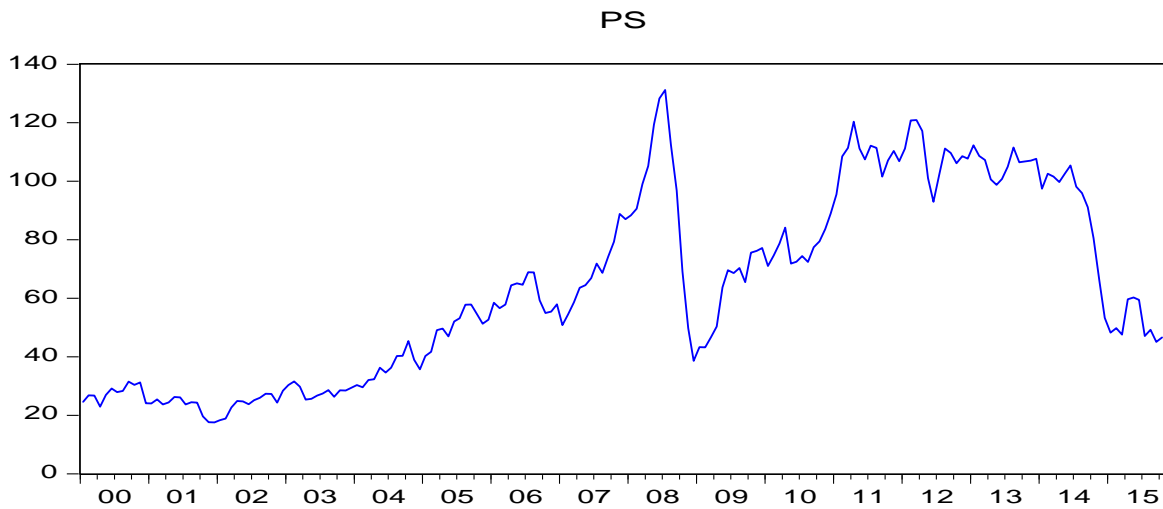
<sup>23</sup> Voir les données de l'évolution historique des prix spot du pétrole brut (ANNEXE N°01)

<sup>24</sup> EViews est le successeur des logiciels d'économétrie TSP(Time Series Processor). C'est un logiciel qui s'intéressera tous ceux qui ont à traiter des séries chronologiques ; ce logiciel est produit par Quantitative Micro Softwar.



## Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH

Figure N° 09: Evolution des prix spot du pétrole brut entre janvier 2000 à Octobre 2015.



La lecture visuelle du graphe ci -dessus montre une évolution des prix spot du pétrole brut dans le temps. Et delà, on peut noter quatre phases d'évolution ou bien de volatilité dans cette figure : De Août 2007 à Avril 2008 et de Avril 2008 à Février 2009 et de octobre 2009 à mars 2012 et de juin 2014 à Septembre 2015. La première phase (d'Août 2007 à Avril 2008) est marquée par une croissance régulière des prix. Au cours de cette période, on observe un pic très remarqué en Avril 2008. Ce pic est vraisemblablement le résultat de la forte flambée des prix observée après le début de la crise financière en 2008. La deuxième phase (d'Avril 2008 à Février 2009), quant à elle, est marquée par une quasi-stabilité des prix due à la reprise de l'activité économique intervenue quelques mois après la crise. La troisième phase (octobre 2009 à mars 2012) est marquée par une augmentation progressive des prix du pétrole cela était associée à l'instabilité géopolitique surtout celle du conflit en Libye. La quatrième phase (juin 2014 à septembre 2015) est marquée par une chute très semblable et régulière des prix spot du pétrole et cela due à la faible demande mondiale et le changement significatif de la politique de l'OPEP qui a décidé d'accroître sa production après l'expansion de l'offre de pétrole de la part des producteurs n'appartenant pas à l'OPEP.

D'un autre coté, on observe que la série des prix spot du pétrole brut semble non stationnaire. Selon le graphe, on remarque qu'il y'a un mouvement léger à moyen terme de croissance ou décroissance révélant la présence d'une composante déterministe dans la série appelée « Tendence ou trend » qui exprime donc l'évolution générale de la série.

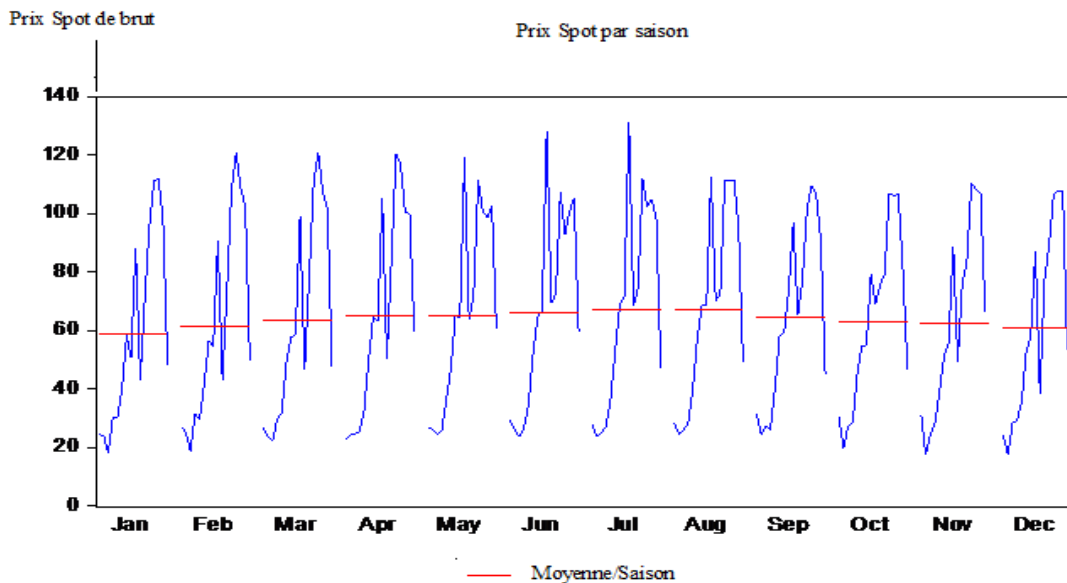
## Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH

Bien entendu, on constate également des fluctuations plus ou moins importantes que l'on appelle irrégulières ou mouvement résiduels « Stochastique ». Ces fluctuations irrégulières sont dues à des facteurs exceptionnels imprévisibles comme la crise financière (la crise de subprime 2008).

Nous remarquons aussi un phénomène accidentel, il s'agit du pic de l'année 2008, un pic anormalement élevé au mois d'Avril pendant cette année.

Le graphe de la série peut encore faire apparaître qu'il n'y a pas de périodicité dans les valeurs observées révélant qu'il n'y a pas une présence d'un phénomène dit « saisonnier ». Cette remarque peut être vérifiée grâce au graphe de la saisonnalité (*Figure N° 10*) suivant :

Figure N° 10: Le graphe saisonnier du prix spot du pétrole brut entre janvier 2000 et Octobre 2015.



### 3.1.1.2. Détermination du type de la série des prix spot du pétrole

Après avoir étudié et examiner le graphe de notre série des prix spot du pétrole brut et déterminer les différents composantes qui gouvernent le processus générateur de nos données, nous retenons que celle-ci ont été générée par un processus pourvue de deux principales composantes :  $T_t$  une tendance et fluctuations irrégulières  $\varepsilon_t$  ; le phénomène accidentel étant intégré au terme de fluctuations irrégulières.



## Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH

Ainsi, il existe deux représentations possibles du processus générateur de nos données :

**1- Représentation additif :** c'est le modèle classique de décomposition dans le traitement des modèles d'ajustement. La variable prix spot du pétrole brut s'écrit comme la somme des deux termes :

$$Ps_t = T_t + \varepsilon_t \text{ Avec } T_t \text{ représente la tendance et } \varepsilon_t \text{ les composantes aléatoires.}$$

**2- Représentation multiplicatif :** la variable prix spot du pétrole brut s'écrit au terme d'erreur près comme le produit de la tendance et de la composante aléatoire:  $Ps_t = T_t \times \varepsilon_t$  l'ajustement est ici multiplicatif et intervient dans les modèle (G)ARCH.

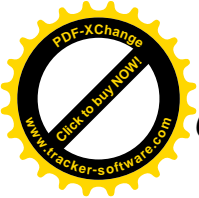
Pour identifier la représentation qui convient le mieux à notre série des prix spot du pétrole brut, nous effectuerons le test paramétrique celui de Bays-Ballot<sup>25</sup>. Le test de Bays-Ballot est fondé sur les méthodes analytiques prenant en compte le calcul des moyennes  $\mu_t$  (les moyennes annuelles) et les écarts types  $\sigma_t$  pour chaque année.

Le résultat de calcul des moyennes et les écarts types de la série est réunie dans le tableau N°02 suivant :

Tableau N° 02: Les moyennes et l'écart types de la série des prix spot du pétrole brut.

Année	$\mu_t$	$\sigma_t$
2000	27,55	2,75
2001	23,01	3,01
2002	24,31	3,12
2003	28,17	1,93
2004	36,1	4,65
2005	50,58	5,54
2006	61,04	5,04

<sup>25</sup> Le chimiste et météorologue Christophe Bays-Ballot, Note sur rapport de l'intensité de la direction du vent avec les écarts simultanés du baromètre.



## Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH

2007	69,06	11,92
2008	94,07	29,22
2009	62,76	12,73
2010	77,43	5,73
2011	108,66	6,05
2012	109,14	8,16
2013	106,07	4,18
2014	91,22	16,33
2015	51,3	6,01

Pour ces paires d'observations ( $\mu_t$  et  $\sigma_t$ ), nous estimerons les paramètres  $a$  et  $b$  de l'équation  $\sigma_t = a + b\mu_t + \varepsilon_t$  en utilisant la méthode des moindres carrés ordinaire MCO. Nous reportons les différents résultats des paramètres calculés par le logiciel Eviews 7 dans le tableau N°03 suivant:

Tableau N° 03 : Régression de l'écart type sur les moyennes annuelles de la série des prix spot du pétrole brut.

Dependent Variable: E  
 Method: Least Squares  
 Date: 11/04/15 Time: 14:17  
 Sample: 2000M01 2015M10  
 Included observations: 190  
 E=C(1)+C(2)\*M

	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	1.052341	1.005098	1.047004	0.2964
C(2)	0.107426	0.014203	7.563824	0.0000
R-squared	0.233315	Mean dependent var		7.918000
Adjusted R-squared	0.229237	S.D. dependent var		6.776904
S.E. of regression	5.949656	Akaike info criterion		6.415014
Sum squared resid	6654.901	Schwarz criterion		6.449194
Log likelihood	-607.4264	Hannan-Quinn criter.		6.428860
F-statistic	57.21143	Durbin-Watson stat		0.113812
Prob(F-statistic)	0.000000			



## Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH



L'estimation du modèle est donnée par l'équation suivante :

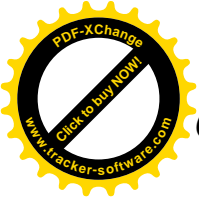
$$\sigma_t = 1.052341 + 0.107426\mu_t$$

La statistique t de student pour le paramètre  $b$  est égale à 7.56 avec une probabilité de 0.0000. Elle est inférieure à 0.05, donc on rejette l'hypothèse nulle (disant que  $b$  est égal à zéro), le coefficient est significativement différent de 0 d'où la représentation du modèle est de type **Multiplicatif**.

### 3.1.1.3. Etude de la stationnarité de la Série des prix spot du pétrole :

Les données de notre étude constituent une série temporelle, ce qui nous amène donc à étudier leurs caractéristiques stochastiques afin de déterminer si elles sont stationnaires ou non. Par définition une série temporelle est stationnaire lorsque sa moyenne et sa variance sont des constantes dans le temps et si la valeur de la covariance entre deux périodes de temps ne dépend que de la distance ou écart entre ces deux périodes et non pas du moment auquel la covariance est calculée. Plus précisément, il s'agit de faire le test de racine unitaire sur cette série des prix spot du pétrole. Pour cela, on effectuera le test amélioré de Dickey Fuller Augmenté. Ce test permet, non seulement de détecter l'existence d'une tendance (test de racine unitaire), mais aussi de déterminer la meilleure manière de rendre une chronique stationnaire.

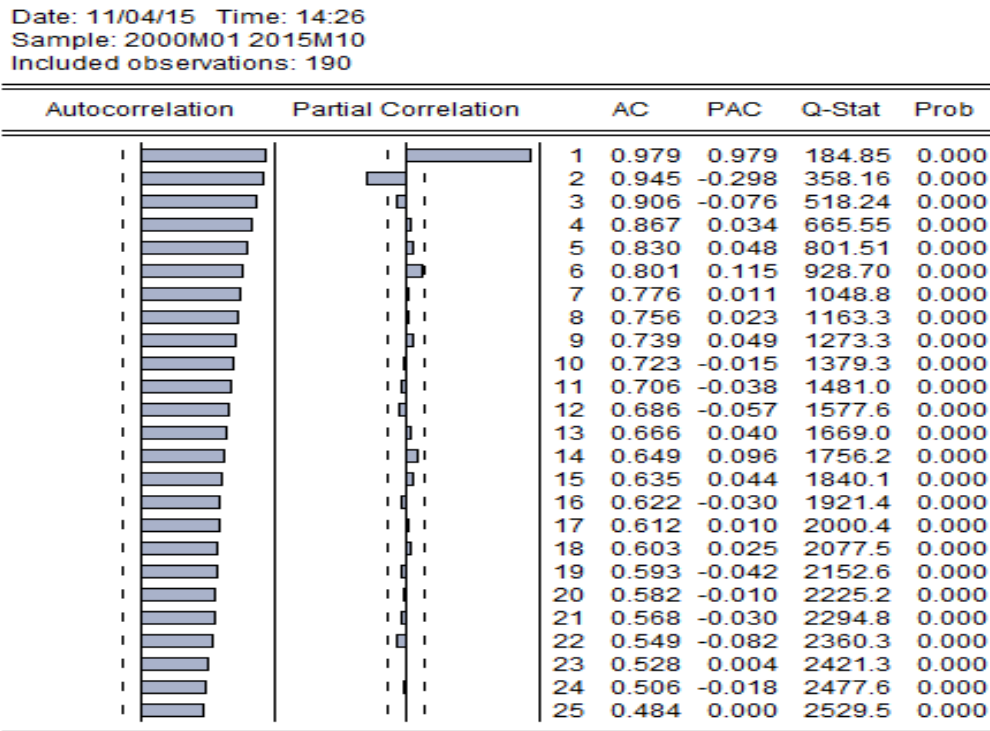
Pour étudier la stationnarité de la série des prix spot du pétrole brut, nous effectuerons dans un premier temps un examen du Corrélogramme de la série à priori que nous éprouverons dans un second temps par le test de Dickey-Fuller Augmenté.



# Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH

a) Etude du Corrélogramme de la série des prix spot :

A.1. Corrélogramme de la série brute des prix spot du pétrole brut.



Le Corrélogramme de la série brute des prix spot du pétrole montre des fonctions d'autocorrélations dont les valeurs sont proche l'une de l'autre, et décroissent très lentement vers le zéro, qui sont les signes d'une non-stationnarité en tendance.

b) Application du test Dickey-Fuller Augmenté :

Pour confirmer la non-stationnarité conclut du Corrélogramme précédent, nous allons effectuer le test de racine unitaire de Dickey-Fuller Augmentés. Nous essayons d'estimer les trois modèles suivants, afin de déceler et apercevoir cette non-stationnarité :

(1) Le modèle Autorégressif d'ordre 1 :

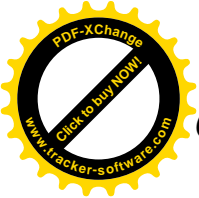
$$\Delta y_t = \hat{\varphi} y_{t-1} + \hat{\varepsilon}_t ;$$

(2) Le modèle Autorégressif d'ordre 1 avec constante :

$$\Delta y_t = \tilde{\varphi} y_{t-1} + \tilde{\mu}_1 + \tilde{\varepsilon}_t ;$$

(3) Le modèle Autorégressif d'ordre 1 avec constante et tendance (trend) :

$$\Delta y_t = \bar{\varphi} y_{t-1} + \bar{\beta}_t + \bar{\mu}_2 + \bar{\varepsilon}_t$$



## Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH

Les résultats obtenus de l'estimation et l'application du test de racine unitaire de DFA sont réunies dans le tableau (04) suivant (à l'aide de logiciel EVIEWS7.0):

Tableau N° 04 : Résultats du test Dickey-Fuller Augmentés<sup>26</sup>.

<u>Le modèle</u>	<u>Statistiques</u>	<u>Hypothèse nulle</u>	<u>Ps<sub>t</sub></u>	<u>ADF</u>
(1)	$\hat{\varphi}$	$\hat{\varphi} = 0$	-0.004135 (-0.744393)(0.4576)*	-0.744393 (0.3928)*
(2)	$\tilde{\varphi}$ $t_{\mu_1}$	$\tilde{\varphi} = 0$ $\mu_1 = 0$	0.385303 (5.700420) (0.0000)*  1.659868 (1.870147) (0.0630)*	-2.008161 (0.2832)*
(3)	$\varphi^-$ $t_{\beta_t^-}$ $t_{\mu_2^-}$	$\varphi^- = 0$ $\beta_t^- = 0$ $\mu_2^- = 0$	1.508845 (1.690579) (0.0926)* 0.016332 (1.357767)(0.1762)* 0.408167 (5.872138)(0.0000)*	-2.300511 (0.4312)*

(.)\* désigne les valeurs critiques à 5% de la statistique du test.

Dans les trois modèles on accepte l'hypothèse  $H_0$  d'existence de racine unitaire. On remarque que les probabilités retenus de l'application du test de DFA dans les trois modèles sont supérieures à 0.05 donc la série brut des prix spot du pétrole n'est pas stationnaire et on dit que la série présente une racine unitaire comme on remarque dans le troisième modèle que la constante est significativement différentes de zéro. Dans ce cas on doit passer à la décomposition de la série étudié des prix spot du pétrole brut  $Ps_t$  pour pouvoir la stationnariser.

c) Décomposition de la série des prix spot du pétrole :

Cette phase porte sur la stationnarisation de la série des prix spot du pétrole brut, pour ce faire on doit suivre les étapes suivantes : l'élimination de la tendance par

<sup>26</sup> Voir Annexe N°3



## Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH

l'estimation de la fonction de la tendance et étudier les résidus obtenus de cette estimation comme une série stationnaire. Si la série des résidus n'est pas stationnaire on passe à la deuxième étape qui consiste à appliquer le filtre de différence première et faire la modélisation de la nouvelle série différencier.

### C.1) L'élimination de la tendance (trend) :

La procédure adéquate pour éliminer ce type de non stationnarité s'effectue en calculant les résidus par rapport à la tendance estimée par la méthode des moindres carrés ordinaires<sup>27</sup>. Les résultats obtenus sont réunies dans le tableau N° 05 suivant :

Tableau N° 05 : Estimations de la fonction de la tendance par la méthode des MCO.

Dependent Variable: PS  
 Method: Least Squares  
 Date: 11/04/15 Time: 14:51  
 Sample: 2000M01 2015M10  
 Included observations: 190

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	21.31211	2.950576	7.223033	0.0000
@TREND	0.450654	0.027004	16.68828	0.0000

R-squared	0.596998	Mean dependent var	63.89895
Adjusted R-squared	0.594854	S.D. dependent var	32.07451
S.E. of regression	20.41577	Akaike info criterion	8.880963
Sum squared resid	78359.08	Schwarz criterion	8.915142
Log likelihood	-841.6915	Hannan-Quinn criter.	8.894808
F-statistic	278.4987	Durbin-Watson stat	0.082818
Prob(F-statistic)	0.000000		

Le modèle est donnée par l'écriture :  $Ps_t = 21.32211 + 0,45654 * @trend$

La série des résidus d'estimation obtenue ( $e_t$ )<sup>28</sup> sont considérés comme une série stationnaire.

<sup>27</sup> La méthode de moindre carrée ordinaire MCO

<sup>28</sup> Voir les résidus obtenus de l'estimation de la fonction de la tendance par la méthode des MCO dans ANNEXE N° 02



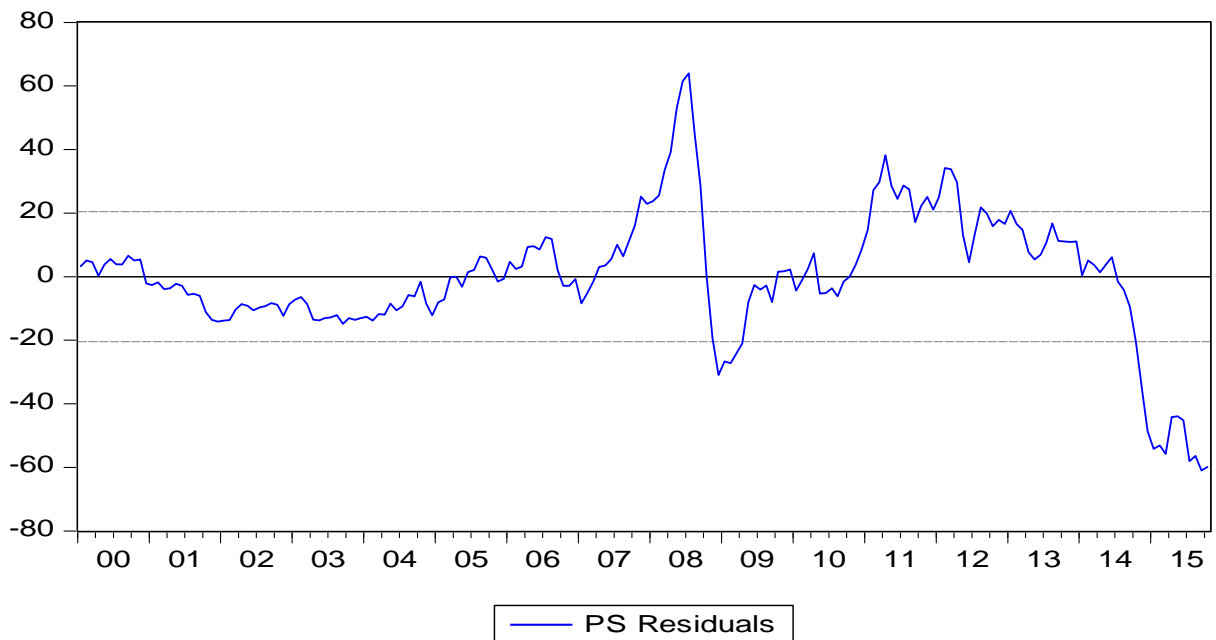


## Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH

On procède maintenant à l'étude de cette série des résidus d'estimation obtenue ( $e_t$ ) selon la méthodologie de Box-Jenkins. Ceci nous permet de déterminer les ordres  $p$  et  $q$  des parties AR et MA des résidus.

On commence dans cette étude par l'analyse graphique de la série des résidus la figure N°11 présente l'évolution des résidus obtenus de l'estimation de la fonction de la tendance de la série  $Ps_t$

Figure N° 11: Evolution des résidus obtenus de l'estimation de la fonction de la tendance de la série  $Ps_t$ .



On remarque des fluctuations brute dans le graphe résiduelle ce qui confirme que la série des prix spot du pétrole après l'élimination de la tendance ou la trend reste toujours non stationnaire, on va confirmer cette non stationnarité avec l'analyse du Corrélogramme A.2 des résidus de la série des prix spot du pétrole brut.



# Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH

## A.2. Corrélogramme des résidus de la Série $PS_t$

Date: 11/04/15 Time: 14:57  
 Sample: 2000M01 2015M10  
 Included observations: 190

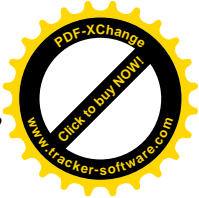
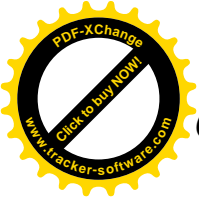
Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.936	0.936	168.97	0.000
		2	0.839	-0.291	305.60	0.000
		3	0.731	-0.090	409.87	0.000
		4	0.624	-0.024	486.25	0.000
		5	0.529	0.031	541.43	0.000
		6	0.451	0.036	581.67	0.000
		7	0.384	-0.013	611.09	0.000
		8	0.321	-0.067	631.78	0.000
		9	0.267	0.028	646.20	0.000
		10	0.217	-0.039	655.71	0.000
		11	0.165	-0.051	661.27	0.000
		12	0.117	-0.008	664.07	0.000
		13	0.076	0.012	665.25	0.000
		14	0.047	0.052	665.71	0.000
		15	0.032	0.034	665.93	0.000
		16	0.022	-0.038	666.03	0.000
		17	0.020	0.039	666.11	0.000
		18	0.021	0.001	666.20	0.000
		19	0.018	-0.036	666.27	0.000
		20	0.014	-0.004	666.32	0.000
		21	0.006	-0.032	666.32	0.000
		22	-0.015	-0.092	666.37	0.000
		23	-0.035	0.039	666.63	0.000
		24	-0.057	-0.058	667.35	0.000
		25	-0.078	-0.002	668.69	0.000

Le Corrélogramme des résidus de la Série  $Ps_t$  obtenus par la méthode de la régression montre des fonctions d'autocorrelation décroissent lentement vers le zéro. La chose qui montre des signes d'une non-stationnarité de la Série  $Ps_t$ . Et cela signifie que la série est plutôt stochastique, car elle n'est pas devenue stationnaire après l'élimination de la tendance.

Dans ce cas, pour éliminer cette non-stationnarité de type DS on passe au filtre de différence première qu'il s'agit de créer une autre série différencié des prix spot du pétrole brut  $\Delta PS_t$ .

### C.2) Filtre de différence première :

La procédure pour éliminer ce type de non-stationnarité de type stochastique (DS) est l'application d'un filtre de différence. Soit la série des différences premières  $\Delta PS_t$  sur



## Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH

la quelle nous devons répondre le test de racine unitaire de DFA dont les résultats<sup>29</sup> sont consigné dans le tableau 06 suivant :

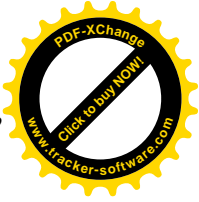
Tableau N° 06: Test de DFA de la série différencié  $\Delta Ps_t$ .

Le modèle	Statistiques	Hypothèse nulle	$\Delta Ps_t$	ADF
(1)	$\hat{\varphi}$	$\hat{\varphi} = 0$	-0.624618 (-9.217819)(0.0000)*	-9.217819 (0.0000)*
(2)	$\tilde{\varphi}$	$\tilde{\varphi} = 0$	-0.624822 (-9.195181) (0.0000)*	-9.195181 (0.0000)*
	$t_{\mu_1}$	$\mu_1 = 0$	0.064123 (0.160874) (0.8724)*	
(3)	$\varphi^-$	$\varphi^- = 0$	-0.629648 (-9.216630) (0.0000)*	-9.216630 (0.0000)*
	$t_{\beta_t^-}$	$\beta_t^- = 0$	-0.005664 (-0.767214)(0.4439)*	
	$t_{\mu_2^-}$	$\mu_2^- = 0$	0.605579 (0.746946)(0.4560)*	

Il apparait clairement que la série différencié ne possède ni tendance ni dérive et que l'hypothèse de racine unitaire est rejetée (le t empirique est inférieur aux valeurs critiques) pour chacun des trois modèles. La série est devenue stationnaire après la différenciation. Dans la suite de ce travail, l'étude portera donc sur la nouvelle série des différences premières des prix spot du pétrole brut  $\Delta Ps_t$ <sup>30</sup>.

<sup>29</sup> Voir annexe N° 04

<sup>30</sup> Voir annexe N°05



# Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH

## 3.2. Modélisation de la série des prix Spot du pétrole :

Dans la section précédente nous avons stationnarisé la série des prix spot du pétrole brut par le filtre de différence première qui nous a conduit à continuer le travail avec la nouvelle série différencié et stationnaire notée  $\Delta P_s_t$ . Pour savoir si la série sera estimée par une représentation (G)ARCH, nous mettrons d'abord en évidence les variances temporelles dans cette série des prix spot du pétrole brut et nous analyserons leur distributions non conditionnelles (asymétrie et leptokurticité) puis nous estimerons l'équation de la moyenne par la méthode classique de Box et Jenkins, pour enfin estimer l'équation avec la présence du perturbations (G)ARCH en suivant la procédure élaborée par Weiss (1984,1986).

### 3.2.1. Mise en évidence des variances temporelles :

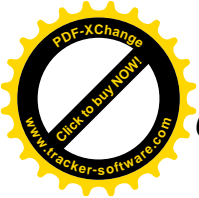
Nous avons calculé les distributions des moyens annuelles pour la série des prix Spot du pétrole brut (sur la période dont l'échantillon est issu, c'est-à-dire du 2000 jusqu'à 2015) afin de rendre compte des variations temporelles ; il ressort que les moyennes, les variances varient substantiellement dans le temps, les résultats de ces calculs sont réunis dans le tableau N° 07. Ci-dessous :

$\mu_s$  La moyenne annuelle des prix spot du pétrole brut,

$\sigma_s^2$  La variance annuelle de la série des prix du pétrole brut.

