



Contribution à l'étude des méthodes quantitatives d'aide à la décision – appliquées aux indices du marché d'actions

Kreit Zakwan

► To cite this version:

Kreit Zakwan. Contribution à l'étude des méthodes quantitatives d'aide à la décision – appliquées aux indices du marché d'actions. Sciences de l'Homme et Société. Université Montesquieu - Bordeaux IV, 2007. Français. <tel-00413979>

HAL Id: tel-00413979

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00413979>

Submitted on 7 Sep 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ MONTESQUIEU – BORDEAUX IV
Institut d'Administration des Entreprises
Centre de Recherches en Contrôle et Comptabilité Internationale

Contribution à l'étude des méthodes quantitatives d'aide à la décision appliquées aux indices du marché d'actions

Thèse pour le Doctorat ès Sciences de Gestion
Présentée et soutenue publiquement le 27 mars 2007

Par

Zakwan KREIT

MEMBRES DU JURY

M. Pascal BARNETO

Professeur à l'Université de Bretagne Sud, rapporteur

M. Jean-Guy DEGOS

Professeur à l'Université Montesquieu-Bordeaux IV, directeur de thèse

M. Serge EVRAERT

Professeur à l'Université Montesquieu-Bordeaux IV

M. Didier LECLERE

Professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers, rapporteur

REMERCIEMENTS

Mon séjour en France m'a enrichi considérablement sur le plan culturel et scientifique. La conclusion en est une contribution au domaine scientifique et technique certes modeste, mais, j'espère, qui présente un certain intérêt.

Je tiens à exprimer mes plus sincères remerciements à :

- Mon directeur de thèse, le professeur **Jean-Guy DEGOS** pour l'aide compétente qu'il m'a apportée, pour sa patience et ses encouragements tout au long d'un travail de plusieurs années. Ses critiques pertinentes m'ont toujours été précieuses pour structurer mon travail et en améliorer la qualité.

- Monsieur **Serge EVRAERT**, Professeur à l'Université Bordeaux IV, pour avoir bien voulu me faire l'honneur de présider le jury.

- Monsieur **Pascal BARNETO**, Professeur à l'Université de Bretagne Sud, pour l'honneur qu'il me fait d'accepter de participer au jury de soutenance de cette thèse.

- Monsieur **Didier LECLERE**, Professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers, qui m'honore en étant membre de ce jury et rapporteur de cette thèse.

- La **SYRIE** mon pays, et la **FRANCE** qui m'a permis de réaliser cette recherche.

- Le **CROUS** de Bordeaux représenté par Madame **C. LAOUÉ** (Service des étudiants étrangers) pour son soutien et sa compréhension.

- Madame **J.OUSTALET** et Monsieur **R.CUILLIERIER** qui m'ont aimablement accueilli et conseillé pendant les années de préparation de ma thèse.

J'adresse aussi mes plus vifs remerciements à toutes les personnes qui m'ont aidé d'une manière ou d'une autre à effectuer mes recherches- je ne citerai pas de noms de peur d'en oublier certains.

Enfin, je dédie ce travail à ma femme aimée et ma fille Aya qui occupent une si grande place dans mon cœur, à ma famille et à tous mes amis français et syriens.

SOMMAIRE

| | |
|---|------------------|
| <u>REMERCIEMENTS</u> | <u>1</u> |
| <u>SOMMAIRE</u> | <u>3</u> |
| <u>INTRODUCTION</u> | <u>6</u> |
| <u>1- Revue et examen de la littérature</u> | <u>12</u> |
| <u>2- Méthodologie de la recherche</u> | <u>22</u> |
| | |
| <i>PREMIÈRE PARTIE</i> | |
| <i>ANALYSE ET MÉTHODES D'AIDE À LA DÉCISION</i> | <i>29</i> |
| | |
| <u>Chapitre 1- ANALYSE DE LA DECISION</u> | <u>32</u> |
| | |
| <u>1- Définitions</u> | <u>32</u> |
| <u>2- Les bases de la prise de décision</u> | <u>35</u> |
| <u>3- Typologie de décision</u> | <u>44</u> |
| <u>4- Les contextes du choix</u> | <u>51</u> |
| <u>5- Le degré de formalisation du comportement du décideur</u> | <u>52</u> |
| <u>6- Les classifications syntétiques</u> | <u>52</u> |
| | |
| <u>Chapitre 2- THÉORIE DU PROCESSUS DE DÉCISION</u> | <u>57</u> |
| | |
| <u>1- Les théories de la décision</u> | <u>58</u> |
| <u>2- Les processus décisionnels</u> | <u>62</u> |
| <u>3- Les modèles de prise de décision</u> | <u>67</u> |
| <u>4- Application de la décision</u> | <u>71</u> |
| <u>5- Les limites et la fin du processus de décision</u> | <u>72</u> |
| <u>6- Le système de décision</u> | <u>74</u> |
| <u>7- Le management décisionnel</u> | <u>76</u> |
| | |
| <u>Chapitre 3- MÉTHODES D'AIDE À LA DÉCISION</u> | <u>81</u> |
| | |
| <u>1- L'aide à la décision en univers certain</u> | <u>81</u> |
| <u>2- L'aide à la décision en univers aléatoire</u> | <u>85</u> |
| <u>3- L'aide à la décision en univers conflictuel (hostile)</u> | <u>93</u> |

| | |
|--|----------------------------|
| 4- L'aide à la décision en univers incertain | 99 |
| Chapitre 4 - SYSTÈMES D'AIDE À LA DÉCISION | 104 |
| 1- Systèmes interactifs d'aide à la décision (SIAD) | 105 |
| 2- Les tableaux de bord électroniques TBE/EIS | 110 |
| 3- Les systèmes d'entrepôts de données (Data Warehouse) | 114 |
| 4- Les systèmes experts SE | 119 |
| | |
| Conclusion de première partie | 125 |
| | |
| <u>DEUXIÈME PARTIE</u> | |
| <u>APPLICATION DES MÉTHODES D'AIDE À LA DÉCISION</u> | |
| ..... | 129 |
| | |
| Chapitre 5- MÉTHODES D'ANALYSE DES VALEURS DU MARCHÉ | 132 |
| | |
| 1- Définitions et principes | 131 |
| 2- Analyse chartiste (analyse technique traditionnelle) | 134 |
| 3- Analyse fondamentale | 141 |
| 4- L'efficience de marché | 156 |
| | |
| Chapitre 6 - MÉTHODES DE PRÉVISION | 160 |
| | |
| 1- La méthode ARIMA (moyenne mobile intégrée auto- régressive) | 161 |
| 2- Méthode des réseaux de neurones artificiels ANN | 173 |
| | |
| Chapitre 7- IDIOSYNCRASIE DU MARCHÉ BOURSIER ÉGYPTIEN | 186 |
| | |
| 1- Introduction historique | 187 |
| 2- L'indice du marché Egyptien CASE | 192 |
| 3- Analyse de l'indice CASE 30 | 199 |
| 4- Le cadre de normalisation | 207 |
| 5- La Bourse des valeurs de l'Egypte | 210 |
| 6- Efficience du marché Egyptien | 213 |
| | |
| Chapitre 8 - PERTINENCE DES APPLICATIONS PRATIQUES | 216 |
| | |
| 1- Présentation des données de l'échantillon | 216 |

| | |
|---|------------|
| <u>2- Le test de l'effici ence du marché boursier Egyptien</u> | <u>217</u> |
| <u>3- Application de la méthode ARIMA</u> | <u>219</u> |
| <u>4- Application de la méthode de réseaux neurones artificiels ANN</u> | <u>233</u> |
| <u>5 - Les critères de comparaison</u> | <u>232</u> |
| | |
| <u>CONCLUSION GENERALE</u> | <u>237</u> |
| -Recommandations | <u>242</u> |
| - Limites de la recherche | <u>244</u> |
| - Perspectives de la recherche | <u>245</u> |
| | |
| <u>BIBLIOGRAPHIE</u> | <u>246</u> |
| | |
| <u>LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX</u> | <u>266</u> |
| | |
| <u>ANNEXES</u> | <u>268</u> |
| | |
| <u>INDEX</u> | <u>331</u> |
| | |
| <u>TABLE DES MATIERES</u> | <u>340</u> |
| | |
| <u>RÉSUMÉS EN LANGUES ANGLAISE ET ARABE</u> | <u>347</u> |

INTRODUCTION

Au cours des dernières décennies, on a assisté au développement spectaculaire des méthodes quantitatives (MQ) appliquées à la gestion en général et à la finance en particulier. On peut définir ces méthodes comme un ensemble de techniques formalisées (mathématiques, statistiques, et informatiques) visant à fournir une aide à la décision par le traitement logique d'un ensemble d'informations de nature quantitative. D'innombrables articles et ouvrages sont chaque année consacrés aux techniques statistiques, aux méthodes d'optimisation, de simulation, de gestion de projets, etc., sujets qui sont aussi désormais partie intégrante de la plupart des programmes universitaires en sciences de l'administration.