Tableau N° 07 : Les moyennes et les variances annuelles de la série  $\Delta P_s_t$ .

Années	$\Delta P_s_t$	
	$\mu_s$	$\sigma_s^2$
2000	0,04583333	3,05613677
2001	-0,54833333	1,82879411
2002	0,90333333	1,94246953



### *Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH*

---

2003	0,08583333	1,96016446
2004	0,52083333	3,27040297
2005	1,40833333	3,47927849
2006	0,44333333	4,41045933
2007	2,4225	4,54882028
2008	-4,04	13,7284635
2009	3,2125	4,90731574
2010	0,9825	5,38855036
2011	1,4875	7,02417012
2012	0,0775	7,60587348
2013	-0,00833333	3,97102651
2014	-4,5325	6,52263489
2015	-0,667	6,23157203

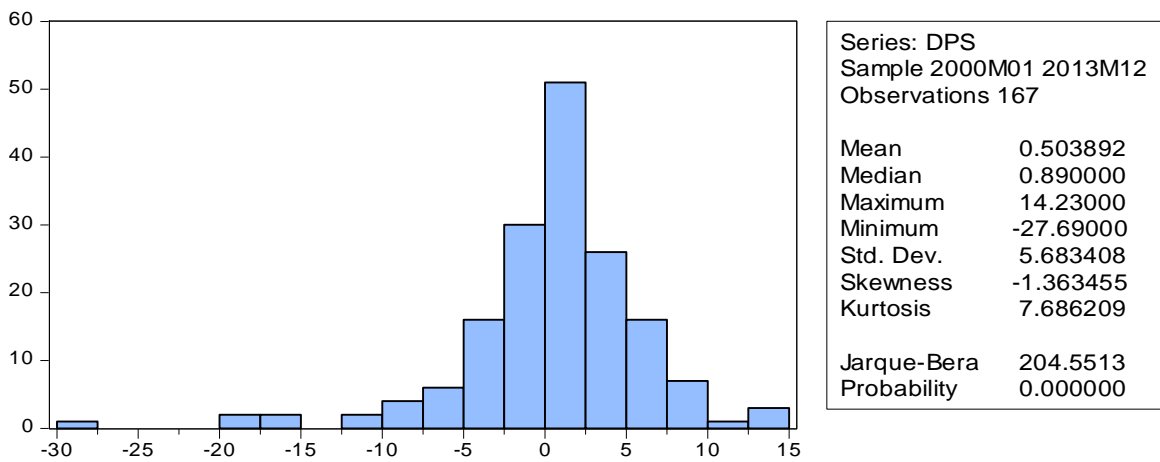


# Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH

## 3.2.2. Analyse de l'asymétrie et de la leptokurticité :

En analysant les histogrammes de la série des prix du pétrole brut  $\Delta P_{s_t}$  (Eviws présente les valeurs empiriques de la statistique de Jaque-Bera avec probabilité de rejeter à tort l'hypothèse de normalité au seuil 0.05) nous fixerons plus notre attention sur l'excès de kurtosis (en le comparant à 3) qui seront pris en charge par la représentation GARCH. L'histogramme (B.1) suivant :

B.1. Histogramme de la série  $\Delta P_{s_t}$



La distribution non conditionnelle de la série différencier des prix spot du pétrole brut présente un coefficient de kurtosis très significatif ( $>3$ ) de la leptokurticité (queux épais) et la statistique de Jarque-Bera donne une probabilité inférieure à 0,05 confirme qu'elle n'est pas gaussienne (non normale).

## 3.2.3. La Modélisation par la méthode ARMA

Dans la procédure de Box-Jenkins (1976), l'identification des modèles est basée sur la forme de Corrélogramme, il est donc important de fixer le nombre de retards pour leur analyse. En effet, lorsque le nombre de retards est très élevé des pics peuvent apparaître de manière fortuite, pouvant conduire à de faux rejets de l'hypothèse d'indépendance.



## *Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH*

Ce nombre est généralement pris de l'ordre de  $T^{1/2}$  (Terrence C.Mills 1990), d'autres études de simulation suggèrent le choix : nombre de retards  $\approx \ln(T)$  (Ruey S.Tasy 2002). Nous prendrons pour notre cas le nombre de retards  $q = 13$  (puisque  $190^{1/2} \approx 13$ ). (l'alternative  $q = 5 \approx \ln(190)$ ) Nous résumerons dans le tableau N° 08 les résultats du test d'indépendance sérielle sur la série des prix (test Ljung-Box)

Tableau N° 08: Test d'indépendance sérielle de la série  $\Delta Ps_t$

Test Ljung-Box	ΔPs <sub>t</sub>
Q(13)	55.287 (p <sub>Q</sub> = 0.000)
Q(5)	40.878 (p <sub>Q</sub> = 0.000)

$p_Q$  est la probabilité d'acceptation de l'hypothèse d'indépendance sérielle (fournie par le logiciel Eviws) basé sur la distribution du  $\chi_2$

D'après les résultats du tableau N° 08, cette série présente une dépendance sérielle et ne suivent pas un processus buis blanc au seuil 5%. Donc la série est à mémoire.

Il parait donc nécessaire de modéliser l'équation de la moyenne pour la série des prix spot  $\Delta Ps_t$ .

### 3.2.3.1. L'identification :

La phase d'identification est la phase la plus difficile : elle consiste à déterminer le modèle adéquat dans la famille des modèles ARMA. Elle est fondée sur l'étude des Corrélogrammes simple et partiel de la série étudiée.

En structurant les fonctions d'auto-corrélation simples et (ACF) et les fonctions d'auto-corrélation partielles (PACF) de la série des prix du pétrole brut Corrélogramme A.3.



# Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH

## A.3. Corrélogramme de la série des prix spot $\Delta P_{s_t}$

Date: 11/08/15 Time: 13:15  
 Sample: 2000M01 2015M10  
 Included observations: 189

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.375	0.375	27.012	0.000
		2	0.179	0.045	33.231	0.000
		3	-0.029	-0.128	33.389	0.000
		4	-0.030	0.014	33.570	0.000
		5	-0.193	-0.190	40.878	0.000
		6	-0.151	-0.031	45.402	0.000
		7	-0.150	-0.049	49.870	0.000
		8	-0.093	-0.042	51.584	0.000
		9	-0.048	0.009	52.039	0.000
		10	0.057	0.052	52.684	0.000
		11	0.085	0.026	54.165	0.000
		12	0.050	-0.042	54.679	0.000
		13	-0.054	-0.111	55.287	0.000

Le Corrélogramme montre que la fonction d'autocorrélation partiel n'a que le  $p$  premier terme significativement différent de zéro et la fonction d'autocorrélation simple est tronquée à partir du retards 2, nous retenons donc les formes possible pour la série des prix du pétrole: AR(1), MA(1), MA(2), ARMA(1,1), ARMA(1,2). En éliminant les estimations où les coefficients ne sont pas significativement différent de 0 (on utilise la statistique de Student dont la probabilité de rejet de l'hypothèse de nullité est fournie par Eviws7.0). Puis en analysant les Corrélogrammes des résidus de chaque équation nous avons retenue les critères (SC) Schwartz, AIC (Akaike info criterion), Log likelihood et  $R^2$ . On le choix entre les modèles retenus de l'examen du Corrélogramme ce fait par la sélection du modèle qui donne un minimum de SC et AIC et le maximum de Log-Likelihood et  $R^2$ . Nous réunissons les résultats dans le tableau N°09 suivant :

Tableau N° 09 : Identification de l'ordre du modèle

Modèle	$R^2$	SC	AIC	Log likelihood
AR(1)	0.140698	6.251630	6.234415	-585.0350





## Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH

MA(1)	0.110942	6.280961	6.263809	-590.9300
MA(2)	0.033584	6.364393	6.347241	-598.8143
ARMA (1.1)	0.141672	6.278349	6.243918	-584.9283
ARMA (1.2)	0.147136	6.271963	6.237533	-584.3281

Selon les critères, on choisie le modèle AR(1) puisque il donne les valeurs les moins faibles des deux critères SC et AIC et maximum de Log-likelihood et  $R^2$ .

### 3.2.3.2. L'estimation des paramètres du modèle :

La méthode d'estimation diffère selon le type de processus diagnostiqué. Dans notre cas on a le modèle AR(1), nous pouvons appliquer une méthode des MCO. L'estimation de ce modèle est donnée par le logiciel Eviws7.0. Les résultats sont réunis dans le tableau N°10 suivant :

Tableau N° 10: Estimations des paramètres du modèle AR(1)

Dependent Variable: DPS  
Method: Least Squares  
Date: 11/08/15 Time: 13:19  
Sample (adjusted): 2000M03 2015M10  
Included observations: 188 after adjustments  
Convergence achieved after 2 iterations

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(1)	0.375382	0.067762	5.539706	0.0000
R-squared	0.140698	Mean dependent var		0.105053
Adjusted R-squared	0.140698	S.D. dependent var		5.879276
S.E. of regression	5.450004	Akaike info criterion		6.234415
Sum squared resid	5554.375	Schwarz criterion		6.251630
Log likelihood	-585.0350	Hannan-Quinn criter.		6.241389
Durbin-Watson stat	2.031124			
Inverted AR Roots	.38			

## Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH

Le modèle AR(1) estimé est donc le suivant :  $\Delta P_{S_t} = 0.375382\Delta P_{S_{t-1}} + \varepsilon_t$

### 3.2.3.3. Validation du modèle :

Cette étape consiste à vérifier si le modèle estimé reproduit le modèle qui a engendré les données. Pour cela les résidus obtenus à partir du modèle estimé  $\varepsilon_t$ <sup>31</sup> sont utilisés pour vérifier s'ils se comportent comme des erreurs bruit blanc<sup>32</sup>.

Pour cela, on va vérifier les quatre hypothèses stochastiques du modèle AR(1) :

**H<sub>1</sub>**:  $E(\varepsilon_t) = 0$ , la moyenne est nulle ;

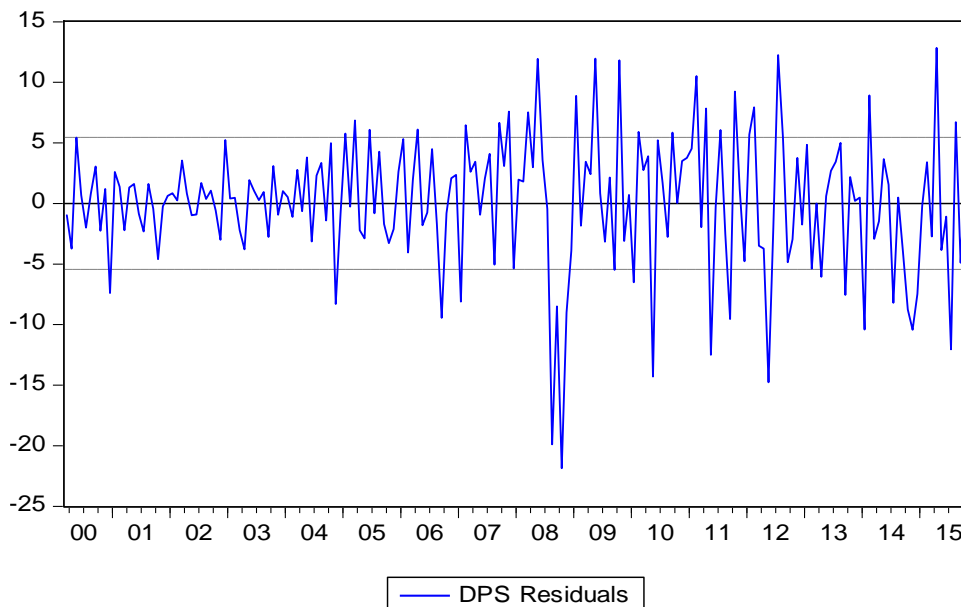
**H<sub>2</sub>**:  $E(\varepsilon_t \varepsilon_{t'}) = 0$ , si  $t \neq t'$ , les erreurs sont non corrélées (ou encore indépendantes) ;

**H<sub>3</sub>**: Normalité des erreurs ;

**H<sub>4</sub>**:  $E(\varepsilon_t^2) = \sigma_\varepsilon^2$ , la variance de l'erreur est constante ( $\forall t$ ) (homoscédasticité).

#### 1) Test de nullité des résidus H<sub>1</sub> :

Figure N° 13 : Graphe des résidus (La nullité de la moyenne des résidus).



<sup>31</sup> Voir annexe N°06.

<sup>32</sup> Bruit blanc est une réalisation d'un processus aléatoire dans lequel la densité spectrale de puissance est la même pour toutes les fréquences.



## *Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH*

---

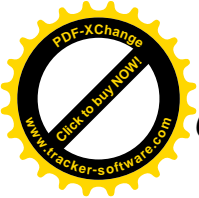
On remarque dans le graphe N°13 que la moyenne est située dans l'intervalle de confiance ce qui consiste à accepter l'hypothèse de nullité de la moyenne des résidus,

### 2) Test de non auto-corrélation des résidus $H_2$ :

La vérification de cette hypothèse se fait par l'analyse et l'examen de la fonction d'auto-corrélation simple FAC et de la fonction d'auto-corrélation partielle FACP données dans le Corrélogramme A.4. On doit vérifier qu'il n'existe aucune auto-corrélation simple ou auto-corrélation partielle significativement non nulle (différente de zéro) pour le modèle étudié AR(1), cette étude est prolongée par le test du Ljung-Box<sup>33</sup>. Le logiciel Eviws7.0 calcule cette statistique et donne les résultats dans le Corrélogramme A.4 suivant :

---

<sup>33</sup> Ljung-box: c'est un test qui permet d'identifier les processus de bruit blanc (suite de variables aléatoires de même distribution et indépendantes entre elles. Sous Eviws la statistique de Ljung-box est notée Q-stats.



# Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH

## A.4. Corrélogramme des résidus du modèle AR(1).

Date: 11/08/15 Time: 13:39  
 Sample: 2000M03 2015M10  
 Included observations: 188  
 Q-statistic probabilities adjusted for 1 ARMA term(s)

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1	-0.017	-0.017	0.0526
		2	0.088	0.088	1.5401
		3	-0.105	-0.103	3.6501
		4	0.055	0.046	4.2376
		5	-0.176	-0.161	10.299
		6	-0.052	-0.074	10.827
		7	-0.093	-0.060	12.521
		8	-0.036	-0.067	12.781
		9	-0.048	-0.036	13.232
		10	0.061	0.032	13.991
		11	0.065	0.050	14.849
		12	0.052	0.017	15.391
		13	-0.047	-0.071	15.843
		14	-0.104	-0.137	18.043
		15	0.007	0.012	18.053
		16	0.006	0.025	18.062
		17	-0.070	-0.073	19.092
		18	0.026	0.035	19.230
		19	0.026	0.008	19.375
		20	0.024	-0.008	19.497
		21	0.068	0.064	20.490
		22	0.064	0.023	21.369
		23	0.010	-0.003	21.389
		24	-0.053	-0.031	22.011
		25	0.094	0.125	23.959

On remarque que tous les termes du Corrélogramme simple appartiennent à l'intervalle de confiance, cela est caractéristique d'un processus de bruit blanc. La statistique de Ljung-Box donnée dans le Corrélogramme donne des probabilités supérieures à 0.05 qui consiste à accepter l'hypothèse de nullité des auto-corrélations donc les erreurs ne sont pas corrélées.

### 3) Test de normalité des résidus $H_3$ :

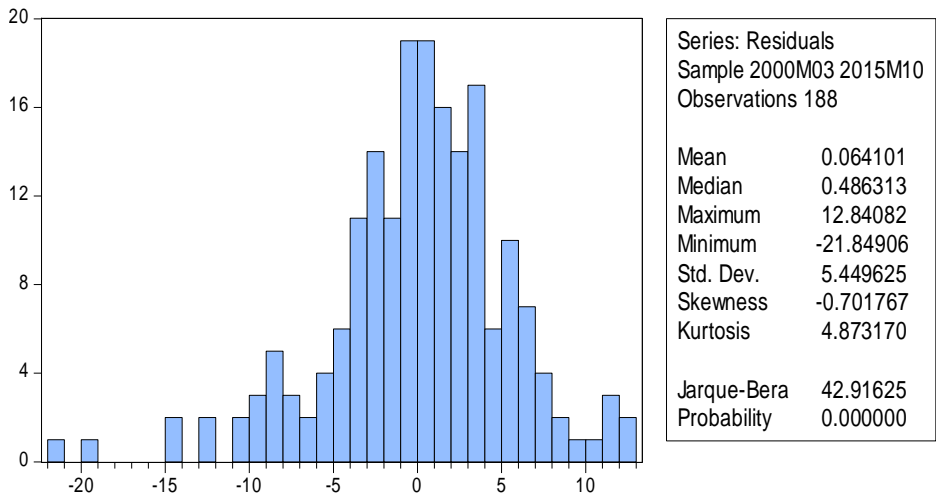
L'hypothèse de normalité des résidus joue un rôle essentiel car elle va préciser la distribution statistique des estimateurs. C'est donc grâce à cette hypothèse que l'inférence statistique peut se réaliser. Ce test est effectué à l'aide du test Jarque et Bera qui suit une loi de Khi-deux à deux degrés de liberté au seuil de 5%. La probabilité étant supérieure à



## Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH

5%. Le test de Jarque-Bera (1984), fondé sur la notion de Skewness (asymétrie) et de Kurtosis (aplatissement), permet de vérifier la normalité d'une distribution statistique. L'histogramme B.2 suivant donner par le logiciel Eviews7.0 montre les résultats suivants :

B.2. Histogramme des résidus (la normalité des erreurs).



Le test de Jarque-Bera donne une probabilité inférieure à 0.05 donc on rejette l'hypothèse de normalité des résidus donc les résidus suivent un processus bruit blanc et le test de Jarque-Bera prouve qu'il n'est pas gaussien.

### 4) Test d'homoscédasticité des résidus $H_4$ :

#### 4.1) Test corrélation sérielle des résidus (Breusch-Godfrey) :

Il s'agit de voir si la série est homoscédastique ou pas, afin de s'assurer d'avoir obtenu de meilleurs estimateurs. Les résultats des tests LM pour la régression estimée précédentes sont résumés dans le tableau N° 11 :

Tableau N° 11 : Test de corrélation sérielle des résidus Breusch-Godfrey

#### Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test:

F-statistic	1.839629	Prob. F(2,185)	0.1618
Obs*R-squared	3.640374	Prob. Chi-Square(2)	0.1620

La probabilité du test Breusch-Godfrey est supérieure à 0.05, ce qui entraîne l'acceptation de l'hypothèse  $H_0$  que les résidus ne sont pas auto-corrélés.



# Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH

## 4.2) Test de White

L'hypothèse à tester est celle de l'hétéroscédasticité des résidus. Si le modèle est globalement hétéroscédastique que s'il y a un  $R^2$  élevé, alors on peut présumer à 5% qu'il existe dans le modèle d'hétéroscédasticité.

Les résultats du test de white sont donnés par le logiciel Eviws7.0 dans le tableau N° 11:

Tableau N° 12 : Test de White (homoscédasticité du modèle)

### Heteroskedasticity Test: White

F-statistic	7.741566	Prob. F(1,186)	0.0060
Obs*R-squared	7.512143	Prob. Chi-Square(1)	0.0061
Scaled explained SS	14.26862	Prob. Chi-Square(1)	0.0002

La probabilité du test White est inférieure à 0.05, ce qui entraîne l'acceptation de l'hypothèse  $H_1$  que le modèle est hétéroscédastique.

Dans ce cas, le modèle AR(1) est hétéroscédastique où l'hypothèse de la stabilité de la variance est rejetée, cela peut conduire un des estimateurs biais et des faux résultats en matière de prévision.

Cette conclusion nous conduit a utilisé une autre méthode de prévision en savoir, le modèle ARCH. Nous allons chercher s'il y a un effet ARCH par l'utilisation du test ARCH-LM.

## 4.3) Test ARCH.LM:

Ce test est fondé soit sur un test de Fisher classique, soit sur le test du Multiplicateur de Lagrange (LM). Ce test s'applique pour notre série de la manière suivante :

- 1<sup>er</sup> étape : calcul des résidus du modèle AR(1) ;
- 2<sup>e</sup> étape : calcul des résidus au carrés ;
- 3<sup>e</sup> étape : régression autorégressive des résidus sur  $p$  retards (résidus décalé) ;
- 4<sup>e</sup> étape : calcul de la statistique du Multiplicateur de Lagrange,  $LM = n \times R^2$  avec  $n$  = nombre d'observations servant au calcul de la régression de l'étape 3,  $R^2$  = coefficient de détermination de l'étape 3.



## Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH

Si  $LM > X^2(p)$  à  $p$  degrés de liberté lu dans la table à un seuil  $\alpha$  fixé (en général 0,05). On rejette  $H_0$  ; on considère que le processus est justifiable d'un modèle ARCH ( $p$ ).

Le logiciel EVIWS donne les résultat du test ARCH-LM dans le tableau N° 13 si-dessus

Tableau N°13 : Test du ARCH.LM

Heteroskedasticity Test: ARCH			
F-statistic	1.195185	Prob. F(1,185)	0.2757
Obs*R-squared	1.200351	Prob. Chi-Square(1)	0.2733

Le test de ARCH.LM montre qu'on ne peut ni accepter ni refuser l'hypothèse d'homoscédasticité des résidus au seuil de 5%. Nous ferons un examen approfondi sur le corrélogramme (A.5) des carrés des résidus estimés :

### A.5. Corrélogramme des carrés des résidus estimés

Date: 11/08/15 Time: 13:46  
 Sample: 2000M03 2015M10  
 Included observations: 188  
 Q-statistic probabilities adjusted for 1 ARMA term(s)

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.080	0.080	1.2239	
		2	0.267	0.262	14.878	0.000
		3	0.154	0.126	19.431	0.000
		4	0.028	-0.059	19.582	0.000
		5	0.196	0.137	27.077	0.000
		6	-0.047	-0.078	27.507	0.000
		7	0.127	0.061	30.688	0.000
		8	0.033	0.018	30.899	0.000
		9	0.144	0.134	35.017	0.000
		10	-0.026	-0.114	35.148	0.000
		11	0.017	-0.018	35.209	0.000
		12	0.204	0.202	43.682	0.000
		13	-0.008	-0.004	43.697	0.000
		14	0.080	-0.072	45.016	0.000
		15	0.021	0.027	45.105	0.000



## *Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH*

Puisque les fonctions d'autocorrélation simple et partielle FAC et FACP sont tronquées à partir de l'ordre 5 avec un pic au retard 2. On refait le test de ARCH.LM dans l'ordre de retard 2 on obtient le tableau N°14 suivant :

Tableau N°14: Test de ARCH.LM d'Ordre 2

<b>Heteroskedasticity Test: ARCH</b>			
F-statistic	7.383139	Prob. F(2,183)	0.0008
Obs*R-squared	13.88774	Prob. Chi-Square(2)	0.0010

Il apparait clairement que le modèle est hétéroscédastique et qu'il y a un effet ARCH qu'on doit l'identifier.

### 3.2.4. La Modélisation ARCH :

La sélection du modèle ARCH qui convient à la série des prix spot du pétrole brut passe par les mêmes étapes de la méthode de Box-Jenkins.

- L'étape de **l'identification** est basée sur l'examen visuel du Corrélogramme des résidus aux carrés retenus de l'estimation du modèle AR (1) (A.5). le Corrélogramme indique qu'on peut retenir 4 modèles : ARCH(1), ARCH(2), GARCH(1,1) et GARCH(2,1). L'estimation des quatre modèles donne les critères de choix mentionné dans le tableau N°15 suivant :

Tableau N°15 : Identification du modèle ARCH

<b>Le modèle</b>	<b>SC</b>	<b>AIC</b>
ARCH(1)	6.256528	6.204883
ARCH(2)	6.269912	6.201052
GARCH (1.1)	6.083976	6.015115





## Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH

GARCH (2.1)	6.107795	6.021719
-------------	----------	----------

Le choix entre les modèles retenus se fait par rapport aux critères AIC et SC on choisi le modèle qui donne la valeur la plus faible des deux critères. Il apparait clairement qu'on doit retenir pour la série des prix spot du pétrole brut  $\Delta P_{s_t}$  le modèle AR(1) avec des erreurs GARCH(1.1).

L'étape de **L'estimation** des modèles de la moyenne conditionnelle et la variance conditionnelle du modèle GARCH (1,1) retenu de l'étape précédente. Après utilisation du logiciel Eviews on obtient un modèle AR(1) avec une perturbation (ou un effet) GARCH (1,1) suivant :

### Modèle AR(1)

$$\Delta P_{s_t} = 0.375382\Delta P_{s_{t-1}} + \varepsilon_t$$

### Modèle GARCH(1,1)

$$h_t = 0.216230 + 0.125624\varepsilon_{t-1}^2 + 0.884341h_{t-1}$$

L'étape de La **validation** du modèle retenu se fait par l'analyse du Corrélogramme des résidus standardisés pour confirmer l'adéquation du modèle de la moyenne conditionnelle et le Corrélogramme le carré des résidus standardisés pour confirmer l'adéquation du modèle de la variance conditionnelle.

Le Corrélogramme (A.6) des résidus standardisés  $\tilde{\varepsilon}_t = \frac{\varepsilon_t}{h_t^{1/2}}$  :



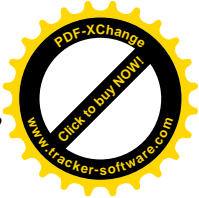
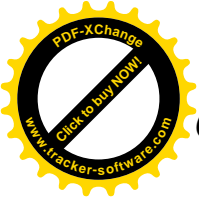
# Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH

Date: 11/08/15 Time: 14:03  
 Sample: 2000M03 2015M10  
 Included observations: 188  
 Q-statistic probabilities adjusted for 1 ARMA term(s)

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.026	0.026	0.1281	
		2	0.055	0.055	0.7144	0.398
		3	-0.039	-0.042	1.0129	0.603
		4	0.003	0.002	1.0151	0.798
		5	-0.058	-0.054	1.6680	0.797
		6	-0.081	-0.081	2.9594	0.706
		7	-0.024	-0.014	3.0758	0.799
		8	-0.021	-0.016	3.1638	0.869
		9	-0.073	-0.077	4.2156	0.837
		10	0.133	0.137	7.7541	0.559
		11	0.087	0.081	9.2939	0.504
		12	0.074	0.043	10.403	0.495
		13	-0.104	-0.112	12.601	0.399

Ce Corrélogramme donne une statistique de Ljung-Box égale à  $Q(13) = 12.601$  avec une probabilité  $p = 0.399$ , ce qui confirme l'adéquation de la moyenne conditionnelle.

Toujours dans le cadre de la validation du modèle, on doit passer à l'analyse des carrés des résidus standardisés  $\varepsilon_t^2$ . Sur ce, le Corrélogramme (A.7) des carrés des résidus standardisés ci-dessous est réalisé.



# Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH

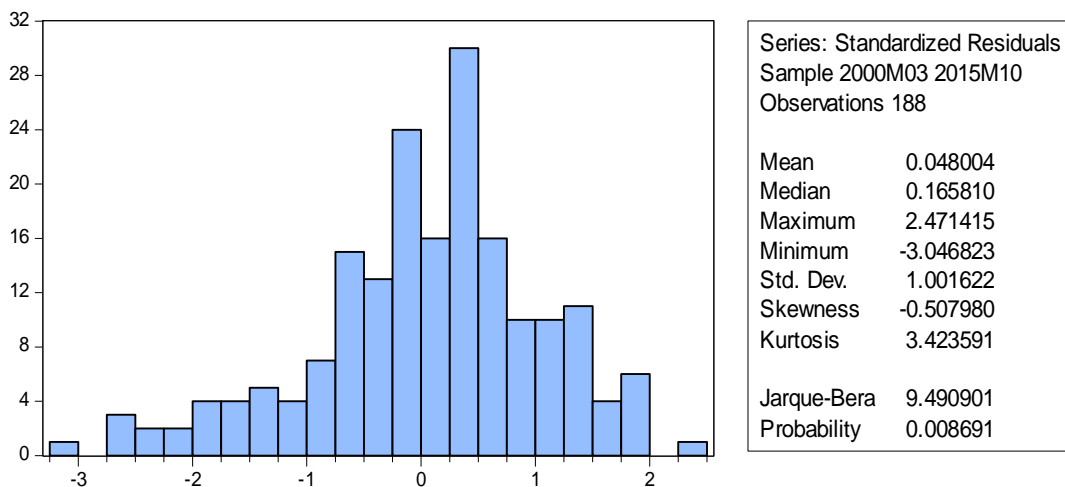
## A.7. Corrélogramme des carrés des résidus standardisés

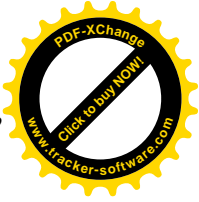
Date: 11/08/15 Time: 14:04  
 Sample: 2000M03 2015M10  
 Included observations: 188  
 Q-statistic probabilities adjusted for 1 ARMA term(s)

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 -0.039	-0.039	0.2964	
		2 0.042	0.040	0.6276	0.428
		3 0.067	0.071	1.5040	0.471
		4 -0.034	-0.031	1.7345	0.629
		5 0.147	0.140	5.9459	0.203
		6 -0.088	-0.082	7.4784	0.187
		7 -0.015	-0.028	7.5252	0.275
		8 -0.019	-0.036	7.6001	0.369
		9 0.032	0.054	7.8077	0.452
		10 -0.008	-0.027	7.8196	0.552
		11 -0.089	-0.068	9.4158	0.493
		12 -0.021	-0.034	9.5086	0.575
		13 -0.038	-0.026	9.8079	0.633

Le Corrélogramme des carrés des résidus standardisés donne une statistique de Ljung-Box égale à  $Q(13) = 9.8079$  avec une probabilité  $p = 0.633$  d'où l'adéquation du modèle de la variance conditionnelle. Nous relevons quand même que les résidus standardisés suivent un bruit blanc non gaussien d'après l'histogramme (B.3) qui affiche une probabilité de la statistique Jarque-Bera égale à 0,0086 inférieure à 0,05.