Ce développement s'est longtemps appuyé sur la conviction que le fait d'utiliser des méthodes formalisées, et partant, rationnelles à en croire certains, entraînait nécessairement une amélioration de la qualité des décisions au sein des entreprises et aussi au niveau des individus.

Des voix se sont cependant élevées pour dénoncer cet engouement. Ainsi **PETERS** et **WATERMAN** (1982), dans leur ouvrage «In Search of Excellence», attribuent-ils principalement les échecs du management américain à la trop grande importance accordée aux méthodes quantitatives par les écoles de gestion. À une période d'optimisme général a succédé une ère de doute et de remise en question, comme en témoigne le célèbre article d' **ACKOFF** (1979). Ce désenchantement tient peut-être en partie au fait que les spécialistes des méthodes quantitatives ont développé des techniques de calcul dont la sophistication est souvent loin d'être en rapport avec la signification des données manipulées et le caractère probant des hypothèses effectuées.

Pour se faire une idée de la nature des problèmes abordés par les méthodes

quantitatives dans le domaine de la gestion, de la nature des outils utilisés et du type d'organisations qui recourent à ces outils, nous avons décidé d'examiner quelques publications récentes présentant des applications de ce type d'outils. Dans cette perspective, la brochure intitulée «Réussites en recherche opérationnelle», publiée en 1983 par la Société Canadienne de Recherche Opérationnelle (SCRO) à l'occasion du 25^e anniversaire de sa fondation, apparaît comme particulièrement révélatrice.

D'ailleurs, traditionnellement, les MQ appliquées à la gestion ont été conçues pour fournir une aide à la décision sous la forme d'une solution «optimale», cette solution optimale étant obtenue par la maximisation (minimisation) d'une fonction sensée incorporer les objectifs de l'entreprise ou des individus dans les contraintes que son environnement lui impose. Ce type de modèle recourt généralement à une formalisation débouchant sur la quantification, le calcul et l'utilisation de l'instrumentation mathématique (**MOSCOROLA**, 1978).

Ainsi se sont développées des méthodes algorithmiques et des codes de plus en plus puissants : les programmations linéaires, quadratiques, en nombres entiers, dynamiques, accompagnées de leurs applications spécifiques à certains problèmes généraux de production, d'ordonnancement, de file d'attente, de transport, etc. Avec le développement de la recherche théorique et des capacités de l'informatique, ces techniques se sont enrichies de la programmation non linéaire, de certains algorithmes de décomposition permettant le traitement de programmes linéaires géants, de la programmation stochastique, et avec la progression informatique nous avons assisté à la grande révolution de la naissance de la notion d'intelligence artificielle, définie comme la discipline visant à comprendre la nature de l'intelligence humaine et sur cette base construire des programmes d'ordinateur imitant cette intelligence. Toutes ces méthodes se sont aussi diversifiées pour aborder de nouveaux problèmes.

- La complexité des liaisons et interactions agissant sur le domaine à contrôler: en particulier, lorsque se développent les effets de boucles avec rétroactions, on a utilisé des techniques de simulation de la dynamique industrielle ainsi que l'analyse structurale ;

- La diversité d'informations disparates sur des activités de gestion difficiles à

classer a entraîné le développement de diverses techniques d'analyse statistique ;

- La diversité des objectifs ou critères présidant au choix d'une solution a été à l'origine de la programmation à objectifs multiples, de la théorie de l'utilité multi-attribut et de diverses techniques multicritères.

Comme nous allons le présenter dans cette recherche, la diversité des applications (réelles ou potentielles) des MQ couvre la quasi totalité des problèmes de gestion (gestion de la production, gestion financière, gestion commerciale, gestion du personnel) dans la plupart des secteurs. Elles offrent une aide à la décision, au plan opérationnel et tactique et aussi au niveau stratégique dans le développement d'une société ou dans la recherche attachée à une entreprise, ou encore dans une décision boursière. Selon **CHEN** (1981), l'utilité de ces diverses techniques pour les praticiens calculée selon les fréquences d'utilisation obtenues à la suite de plusieurs sondages est, dans l'ordre :

1- l'analyse statistique ; 2- la simulation ; 3- la programmation linéaire ; 4- le PERT/CPM ; 5- les techniques d'inventaire ; 6- l'analyse de la décision ; 7- les processus markoviens ; 8- les files d'attente ; 9- la programmation dynamique ; 10- la programmation en nombres entiers ; 11- la programmation non linéaire ; 12- la théorie des jeux.

Même si les cas d'application des MQ dont nous avons parlé plus haut n'en faisaient pas mention, l'outil statistique est pratiquement toujours employé, du moins au niveau des méthodes descriptives.

Bien que ces méthodes soient presque toujours appliquées avec succès, il reste néanmoins vrai, comme le note **THEYS** (1975), que les chercheurs opérationnels ne sont pas parvenus à convaincre définitivement les dirigeants d'entreprises ou d'autres organisations de l'efficacité de ces techniques. Les difficultés de mise en oeuvre découlent en partie des rapports généralement distants qu'entretiennent les chercheurs en MQ et les praticiens, au point que les deux groupes s'expriment le plus souvent dans des revues différentes- par exemple, qu'y a-t-il de commun entre OPERATIONS RESEARCH et INTERFACE ?

Les problèmes d'«implémentation» ont engendré une littérature considérable (**DOKTOR** et al. 1979). Face à ces difficultés, des spécialistes parlent même de crise entre

la recherche opérationnelle et l'approche rationnelle (**HEURGON** 1979) ; ce constat a été exprimé avec éloquence par **ACKOFF** en 1979 dans un article intitulé «The Future of Operational Research is Past». Sans vraiment nous engager dans ce débat, nous tenterons ici de souligner certains éléments qui peuvent contribuer à dire si les méthodes quantitatives d'aide à la décision sont vraiment capables de remplacer l'intelligence humaine - ce qui est l'ambition des réseaux de neurones artificiels – dans le cas particulier de la prévision des cours des valeurs de la Bourse.

En tout état de cause, dans la majorité des études dont l'objectif est l'aide à la décision par des méthodes quantitatives, on part de l'hypothèse que le décideur est un **homme rationnel cherchant à maximiser** ses objectifs personnels. De plus, comme l'indique (**HAMMOND** 1977), on suppose que ses objectifs se confondent avec ceux de son organisation, et donc que le décideur recherche l'action optimale qui lui permettra de maximiser simultanément ses objectifs et ceux de l'organisation. Comme le démontre **ROY** (1981), cette quête de l'optimum a certainement une part de responsabilité dans les difficultés d'application pratique des méthodes quantitatives.

Les contraintes inhérentes à la recherche d'un optimum sont

- la globalité. Cette première contrainte impose que chaque action potentielle doive englober la totalité des aspects de la réalité en cause. Cela revient à dire que, dans le modèle, deux actions potentielles quelconques sont, par construction, mutuellement exclusives ;
- la stabilité. La contrainte de stabilité porte sur la famille des actions potentielles prises en compte dans l'étude. Il doit s'agir d'un ensemble trivial ayant un caractère exhaustif. On entend par ensemble trivial un ensemble dans lequel chaque action imaginable peut être déclarée possible ou impossible; cela impose que soit définie une frontière précise séparant les actions possibles des actions impossibles. Dire que la famille des actions potentielles a un caractère exhaustif, cela signifie que cette frontière ne doit pas laisser échapper d'actions susceptibles d'être reconnues possibles ultérieurement. Ainsi, la méthodologie d'aide à la décision doit considérer une famille d'actions imposée a priori et durable ;

- la complète comparabilité transitive. Cette troisième contrainte porte sur la modélisation des préférences. Face à un couple d'actions, elle restreint la possibilité du choix : préférence stricte ou indifférence. Ces relations complémentaires doivent de plus être transitives.