## B.3. Histogramme des résidus standardisés





## *Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH*

---

Après la modélisation et l'estimation on peut passer à la phase la plus importante dans l'analyse et l'étude des séries temporelles.

### 3.3. La Prévision sur les prix de brut par ARCH :

Un objectif commun dans l'analyse des séries temporelles, est de fournir des prévisions  $\varepsilon_{t,h}$  en dehors de l'échantillon, compte tenu des informations fournies à l'instant T. en présence d'erreur ARCH, l'exactitude de prévision dépendra de l'ensemble courant de l'information. La construction appropriée des intervalles de prévision exige l'évaluation de l'erreur de prévision de variance conditionnelle.

- Pour un processus GARCH(1.1) : la prédiction de  $\sigma_{t+h}^2$ , à horizon h est :

$$E(\sigma_{t+h}^2 / \Omega_t) = \omega \sum_0^{h-1} (\alpha_1 + \beta_1)' + (\alpha_1 + \beta_1)^{h-1} \sigma_{t+1}^2$$

Où  $\sigma_{1,T,p}^2 = \omega^{\wedge} + \alpha_1^{\wedge} \varepsilon_T^2 + \beta_1^{\wedge} \sigma_T^2$

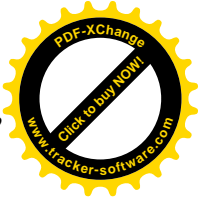
On remarque que la prévision de la variance conditionnelle, converge vers la variance non conditionnelle au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'origine des prévisions. En effet :

$$\lim_{h \rightarrow \infty} (\sigma_{h,T,p}^2 / \Omega_t) = \frac{\omega}{1 - \alpha_1 - \beta_1}, \text{ est la variance non conditionnelle du processus } \varepsilon_t.$$

#### 3.3.1. Application aux données du prix spot du pétrole :

Comme nous l'avons mentionné au début, l'intérêt est d'appréhender le mouvement de la volatilité, et utiliser le modèle obtenu, pour effectuer des prévisions futures du prix spot. A l'issu de l'étape de modélisation de la variance conditionnelle, nous avons retenu le modèle AR(1) avec un effet GARCH(1,1).

Les résultats de la prévision donnée par le logiciel Eviews 7 réunis dans le tableau N° 16 suivants :



## Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH

Tableau N°16: Prévision des prix spot à l'horizon de 6 mois

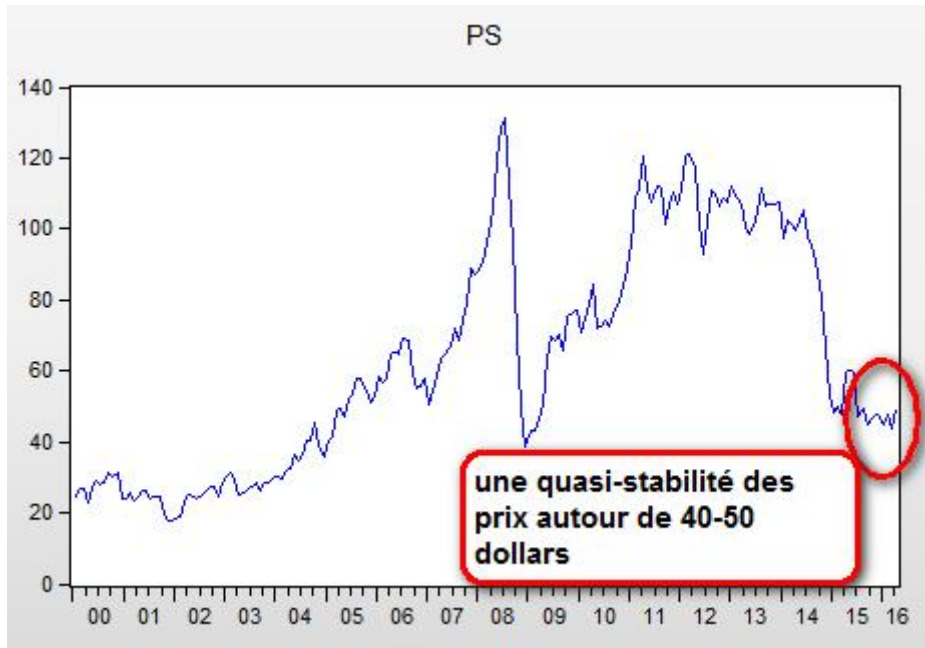
Dates	Prévision de la variation	Prévision des prix spot
Nov-15	-1.11	45.47
Déc-15	1.52	47
Jan-16	-2.07	44.93
Fév-16	2.81	47.74
Mar-16	-3.84	43.90
Avr-16	5.32	49.22

L'analyse qui a menée sur le marché du pétrole brut au travers des travaux réalisés en appliquant les modèles ARMA sur le prix spot du pétrole ainsi que l'utilisation du modèle GARCH (1,1) afin de prévoir le développement de la volatilité des prix spot du pétrole Brut à l'horizon de 6 mois (avril 2016) conduit aux conclusions suivantes :

- 1- Premièrement, les prix du pétrole devraient rester à un niveau durablement faible ou autrement dit, ils vont connaître une baisse légère autour d'un prix moyennant les 40 à 50 dollars le baril ;
- 2- Deuxièmement, le mouvement de la volatilité prévue sera plus au mois faible dans les 2 derniers mois de l'année 2015, avec un mouvement d'accroissement de cette volatilité des prix spot du pétrole dans les 4 mois premiers de l'année 2016 ou autrement dit : la durabilité de la baisse des prix à court terme devrait continuer sans cesse d'être volatile ;
- 3- Troisièmement, Les résultats de notre travail obtenus en application du modèle GARCH(1,1) sont un peu proche et semblable aux prévisions faites par l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) et de l'OPEC ;
- 4- Quatrièmement, La modélisation ARCH et GARCH améliore la qualité de la prévision par rapport aux résultats obtenus en appliquant les modèles ARMA.

## Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH

Figure N°12 : la prévision des prix spot à l'horizon de 2016.



### 3.3.2. Les prévisions de l'AIE des prix spot du pétrole :

Selon l'AIE le mouvement à la baisse des prix du pétrole est loin d'être terminé entre une offre « surbondante » et une croissance de la demande mondiale de 1,2 million de baril par jour en 2016 contre 1,4 mbj en 2015, le prix du pétrole va encore reculer, prédit l'AIE « après un bond de 2,4 mbj en 2014, la croissance de la production de pétrole devrait ralentir à 1mbj en 2015 avant de se grimper en 2016, sous l'effet de la baisse des prix du pétrole et des réduction de cout » souligne-t-elle, dans rapport mensuel sur le pétrole.

L'AIE indique également que la croissance de la production des pays de l'OPEP qui atteint son plus haut niveau en 3ans avec 31,7mbj va reculer l'an prochain prévoire l'agence, en raison de la baisse des prix du baril du pétrole. Par rappel, le prix du baril on chuté de 45% en 2015 par rapport à 2014. Au premier semestre 2015, les prix du baril fluctuent autour d'un pivot de 60 dollars le baril. Selon les prévision de certains analystes il atteindront peut être 70 ou 80 dollars au second semestre, avec le fléchissement de la



## *Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH*

---

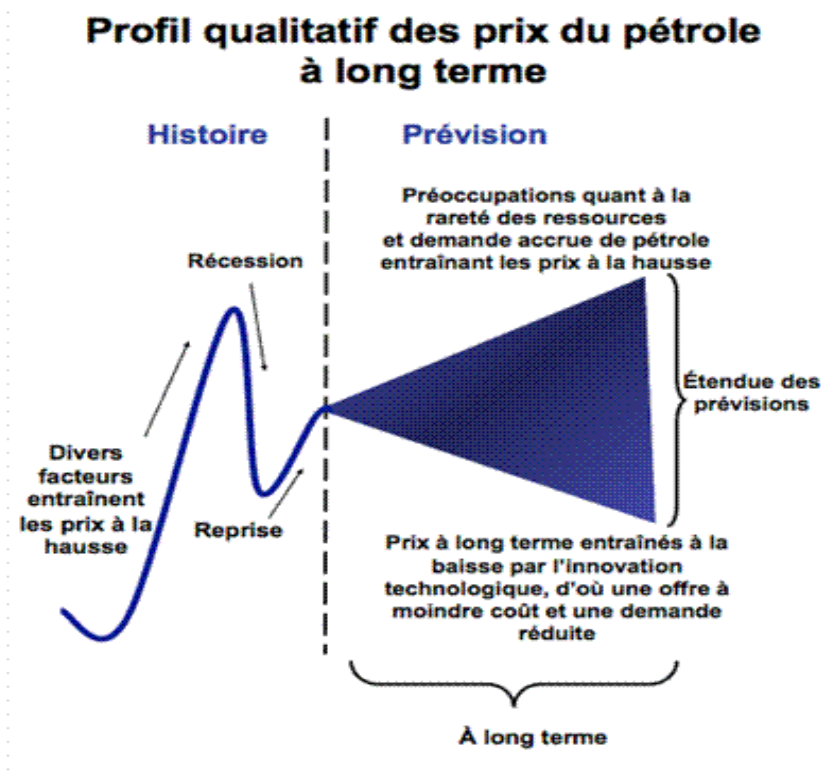
production américaine, même si l'on ne peut pas exclure une correction brutale en cas de déstockage.

Le panier de référence de l'OPEP (ORB) a débuté l'année en baisse de près de 3 dollars au milieu baissiers du marché du pétrole brut. Augmentation de l'offre, faiblesse de la demande, les marges de raffinage pauvres et l'entretien de la raffinerie ont tous pesé vers le bas sur les valeurs des composantes de l'ORB.

Le modèle pris en compte dans l'étude est un modèle univarié qui ne prend pas en compte : les fautes de données disponibles sur une période longue, les capacités additionnelles non mobilisées de l'OPEC, qui se sont largement accrues depuis un an. De même le niveau des stocks de pétrole brut, notamment aux Etats-Unis est très élevé ce qui permettrait d'absorber sans hausse de prix le supplément de demande issu de l'accélération de l'économie mondiale. Ainsi, les modèles ARCH sont utilisés dans les prévisions à court terme et cela peut entraîner des fautes de prévisions. Alors, il est impossible de prédire avec une totale exactitude si un événement particulier ayant une incidence sur le prix du pétrole brut se produira, ni le moment où il se produira. Donc, dans une certaine mesure, les prix futurs du pétrole brut et les fluctuations de prix ne sont pas prévisibles.

## Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH

Figure N° 13: Profil qualitatif des prix du pétrole à long terme



Source : Ce profil qualitatif est fondé sur les observations du ministère des Finances et de Ressources Naturelles Canada.





## *Chapitre III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH*

---

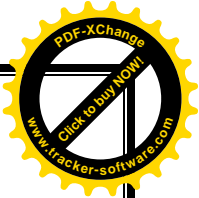
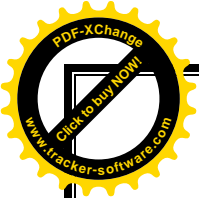


Conclusion du troisième chapitre :

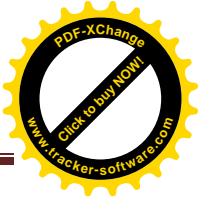
D'après les résultats obtenus ci-dessus en application du modèle ARCH, on remarque que les variations du prix spot sont caractérisées par des périodes calmes et des périodes volatiles. Elles présentent par conséquent des propriétés non traditionnelles de leptokurtosis et hétéroscédasticité variables au cours du temps.

Les spécifications traditionnelles : stationnarité, corrélation sérielle, normalité, homoscedasticité, etc, sont rejetées par les tests usuels. Le recours à une modélisation autorégressive avec des erreurs suivent un processus ARCH uni-varié linéaire, améliore certains tests.

La modélisation du type GARCH (1,1) donne des résultats plus significatifs. Cette dernière spécification a permis d'enlever la dynamique endogène des changements de la variance des prix et d'améliorer la qualité de l'estimation et la précision en matière de prévision des prix du brut.



# *Conclusion générale*



### Conclusion générale

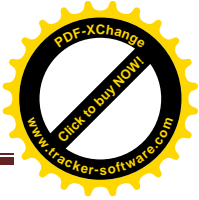
Ce travail a porté sur la détection du processus de volatilité qui peut être due à l'arrivée d'information non-anticipée observée dans le prix spot du pétrole brut de l'OPEP basket en \$ US par baril. Nous avons analysé un modèle continu couramment utilisé dans la littérature avec un effet stochastique. Comme données, il a été considéré les fréquences mensuelles pour les observations utilisées, et puis, il a été estimé un modèle à partir des données des prix spot du pétrole en terme réel.

A priori, l'étude séparée de l'offre et de la demande pour en déduire un signe de l'aléa sur le prix spot du pétrole brut devrait tendre à la même conclusion que les modèles plus sophistiqués, ces derniers n'étant qu'une formalisation de l'approche offre/demande. Les modèles de prix permettent ainsi de valider ou au contraire de nuancer le message délivré par l'étude séparée des tendances spontanées de l'offre et de la demande et c'est pourquoi leur usage se développe.

Pour cet exercice de prévision, les messages divergent : l'analyse de la série temporelle uni-variée du prix spot du marché pétrolier de l'O.P.E.P. montre des propriétés non traditionnelles de l'hétéroscédasticité ou autrement dit une variation de la variance des erreurs dans le temps, de leptokurtosis qui signifie un excès du coefficient de l'aplatissement qui nous a conduit à éviter l'utilisation des modèles ARMA. En effet, le prix spot étant un prix au jour le jour, il est beaucoup moins stable dans le temps que le prix officiel fixé à partir des contrats à long terme.