Prenant appui sur ces contraintes, **ROY** identifie quelques difficultés liées à cette problématique de l'optimisation :

- Dans la réalité, **les préférences** sont souvent floues, incomplètement formulées, non transitives, différentes d'un acteur à l'autre et susceptibles d'évoluer tout au long du processus. Il est donc difficile d'imposer la complète comparabilité transitive;
- Le critère d'optimisation favorise un **biais instrumental** au niveau de la modélisation. En pratique, la comparaison de deux actions potentielles prend appui sur ce que l'on peut appeler les conséquences. Or, celles-ci sont généralement multiples, hétérogènes, enchevêtrées. Pour parvenir à asseoir cette complète comparabilité transitive, on sera inévitablement amené à chiffrer ces conséquences et à agréger tous ces chiffres de façon à construire une fonction d'évaluation grâce à laquelle la comparaison de deux actions deviendra simple. Cette façon de faire pousse à modéliser les conséquences pour lesquelles de bons instruments permettent de «voir clair», et à délaissier la modélisation là où la médiocrité des instruments empêche de faire toute la lumière, c'est-à-dire là où les chiffres seraient en partie subjectifs, même s'ils concernent des facteurs qui peuvent paraître déterminants ;
- Une conception trop formelle, trop figée, du travail à exécuter conduit fréquemment à **l'isolement** pour trouver la solution du problème. On raisonne comme si on « évacuait » le décideur ou comme s'il s'agissait d'un décideur abstrait. Lorsque les décideurs font appel à un chercheur opérationnel pour résoudre un problème, ce spécialiste, après avoir recueilli toute l'information pertinente, prend en quelque sorte possession

du problème et, par l'intermédiaire d'un certain modèle, propose une solution dite «optimale». Ce type d'intervention a pour objectif final la présentation d'un rapport aux dirigeants, et non seulement le chercheur opérationnel n'est pas vraiment tenté d'insérer le décideur dans le processus de décision, mais en général il redoute même de le faire. Pourtant l'insertion du décideur dans le processus de décision est primordiale car, compte tenu de la contingence par rapport au contexte organisationnel, la décision ne peut être réduite à la résolution d'un problème abstrait seulement soumis à l'environnement ;

- Le but de l'étude étant la découverte de l'action optimale, les techniques de calcul l'emportent souvent sur la formulation du problème, la collecte des données, etc. À la puissance théorique des techniques d'optimisation correspond souvent leur opacité pour l'utilisateur non spécialiste. Lorsqu'un manager veut utiliser des modèles de ce genre pour résoudre un problème de décision, il doit avoir recours à un spécialiste ; des difficultés de communication peuvent alors surgir. Une erreur fréquente consiste à vouloir absolument appliquer des techniques mathématiques qui imposent des hypothèses inacceptables pour tenter de résoudre des problèmes plutôt mal posés ; le «problem solving» l'emporte alors sur le «problem finding».

1- REVUE ET EXAMEN DE LA LITTERATURE

Cette partie a pour objectif de présenter une revue de littérature relative aux objectifs de la recherche. On se propose d'étudier dans le cadre de la littérature les méthodes quantitatives concernant d'aide à la décision en général, le processus et les modèles de prise de décision et de présenter les principaux types des systèmes d'aide à la décision et surtout d'appliquer de nouvelles méthodes de prévision (méthodes modernes relativement).

L'identification des problèmes et la prise de décision sont le souci quotidien du gestionnaire (décideur). La logique suppose qu'on identifie le problème et qu'on prenne en compte les options et que, finalement, on passe à l'action.

Le décideur consacre une bonne partie de son temps à prendre des décisions. **SIMON** va même jusqu'à dire que gérer, c'est décider. **MINTZBERG** souligne « que la résolution de problèmes et la prise de décision sont probablement les activités les plus cruciales du travail du gestionnaire : de la qualité de ses décisions dépendra la survie à moyen et à long terme de son entreprise ».

1. Fondements épistémologiques

C'est à partir des années cinquante qu'on a commencé à parler de la théorie moderne de la décision dans les salles des facultés de mathématiques¹. Cette théorie concernait la statistique et la théorie des jeux.

¹ . Simon A., (1960), The New Science of management decision, 1ère édition, New-York.

Mais c'est dans les années soixante que « les sciences de décisions » allaient voir le jour avec les mathématiques de la décision. **H.A SIMON** emploie pour la première fois, en 1959, l'expression « science (au singulier) de la décision ».