Les résidus obtenus après estimation des paramètres du modèle AR(1) générateur de la régression finale représentent la partie aléatoire (non expliquée) de l'évolution du prix spot du pétrole brut. Ils sont la source d'aléas non contrôlés par le modèle, et donc de volatilité. En présence de l'hétéroscédasticité, les modèles ARCH apportent une réponse au problème de changement de régime observé sur le graphe des résidus. Ils permettent d'introduire une volatilité aléatoire.

Les variations du prix spot du pétrole brut sont caractérisées par des périodes calmes et des périodes volatiles. Elles présentent par conséquent des propriétés non traditionnelles de leptokurtosis et d'hétéroscédasticité qui sont variables au cours du

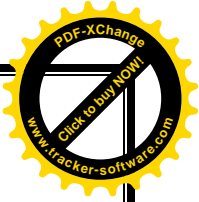
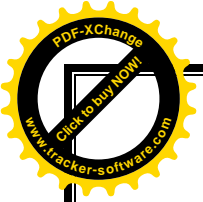


## Conclusion générale

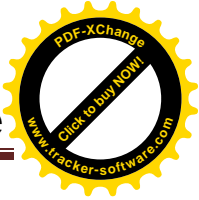
temps. Les spécifications traditionnelles : stationnarité, corrélation sérielle, normalité, homoscédasticité,...etc, sont rejetées par les tests usuels. Le recours à une modélisation autorégressive avec des erreurs suivant un processus ARCH uni-varié linéaire, améliore certains tests. La modélisation GARCH (1,1) donne des résultats plus significatifs. Cette dernière spécification a permis d'enlever la dynamique endogène des changements de la variance et d'améliorer la qualité de l'estimation ainsi que la précision en matière de prévision.

La prévision en utilisant un modèle AR(1) avec une perturbation GARCH(1,1) à un horizon de 6 mois à porter sur une baisse des prix spot du pétrole à plus de 3,80% et une quasi-stabilité des prix autour du 40-50 dollars le baril dans les premier mois de l'année 2016 avec une volatilité plus au moins forte. Les résultats de cet exercice de prévision ont été comparé avec les prévisions réalisé par l'AIE qui a confirmé que scénario de la baisse va continuer pour atteindre un niveau de prix du pétrole de 20-25 dollars le baril. Un niveau des prix non atteint depuis 12 ans.

Actuellement, le prix du pétrole à baisser à un niveau de 38 dollars le baril en 23 janvier 2016 ce qui n'est pas le prix retenu par la prévision en utilisant le modèle GARCH. Cependant, les modèles ARCH et GARCH sont quand même mis en échec principalement dans un contexte de très court terme. Ces échecs pourraient être dus au caractère hautement non-linéaire des séries financières, et à l'unicité du modèle proposé. L'ensemble des ces analyses statistiques et économétriques demandent toutefois à être affinées par d'autre travaux notamment sur les éléments déterminants des comportements des acteurs sur les marché comme : le modèle GARCH multi-variée avec correction conditionnelle dynamique (DCC.MVGARCH) ou le modèle VAR / VECM (Modèle vectoriel à correction des erreurs). Et cela, afin de mieux les cerner et d'évaluer leurs impacts sur la volatilité des prix



# *Bibliographie*

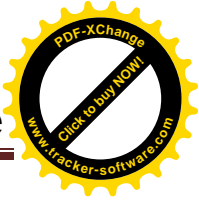


## Bibliographie

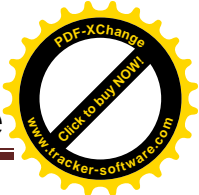
### Ouvrages

#### ❖ Français

- AROURI Mohamed El Hedi et RAULT Christophe, « les effets des fluctuations du prix du pétrole sur les marchés boursiers dans les pays du Golfe », version 1, Laboratoire d'économie, Rue de Blois, B.P 6739, Orléans, 1 aout 2010, France.
- BENISSAD M. E., « Economie du développement de l'Algérie », Ed, Paris, Economica, 1979.
- BRESSON Georges et PIROTTE Alain, « économétrie des séries temporelles », théorie et application.
- BEABBDALLAH Y., OUKACI K. et CHETTAB N, « L'économie algérienne face à la crise : effets de la conjoncture ou vulnérabilité structurelle », Colloque International « Crise, commerce et devenir des économies émergentes en méditerranée », Rabat, 2009.
- COPINSCHI Philippe, « Le pétrole une ressource stratégique », la documentation française, imprimerie de la direction de l'information légale et administrative juillet 2012, Paris.
- CHITOUR Chems Eddine, « Les perspectives énergétiques à l'horizon 2020 dans un contexte de globalisation planétaire », imprimé en Algérie 2002, Algérie.
- C.WHEELWRIGHT Steven et MAKRIDAKIS Spyros , « Choix et valeur de prévision », traduit de l'américain par GUILLEMIN Jean, 1974, Paris.



- GOURIROUX Christian, « Modèle ARCH et Applications financières », Composé par ECONOMICA, Imprimé en France septembre 1992, Paris.
- GUY Mélard, « Méthodes de prévision à court terme, Edition de l'université de Bruxelles, 1990.
- HACHE Emmanuel et LANTZ Frederic, « Volatilité des prix et transactions sur les marchés pétroliers : une analyse économétrique des changements de comportement », centre for Economic and Management IFP School, 228-232 av Napoléon Bonaparte, F -92852 Rueil-Malmaison, juin 2010, France.
- ISABELLE CADORET, « Économétrie appliquée: méthodes, applications, corrigés », imprimé en bibliothèque national en octobre 2004, Paris.
- LARDIC Sandrine et MIGNON Valérie, « Econométrie des séries temporelles macroéconomiques et financières, Economica, Paris 2002.
- SUR Frédéric, « Modélisation et prévision des séries chronologiques – Modèle ARCH et GARCH », Ecole des mine de Nancy.
- MARTINEZ Luis, « Algérie : Les illusions de la richesse pétrolière », les études du Centre d'Etudes et de Recherches Internationales N° 168, septembre 2010, France.
- NEMOUCHI Farouk, « Chocs pétroliers et déséquilibre monétaire en Algérie », revue science humaine N°31, juin 2009.
- PERCEBOIS Jacques, « économie de l'énergie », Préface de MAINGUY Yves, Ed Economica, 1989.
- Philippe Casin, « Econométrie :Méthodes et applications avec EViews », Edition TECHNIP, 25 rue Ginoux, 75015 Paris 2009.



- REGIS BOURBOUNNAIS, « Manuel et exercice corrigés Econométrie » 3e édition, imprimé en 2000, France.
- TSASA Vangu Jean-Paul, « Statistique Appliquée », Version 1, Centre Congolais-Allemand de Microfinance, Mai 2010.
- ROGER Patrick, « les outils de la modélisation financière », 1re édition, Avril 1991, Paris, France ;
- ANDER Kovacs, « Comprendre la bourse, Guide pratique pour la gestion de votre portefeuille d'actions », Edition homme et techniques, 1984, Paris, France ;
- HULL John (université de Toronto, Canada), Edition française réalisée et adaptée par : Christophe Godlewski et Maxime Merli (université Louis Pasteur Strasbourg I), « Gestion des risques et institutions financières », 2007, Paris, France.

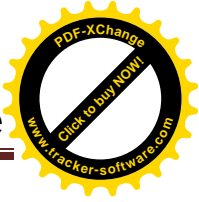
## ❖ Anglais

- GILEVA Tayana, "A thesis submitted for the degree of Master in Economics", Econometrics of curde oil markets, Université Paris Panthéon-Sorbonne, June 2010.
- Michael P.Clements Znd David F.Hendry, "Forecasting economic time series", Cambridge Univesity press, 1998.
- Terence C.Mills, «The econometric modeling of financial time series», Second Edition, Combridge university press, 1997.

## ❖ Arabe

- أ.د محمد العربي ساكر "محاضرات في الاقتصاد الكلي"، دار الفجر للنشر و التوزيع، القاهرة طبعة 2006





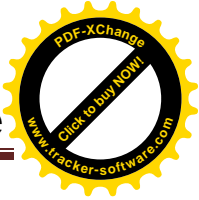
- مولود حشمان، "نماذج وتقنيات التنبؤ القصير المدى"، OPU، الجزائر 1998
- عبد المجيد قدي، "المدخل الى السياسات الاقتصادية الكلية-الدراسة التحليلية التقييمية"، OPU، 2003
- والترفاندال، "السلاسل الزمنية من الوجهة التطبيقية و نماذج بوكس جنكينز"، تعريب و مراجعة حامد عزام و أحمد حسين هارون، دار المرجح الرياض، 1992

## Les Mémoires

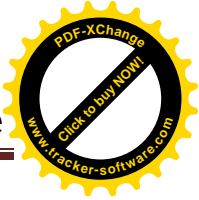
- KAMEL Hamzaoui, « Mémoire de magistère en économie et statistique appliquée », les modèle GARCH et la couverture à terme optimal. Application au marché du pétrole, 2007-2008.
- BILODEAU Jean-François, « Mémoire pour l'obtention du grade maitre ès art (M.A) en économie », Analyse de processus de sauts dans le prix du pétrole brut, National Library of Canada, Février 2000.
- SHARMA Namit, Mster of arts in economic, "Forcasting oil price volatility", Faculty of Verginia Polytechnic Institue and State University, May 1998.

## Différent document et Article

- BOLLERSLEV.T et CHOU R.Y et JAYARAMAN.N et KRONER.F.Kenneth, « Les modèle ARCH en Finance : un point sur la théorie et les résultats empirique », journal of Econometrics vol 51, Traduit en français par GUDIN Philippe.



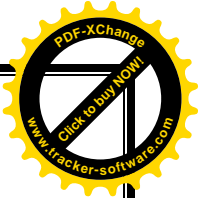
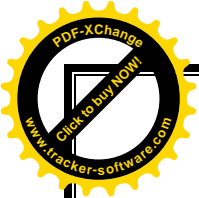
- Journal le Quotidien d'Oran, page économie, rapport ministère des finance et de la prévision, 14/04/2012.
- CHARON Guillaume, « Economie de la chaine pétrolière, Les marchés pétroliers physiques et financiers », EM-ALNAFT, SONATRACH, ENI ALGERIA 2013.
- Bulletin statistique de l'OPEP 2000-2013.
- OUKACI Kamel, « Impact de la crise financière internationale sur l'économie algérienne : cas des prix du pétrole », Colloque international, « Crise financière internationale, Ralentissement économiques mondial et effets sur les économies euromaghrébine, 2009.
- BEABBDALLAH Y., OUKACI K. et CHETTAB N., « L'économie algérienne face à la crise : effets de la conjoncture ou vulnérabilité structurelle », Colloque International « Crise, commerce et devenir des économies émergentes en méditerranée », Rabat, 2009.
- Comprendre la bourse « les indices boursiers », Article fourni par Binck.fr.
- MARIE-HÉLÈNE GROUARD, SÉBASTIEN LÉVY, CATHERINE LUBOCHINSKY, « La volatilité boursière : des constats empiriques aux difficultés d'interprétation », Banque de France Service des Études sur les marchés et la stabilité financière, Juin 2003.
- Joël Priolon, « les marchés financières », Agro Paris Tech, Novembre 2010.
- S.NOBILI, Méthodes paramétriques « Les Modèles AR et MA », 2003
- Gregroy Lenoir et Franck Janura, « les modèles GARCH pour gérer la volatilité », Lundi Finance Gestion de fortune, France, 13 décembre 2010.
- Jean – Paul Tsasa V. Kimbambu, « Initiation à la Modélisation GARCH », Laboratoire d'Analyse – Recherche en Economie Quantitative, France, Mai 2012.



- Charles GAVE, les indices boursiers, Institut de Liberté, France, 2012.
- Elizabeth Howard, La volatilité selon les modèles Garch « Focus sur l'asymétrie et la corrélation dynamique », La revue d'Opus Finance N°1, France, Décembre 2012.

### Site internet

- Annan, K., 2000, Là où la hausse des prix du pétrole se fait vraiment sentir..., <http://www.un.org/french/sg/articles/petrole.htm> (2012).
- EIA, 2007, Petroleum (Oil) Imports, International Energy Data and Analysis, <http://www.eia.doe.gov/ipm/imports.html> (2012).
- Sénat français, 2005, La hausse des prix du pétrole: une fatalité ou le retour du politique, <http://www.senat.fr/rap/r05-105/r05-10520.html> (2012).
- Oleocene, 2006, Elasticité de la demande au prix du pétrole, <http://wiki.oleocene.org> (2012).
- Un exemple de prévision par un modèle MEGA, [http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/ofce\\_0751-6614\\_1986\\_num\\_17\\_1\\_1077](http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/ofce_0751-6614_1986_num_17_1_1077)(2013).
- [www.platts.com](http://www.platts.com).
- [www.opec.com](http://www.opec.com).

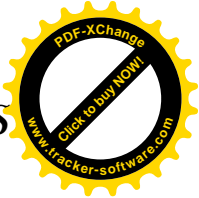


# *ANNEXE*

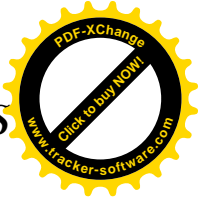
ANNEXES

Annexe N°01 : l'évolution historique des prix spot du pétrole brut en dollar/baril.

Année/mois	Ps <sub>t</sub>	Année/mois	Ps <sub>t</sub>	Année/mois	Ps <sub>t</sub>	Année/mois	Ps <sub>t</sub>	Année/mois	Ps <sub>t</sub>
2000M01	24.58	2003M03	29.78	2006M05	65.11	2009M07	68.59	2012M09	109.68
2000M02	26.84	2003M04	25.34	2006M06	64.6	2009M08	70.37	2012M10	106.16
2000M03	26.71	2003M05	25.6	2006M07	68.89	2009M09	65.55	2012M11	108.59
2000M04	22.93	2003M06	26.74	2006M08	68.81	2009M10	75.56	2012M12	107.76
2000M05	26.94	2003M07	27.43	2006M09	59.34	2009M11	76.20	2013M01	112.3
2000M06	29.12	2003M08	28.63	2006M10	54.97	2009M12	77.16	2013M02	108.62
2000M07	27.94	2003M09	26.32	2006M11	55.42	2010M01	71.01	2013M03	107.23
2000M08	28.3	2003M10	28.54	2006M12	57.95	2010M02	74.6	2013M04	100.65
2000M09	31.48	2003M11	28.45	2007M01	50.79	2010M03	78.7	2013M05	98.78
2000M10	30.42	2003M12	29.44	2007M02	54.56	2010M04	84.13	2013M06	100.78
2000M11	31.22	2004M01	30.33	2007M03	58.59	2010M05	71.88	2013M07	104.97
2000M12	24.13	2004M02	29.56	2007M04	63.55	2010M06	72.49	2013M08	111.55
2001M01	24.06	2004M03	32.05	2007M05	64.48	2010M07	74.43	2013M09	106.47
2001M02	25.41	2004M04	32.35	2007M06	66.89	2010M08	72.39	2013M10	106.75
2001M03	23.7	2004M05	36.27	2007M07	71.89	2010M09	77.48	2013M11	107.07
2001M04	24.38	2004M06	34.61	2007M08	68.70	2010M10	79.42	2013M12	107.67
2001M05	26.25	2004M07	36.29	2007M09	74.18	2010M11	83.65	2014M01	97.49
2001M06	26.1	2004M08	40.27	2007M10	79.31	2010M12	88.99	2014M02	102.59
2001M07	23.73	2004M09	40.36	2007M11	88.84	2011M01	95.53	2014M03	101.58
2001M08	24.46	2004M10	45.37	2007M12	87.05	2011M02	108.5	2014M04	99.74
2001M09	24.29	2004M11	38.96	2008M01	88.35	2011M03	111.42	2014M05	102.71
2001M10	19.64	2004M12	35.7	2008M02	90.64	2011M04	120.35	2014M06	105.37
2001M11	17.65	2005M01	40.24	2008M03	99.03	2011M05	111.2	2014M07	98.17
2001M12	17.53	2005M02	41.68	2008M04	105.16	2011M06	107.5	2014M08	95.95
2002M01	18.33	2005M03	49.07	2008M05	119.39	2011M07	112.18	2014M09	91.16
2002M02	18.89	2005M04	49.63	2008M06	128.33	2011M08	111.4	2014M10	80.54
2002M03	22.64	2005M05	46.96	2008M07	131.22	2011M09	101.57	2014M11	66.15
2002M04	24.88	2005M06	52.04	2008M08	112.41	2011M10	107.12	2014M12	53.27
2002M05	24.76	2005M07	53.13	2008M09	96.85	2011M11	110.38	2015M01	48.24
2002M06	23.8	2005M08	57.82	2008M10	69.16	2011M12	106.84	2015M02	49.76
2002M07	25.13	2005M09	57.88	2008M11	49.76	2012M01	111.21	2015M03	47.6
2002M08	25.99	2005M10	54.63	2008M12	38.6	2012M02	120.79	2015M04	59.63
2002M09	27.38	2005M11	51.29	2009M01	43.3	2012M03	120.89	2015M05	60.3
2002M10	27.32	2005M12	52.65	2009M02	43.22	2012M04	117.2	2015M06	59.47
2002M11	24.29	2006M01	58.48	2009M03	46.65	2012M05	101.06	2015M07	47.12
2002M12	28.39	2006M02	56.62	2009M04	50.36	2012M06	92.99	2015M08	49.2
2003M01	30.34	2006M03	57.87	2009M05	63.71	2012M07	102.22	2015M09	45.09
2003M02	31.54	2006M04	64.44	2009M06	69.56	2012M08	111.17	2015M10	46.59

ANNEXE N°02 : La série des résidus d'estimation obtenue ( $e_t$ )

Année/Mois	Residual $e_t$	Année/Mois	Residual $e_t$	Année/Mois	Residual $e_t$	Année/Mois	Residual $e_t$	Année/Mois	Residual $e_t$
2000M01	3.26830	2003M03	-8.65684	2006M05	9.54803	2009M07	-4.09711	2012M09	19.8678
2000M02	5.07764	2003M04	-13.5475	2006M06	8.58737	2009M08	-2.76777	2012M10	15.8971
2000M03	4.49698	2003M05	-13.7382	2006M07	12.4267	2009M09	-8.03843	2012M11	17.8764
2000M04	0.26631	2003M06	-13.0488	2006M08	11.8960	2009M10	1.52091	2012M12	16.5958
2000M05	3.82565	2003M07	-12.8095	2006M09	1.97538	2009M11	1.72024	2013M01	20.6851
2000M06	5.55499	2003M08	-12.0601	2006M10	-2.84528	2009M12	2.21958	2013M02	16.5544
2000M07	3.92433	2003M09	-14.8208	2006M11	-2.84594	2010M01	-4.38108	2013M03	14.7138
2000M08	3.83367	2003M10	-13.0515	2006M12	-0.76660	2010M02	-1.24174	2013M04	7.68312
2000M09	6.56301	2003M11	-13.5921	2007M01	-8.37726	2010M03	2.40760	2013M05	5.36246
2000M10	5.05235	2003M12	-13.0528	2007M02	-5.05793	2010M04	7.38694	2013M06	6.91180
2000M11	5.40168	2004M01	-12.6135	2007M03	-1.47859	2010M05	-5.31372	2013M07	10.6511
2000M12	-2.13898	2004M02	-13.8341	2007M04	3.03075	2010M06	-5.15439	2013M08	16.7805
2001M01	-2.65964	2004M03	-11.7948	2007M05	3.51009	2010M07	-3.66505	2013M09	11.2498
2001M02	-1.76030	2004M04	-11.9454	2007M06	5.46943	2010M08	-6.15571	2013M10	11.0792
2001M03	-3.92096	2004M05	-8.47610	2007M07	10.0188	2010M09	-1.51637	2013M11	10.9485
2001M04	-3.69162	2004M06	-10.5868	2007M08	6.38810	2010M10	-0.02703	2013M12	11.0978
2001M05	-2.27228	2004M07	-9.35742	2007M09	11.4074	2010M11	3.75231	2014M01	0.46717
2001M06	-2.87295	2004M08	-5.82808	2007M10	16.0968	2010M12	8.64165	2014M02	5.11651
2001M07	-5.69361	2004M09	-6.18874	2007M11	25.1661	2011M01	14.7310	2014M03	3.65585
2001M08	-5.41427	2004M10	-1.62941	2007M12	22.9255	2011M02	27.2503	2014M04	1.36519
2001M09	-6.03493	2004M11	-8.49007	2008M01	23.7748	2011M03	29.7197	2014M05	3.88452
2001M10	-11.1356	2004M12	-12.2007	2008M02	25.6141	2011M04	38.1990	2014M06	6.09386
2001M11	-13.5763	2005M01	-8.11139	2008M03	33.5535	2011M05	28.5983	2014M07	-1.55680
2001M12	-14.1469	2005M02	-7.12205	2008M04	39.2328	2011M06	24.4477	2014M08	-4.21746
2002M01	-13.7976	2005M03	-0.18271	2008M05	53.0122	2011M07	28.6770	2014M09	-9.46812
2002M02	-13.6882	2005M04	-0.07337	2008M06	61.5015	2011M08	27.4464	2014M10	-20.5388
2002M03	-10.3889	2005M05	-3.19404	2008M07	63.9408	2011M09	17.1657	2014M11	-35.3794
2002M04	-8.59956	2005M06	1.43530	2008M08	44.6802	2011M10	22.2650	2014M12	-48.7101
2002M05	-9.17022	2005M07	2.07464	2008M09	28.6695	2011M11	25.0744	2015M01	-54.1908
2002M06	-10.5809	2005M08	6.31398	2008M10	0.52884	2011M12	21.0837	2015M02	-53.1214
2002M07	-9.70155	2005M09	5.92332	2008M11	-19.3218	2012M01	25.0030	2015M03	-55.7321
2002M08	-9.29221	2005M10	2.22266	2008M12	-30.9325	2012M02	34.1324	2015M04	-44.1528
2002M09	-8.35287	2005M11	-1.56800	2009M01	-26.6831	2012M03	33.7817	2015M05	-43.9334
2002M10	-8.86353	2005M12	-0.65867	2009M02	-27.2038	2012M04	29.6411	2015M06	-45.2141
2002M11	-12.3442	2006M01	4.72067	2009M03	-24.2345	2012M05	13.0504	2015M07	-58.0147
2002M12	-8.69485	2006M02	2.41001	2009M04	-20.9751	2012M06	4.52974	2015M08	-56.3854
2003M01	-7.19551	2006M03	3.20935	2009M05	-8.07579	2012M07	13.3091	2015M09	-60.9461
2003M02	-6.44618	2006M04	9.32869	2009M06	-2.67645	2012M08	21.8084	2015M10	-59.8967



# ANNEXE N°3 : Le test de racine unitaire DFA des 3 modèles Autorégressifs

## Modèle autoregressif d'ordre 1

Null Hypothesis: PS has a unit root  
Exogenous: None  
Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=14)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-0.744447	0.3928
Test critical values:		
1% level	-2.577320	
5% level	-1.942527	
10% level	-1.615577	

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation  
Dependent Variable: D(PS)  
Method: Least Squares  
Date: 11/24/15 Time: 15:45  
Sample (adjusted): 2000M03 2015M10  
Included observations: 188 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
PS(-1)	-0.004135	0.005555	-0.744447	0.4575
D(PS(-1))	0.377922	0.067927	5.563637	0.0000
R-squared	0.143263	Mean dependent var		0.105053
Adjusted R-squared	0.138657	S.D. dependent var		5.879539
S.E. of regression	5.456717	Akaike info criterion		6.242153
Sum squared resid	5538.291	Schwarz criterion		6.276583
Log likelihood	-584.7624	Hannan-Quinn criter.		6.256103
Durbin-Watson stat	2.034112			



### Modèle autoregressif d'ordre 1 avec constante

Null Hypothesis: PS has a unit root

Exogenous: Constant

Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=14)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.008260	0.2832
Test critical values:		
1% level	-3.465202	
5% level	-2.876759	
10% level	-2.574962	

\*Mackinnon (1996) one-sided p-values.

#### Augmented Dickey-Fuller Test Equation

Dependent Variable: D(PS)

Method: Least Squares

Date: 11/24/15 Time: 15:47

Sample (adjusted): 2000M03 2015M10

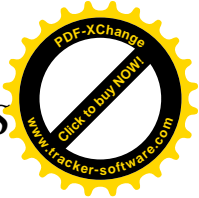
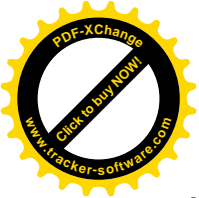
Included observations: 188 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
PS(-1)	-0.024875	0.012386	-2.008260	0.0461
D(PS(-1))	0.385320	0.067591	5.700716	0.0000
C	1.660000	0.887591	1.870231	0.0630

R-squared	0.159160	Mean dependent var	0.105053
Adjusted R-squared	0.150070	S.D. dependent var	5.879539
S.E. of regression	5.420443	Akaike info criterion	6.234061
Sum squared resid	5435.522	Schwarz criterion	6.285706
Log likelihood	-583.0017	Hannan-Quinn criter.	6.254986
F-statistic	17.50909	Durbin-Watson stat	2.046480
Prob(F-statistic)	0.000000		





### Modèle autoregressif d'ordre 1 avec constante et trend

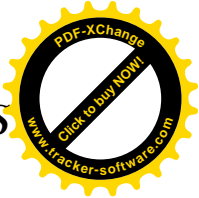
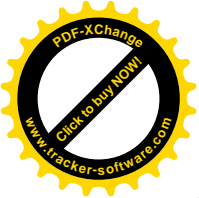
Null Hypothesis: PS has a unit root  
Exogenous: Constant, Linear Trend  
Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=14)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.300763	0.4311
Test critical values:		
1% level	-4.007613	
5% level	-3.433906	
10% level	-3.140847	

\*Mackinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation  
Dependent Variable: D(PS)  
Method: Least Squares  
Date: 11/24/15 Time: 15:48  
Sample (adjusted): 2000M03 2015M10  
Included observations: 188 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
PS(-1)	-0.046862	0.020368	-2.300763	0.0225
D(PS(-1))	0.408189	0.069509	5.872497	0.0000
C	1.508951	0.892530	1.690644	0.0926
@TREND(2000M01)	0.016336	0.012030	1.358016	0.1761
R-squared	0.167504	Mean dependent var		0.105053
Adjusted R-squared	0.153931	S.D. dependent var		5.879539
S.E. of regression	5.408118	Akaike info criterion		6.234726
Sum squared resid	5381.583	Schwarz criterion		6.303587
Log likelihood	-582.0643	Hannan-Quinn criter.		6.262626
F-statistic	12.34073	Durbin-Watson stat		2.072225
Prob(F-statistic)	0.000000			



# ANNEXE N°04 : le test de racine unitaire DFA de la série des prix spot du pétrole brut différencier

## Le modèle autoregressif d'ordre 1

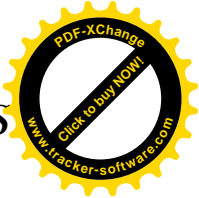
Null Hypothesis: DPS has a unit root  
Exogenous: None  
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=14)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-9.217647	0.0000
Test critical values:		
1% level	-2.577320	
5% level	-1.942527	
10% level	-1.615577	

\*Mackinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation  
Dependent Variable: D(DPS)  
Method: Least Squares  
Date: 11/24/15 Time: 15:50  
Sample (adjusted): 2000M03 2015M10  
Included observations: 188 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
DPS(-1)	-0.624602	0.067762	-9.217647	0.0000
R-squared	0.312411	Mean dependent var		-0.004043
Adjusted R-squared	0.312411	S.D. dependent var		6.572775
S.E. of regression	5.450208	Akaike info criterion		6.234490
Sum squared resid	5554.792	Schwarz criterion		6.251705
Log likelihood	-585.0420	Hannan-Quinn criter.		6.241465
Durbin-Watson stat	2.031058			



### Le modèle autoregressif d'ordre 1 avec constante

Null Hypothesis: DPS has a unit root

Exogenous: Constant

Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=14)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-9.195009	0.0000
Test critical values:		
1% level	-3.465202	
5% level	-2.876759	
10% level	-2.574962	

\*Mackinnon (1996) one-sided p-values.

#### Augmented Dickey-Fuller Test Equation

Dependent Variable: D(DPS)

Method: Least Squares

Date: 11/24/15 Time: 15:52

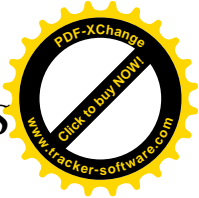
Sample (adjusted): 2000M03 2015M10

Included observations: 188 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
DPS(-1)	-0.624805	0.067951	-9.195009	0.0000
C	0.064121	0.398606	0.160863	0.8724

R-squared	0.312507	Mean dependent var	-0.004043
Adjusted R-squared	0.308811	S.D. dependent var	6.572775
S.E. of regression	5.464460	Akaike info criterion	6.244989
Sum squared resid	5554.020	Schwarz criterion	6.279419
Log likelihood	-585.0290	Hannan-Quinn criter.	6.258939
F-statistic	84.54819	Durbin-Watson stat	2.030917
Prob(F-statistic)	0.000000		



### Le modèle autoregressif d'ordre 1 avec constante et trend

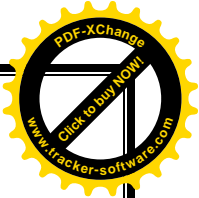
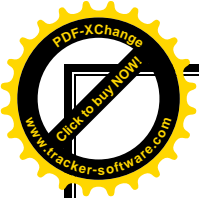
Null Hypothesis: DPS has a unit root  
Exogenous: Constant, Linear Trend  
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=14)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-9.216453	0.0000
Test critical values:		
1% level	-4.007613	
5% level	-3.433906	
10% level	-3.140847	

\*Mackinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation  
Dependent Variable: D(DPS)  
Method: Least Squares  
Date: 11/24/15 Time: 15:53  
Sample (adjusted): 2000M03 2015M10  
Included observations: 188 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
DPS(-1)	-0.629632	0.068316	-9.216453	0.0000
C	0.605567	0.810771	0.746903	0.4561
@TREND(2000M01)	-0.005664	0.007383	-0.767171	0.4440
R-squared	0.314687	Mean dependent var		-0.004043
Adjusted R-squared	0.307278	S.D. dependent var		6.572775
S.E. of regression	5.470514	Akaike info criterion		6.252451
Sum squared resid	5536.406	Schwarz criterion		6.304096
Log likelihood	-584.7304	Hannan-Quinn criter.		6.273376
F-statistic	42.47486	Durbin-Watson stat		2.027338
Prob(F-statistic)	0.000000			



# *Tables des matières*



# Tables des matières

- Introduction générale ..... 4
- CHAPITRE I : Les marchés pétroliers et la volatilité des prix du pétrolier ..... 10
- Introduction ..... 10
- 1.1. Le marché pétrolier ..... 11
- 1.1.1. Le marché physique ..... 12
  - a) Le marché physique au comptant ..... 12
  - b) Le marché physique à terme ..... 14
- 1.1.2. Le marché financier (future) ..... 15
- 1.2. Le prix du pétrole ..... 16
- 1.2.1. Un historique sur le prix du pétrole ..... 17
  - 1.2.1.1. La fondation de l'OPEP ..... 17
  - 1.2.1.2. La variation des prix du pétrole dans les années 70 et 80 ..... 18
  - 1.2.1.3. La perte d'influence de l'OPEP ..... 18
  - 1.2.1.4. Le prix du pétrole depuis l'an 2000 ..... 18
  - 1.2.1.5. La crise financière de 2008 ..... 19
  - 1.2.1.6. Fin 2011 début 2012 (de la crise libyenne à la crise iranienne) ..... 20
  - 1.2.1.7. La stabilité des prix du pétrole en 2013 ..... 21
  - 1.2.1.7. La baisse des cours en 2014 ..... 22
  - 1.2.1.8. Les prix du pétrole pour l'année 2015 ..... 24
- 1.2.2. Les déterminants du prix du pétrole ..... 24
- 1.2.2.1. L'épuisement des réserves ..... 26
- 1.2.2.2. Les déterminants liés à l'offre disponible : structure de la production, taux d'utilisation des capacités disponibles et coût d'accès au brut ..... 28
- 1.2.2.3. Les déterminants liés à la demande ..... 29
- 1.2.2.4. Le pouvoir de marché des producteurs ..... 29
- 1.2.2.5. La spéculation et le cours du dollar ..... 30
- 1.2.2.6. « La capacité d'absorption » des tensions politiques : ..... 31
- 1.3. Les crises pétrolières ..... 32
- 1.3.1. Le choc pétrolier ..... 33
  - a) Un choc d'offre ..... 33
  - b) Un choc de demande ..... 34



# Tables des matières

- 1.3.2. Le contre-choc pétrolier ..... 35
- 1.3.3. La relation entre un choc et un contre-choc pétrolier ..... 35
- 1.4. La volatilité..... 36
- 1.4.1. Définitions ..... 36
- 1.4.2. Les facteurs de la volatilité ..... 37
  - 1.4.2.1. Les comportements réversibles des offreurs et des demandeurs de titres 38
  - 1.4.2.2. L'interdépendance de l'offre et de la demande de titres ..... 38
  - 1.4.2.3. La volatilité de la valeur fondamentale des actions ..... 38
  - 1.4.2.4. L'asymétrie d'information ..... 38
  - 1.4.2.5. Le rôle controversé des marchés dérivés ..... 39
  - 1.4.2.6. Une volatilité très irrégulière ..... 39
- 1.4.3. Limitation et contrôle de la volatilité ..... 40
- 1.4.4. Les différentes mesures de la volatilité ..... 41
  - 1.4.4.1. La volatilité historique (réalisée) ..... 41
  - 1.4.4.2. La volatilité implicite ..... 42
- Conclusion du premier chapitre ..... 42

## CHAPITRE II : Techniques d'analyse et de prévision des séries financières ARCH et (G)ARCH ..... 44

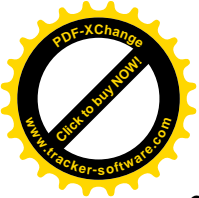
- Introduction ..... 44
- 2.1. Rappel des concepts techniques ..... 46
- 2.1.1. Chronique : (série chronologique, série temporelle)..... 46
- 2.1.2. Processus stochastique, variables aléatoires : (processus aléatoire, fonction aléatoire) ..... 46
  - a) Stationnarité et bruit blanc ..... 46
    - Processus stationnaire ..... 46
    - Processus non-stationnaire ..... 47
  - b) Bruit blanc ..... 50
- 2.1.3. Les séries financières ..... 51
- 2.1.3.1. Les caractéristiques des séries financières ..... 52
- 2.1.4. Modélisation ARMA ou Modélisation (G)ARCH d'une série financière ..... 52



# Tables des matières

- 2.2. Les modèles ARMA et les série financières ..... 52
  - 2.2.1. Le Modèle AR (auto Régressif) ..... 53
  - 2.2.2. Le modèle MA (Mouving Average : Moyenne Mobile) ..... 54
  - 2.2.3. Le Modèle Mixte..... 55
  - 2.2.4. Conditions d'utilisation des modèles AR, MA, ARMA ..... 55
  - 2.2.5. La méthode de box et Jenkins ..... 56
- 2.3. Les modèles ARCH et (G)ARCH ..... 57
  - 2.3.1. Présentation générale et problématique ..... 58
  - 2.3.2. Modèle de régression de type ARCH..... 60
    - 2.3.2.1. Spécification du modèle ..... 60
    - 2.3.2.2. Propriétés d'un modèle ARCH (1)..... 61
    - 2.3.2.3. Test d'un modèle de type ARCH ..... 62
    - 2.3.2.4. Procédure d'estimation et prévision..... 63
- 2.4. Processus de type GARCH (1986 : Tim Bollerselv) ..... 65
  - 2.4.1. Spécification..... 65
  - 2.4.2. Test et estimation de modèle de type GARCH..... 66
  - 2.4.3. Le modèle GARCH (1,1) ..... 67
  - 2.4.4. Les pondérations ..... 67
  - 2.4.5. L'estimation des paramètres d'un GARCH (1,1) ..... 68
    - 2.4.5.1. La qualité du modèle ..... 68
    - 2.4.5.2 La prévision de la volatilité future par le modèle GARCH (1,1)..... 69
- 2.5. Modèle ARMA-GARCH (1986 : Weiss)..... 70
- 2.6. La prévision..... 71
  - 2.6.1. La prévision en l'économie ..... 72
    - 2.6.1.1. Modèles structurels keynésiens..... 72
    - 2.6.1.2. Modèles statistiques ..... 73
  - 2.6.2. Les types de prévision des séries temporelles..... 76
    - 2.6.2.1. Les erreurs de prévision ..... 76
    - 2.6.2.2. Les technique s de la prévision des séries temporelles ..... 77
    - 2.6.2.3. Choix de technique de la prévision des séries temporelles..... 77
    - 2.6.2.4. Développement des modèles pour prévision ..... 78





# Tables des matières

- 2.6.3. Le modèle et robustesse des prévisions ..... 79
- Conclusion du deuxième chapitre ..... 80
  
- CHAPITRE III : La prévision de la volatilité des prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH ..... 81
- Introduction ..... 81
- 3.1. Modélisation de la volatilité du prix du pétrole par les modèles ARCH et (G)ARCH .....82
  - 3.1.1. Présentation des données des prix SPOT du pétrole brut ..... 83
    - 3.1.1.1. Etude Graphique ..... 83
    - 3.1.1.2. Détermination du type de la série des prix spot du pétrole ..... 85
    - 3.1.1.3. Etude de la stationnarité de la Série des prix spot du pétrole ..... 88
      - a) Etude du Corrélogramme de la série des prix spot ..... 89
      - b) Application du test Dickey-Fuller Augmenté ..... 89
      - c) Décomposition de la série des prix spot du pétrole ..... 90
  - C.1) L'élimination de la tendance (trend) ..... 91
  - C.2) Filtre de différence première ..... 93
- 3.2. Modélisation de la série des prix Spot du pétrole ..... 95
  - 3.2.1. Mise en évidence des variances temporelles ..... 95
  - 3.2.2. Analyse de l'asymétrie et de la leptokurticité ..... 97
  - 3.2.3. La Modélisation par la méthode ARMA..... 97
    - 3.2.3.1. L'identification ..... 98
    - 3.2.3.2. L'estimation des paramètres du modèle 100
    - 3.2.3.3. Validation du modèle 101
- 1) Test de nullité des résidus  $H_1$  ..... 101
  - 2) Test de non auto-corrélation des résidus  $H_2$  ..... 102
  - 3) Test de normalité des résidus  $H_3$  ..... 103
  - 4) Test d'homoscédasticité des résidus  $H_4$  ..... 104
- 4.1) Test corrélation sérielle des résidus (Breusch-Godfrey) 104
- 4.2) Test de White 105
- 4.3) Test ARCH.LM 105



# Tables des matières

- 3.2.4. La Modélisation ARCH ..... 107
- 3.3. La Prévision sur les prix de brut par ARCH ..... 111
  - 3.3.1. Application aux données du prix spot du pétrole 111
  - 3.3.2. Les prévisions de l’AIE des prix spot du pétrole 113
- Conclusion du troisième chapitre ..... 116
  
- Conclusion générale ..... 118
- Bibliographie ..... 122
- ANNEXES ..... 130
- Annexe N°01 : l’évolution historique des prix spot du pétrole brut en dollar/baril...... 130
- ANNEXE N°02 : La série des résidus d’estimation obtenue ( $e_t$ ) ..... 131
- ANNEXE N°3 : Le test de racine unitaire DFA des 3 modèles Autorégressifs ..... 132
- ANNEXE N°04 : le test de racine unitaire DFA de la série des prix spot du pétrole brut différencier ..... 135
  
- Listes des figures**
- Figure N° 01 : Les grands marchés spot pétroliers internationaux ..... 14
- Figure N° 02 : Les facteurs qui servent à la fixation des prix du pétrole...... 17
- Figure N° 03 : Evolution des trois indices pétroliers de références 2005 février 2014. .... 22
- Figure N° 04 : Déterminants du prix du pétrole...... 26
- Figure N° 05 : Représentation d’une crise pétrolière..... 34
- Figure N° 06 : Comparaison des trajectoires des sous-jacent pour différentes niveaux de volatilité...... 36
- Figure N° 07: Les différentes catégories de la volatilité..... 37
- Figure N° 08: Les différentes mesures de volatilité..... 41
- Figure N° 09: Evolution des prix spot du pétrole brut entre janvier 2000 à Octobre 2015...... 84
- Figure N° 10: Le graphe saisonnier du prix spot du pétrole brut entre janvier 2000 et Octobre 2015...... 85
- Figure N° 11: Evolution des résidus obtenus de l’estimation de la fonction de la tendance de la série Pst...... 92
- Figure N°12: la prévision des prix spot à l’horizon de 2016. ..... 113
- Figure N° 13: Profil qualitatif des prix du pétrole à long terme ..... 115



**Liste des tableaux**

Tableau N° 01 : Examen de la stationnarité d'une série chronologique ..... 48

[Tableau N° 02: Les moyennes et l'écart types de la série des prix spot du pétrole brut. .. 86](#)

[Tableau N° 03 : Régression de l'écart type sur les moyennes annuelles de la série des prix spot du pétrole brut..... 87](#)

[Tableau N° 04 : Résultats du test Dickey-Fuller Augmentés. .... 90](#)

[Tableau N° 05 : Estimations de la fonction de la tendance par la méthode des MCO. .... 91](#)

[Tableau N° 06: Test de DFA de la série différencié  \$\Delta Pst\$ . .... 94](#)

[Tableau N° 07 : Les moyennes et les variances annuelles de la série  \$\Delta Pst\$ ..... 95](#)

[Tableau N° 08: Test d'indépendance sérielle de la série  \$\Delta Pst\$ ..... 98](#)

[Tableau N° 09 : Identification de l'ordre du modèle ..... 99](#)

[Tableau N° 10: Estimations des paramètres du modèle AR\(1\) ..... 100](#)

[Tableau N° 11 : Test de corrélation sérielle des résidus Breusch-Godfrey ..... 104](#)

[Tableau N° 12 : Test de White \(homoscédasticité du modèle\)..... 105](#)

[Tableau N°13 : Test du ARCH.LM ..... 106](#)

[Tableau N°14: Test de ARCH.LM d'Ordre 2 ..... 107](#)

[Tableau N°15 : Identification du modèle ARCH..... 107](#)

[Tableau N°16: Prévision des prix spot à l'horizon de 6 mois..... 112](#)

**Liste des Corrélogrammes**

[A.1. Corrélogramme de la série brute des prix spot du pétrole brut. .... 89](#)

[A.2. Corrélogramme des résidus de la Série PSt ..... 93](#)

[A.3. Corrélogramme de la série des prix spot  \$\Delta Pst\$  ..... 99](#)

[A.4. Corrélogramme des résidus du modèle AR\(1\)..... 103](#)

[A.5. Corrélogramme des carrés des résidus standardisés ..... 110](#)

**Liste des Histogrammes**

[B.1. Histogramme de la série  \$\Delta Pst\$  ..... 97](#)

[B.2. Histogramme des résidus \(la normalité des erreurs\). .... 104](#)

[B.3. Histogramme des résidus standardisés ..... 110](#)