Pour **LEMOIGNE**, c'est dans l'épistémologie néo-positiviste qu'il faut rechercher les fondements épistémologiques de la science de la décision, et c'est dans ce sens qu'il a proposé cette définition conceptuelle : « la science de la décision (organisationnelle) étudie non seulement les modalités de détermination rationnelle de choix de solutions multiples susceptibles d'affecter une situation décrite, bien que tenue pour variable, en référence à quelques groupes de normes explicites, mais aussi les processus d'élaboration de ces modalités et de ces normes et les transformations possibles de ces processus ». ²

Aussi **LEMOIGNE**, ajoute-t-il dans le contexte retenu par **SIMON** « la science de la décision fait son objet du traitement de l'information dans et par un système multiple afin d'aboutir à une résolution complète ».

LEMOIGNE a souligné également « la contribution décisive qui a permis l'extension du concept de décision à celui de système de décision, extension que toute entreprise contemporaine sur la science de la décision se doit désormais de considérer. » ³

2. Modèles du processus de prise de décision

De nombreux de modèles et de théories d'aide à la prise de décision ont été élaborés. Et dans un cas pratique concerné dans sa gestion quotidienne et sa planification stratégique par la prise de décision, divers modèles sont proposés pour l'étude du processus décisionnel.

2.1. Le modèle bureaucratique

Le modèle bureaucratique, proposé par **WERBER** et **FAYOL**, part de l'hypothèse suivante :

². NADEAU R., LANDRY M.,(1986), *L'aide à la décision : Nature instruments et perspectives d'avenir*, Québec, les P.U.L, pp 3 - 52.

³. Ibid.

«Les décisions sont prises par des personnes compétentes détenant le pouvoir nécessaire et oeuvrant dans le cadre d'un plan global bien arrêté. Dans un contexte relativement stable et prévisible, et avec des ressources suffisantes, le critère décisionnel devient alors l'utilisation optimale des ressources, dans le respect des règles administratives et du plan global ». ⁴

2.2. Le modèle de la théorie statistique de la décision (T.S.D.)

A la différence des modèles classiques qui cherchent à formaliser les relations existantes entre des grandeurs objectives, le modèle de la T.S.D. se base sur les probabilités et essaie de formaliser le comportement du décideur devant une situation incertaine. « Cette formalisation fonctionne à partir d'axiomes qui constituent le corpus de la théorie, et le système de représentation du décideur doit satisfaire ces exigences. » ⁵

Malgré la modélisation du problème, le décideur ne sait pas avec certitude quel « état de la nature » interviendra, mais il connaît les probabilités des divers états de la nature possible. Cette situation exige le passage à la phase du choix. Ce dernier est fondé sur la règle de maximisation de l'espérance mathématique de l'utilité de gain.

La TSD, pour résoudre des problèmes de management complexes, propose l'approche de la décomposition hiérarchique du problème en problèmes plus simples. « Cette approche a été examinée de façon critique par divers auteurs qui ont tenté d'en cerner l'utilité et les limites ».

2.3. La Théorie de H. A. SIMON

⁴ .Ibid.

⁵ .Ibid.

ANDRE THEORET considère que c'est grâce aux travaux réalisés par **SIMON** et ses collaborateurs vers la fin des années 50 et le début des années 60 qu'est née « la théorie du comportement décisionnel ». Cette théorie vise à étudier le décideur dans son milieu naturel.

Dans une situation où le décideur se trouve devant une information partielle et imparfaite les ressources limitées (y compris le temps), les objectifs à satisfaire sont souvent multiples et diffus et la capacité cognitive est limitée. Dans ce cas, il faut « discerner les trois grandes phases du processus : identification du problème, élaboration d'options et choix d'une solution. Le processus s'arrête lorsqu'est trouvée une solution relativement satisfaisante, puisqu'il ne saurait être question de rechercher une solution optimale dans de telles conditions».

H. A. SIMON, dans son ouvrage « le nouveau management, la décision par les ordinateurs », a montré avec clarté les différents stades par lesquels passe le dirigeant dans sa prise de décision. Il s'agit, en fait, de quatre phases principales : ⁶

- Trouver l'occasion de prendre une décision ;
- Envisager les modes d'actions possibles ;
- Choisir un mode ;
- Juger les choix effectués auparavant.

Il est à signaler que chacune de ces quatre phases de la prise de décision est un processus décisionnel compliqué, par exemple, « la phase de conception peut exiger d'autres activités de renseignement, à n'importe quel niveau, les problèmes engendrent des sous-problèmes qui, à leur tour, supposent des phases de renseignement, de conception, de sélection, etc. Ce sont des engrenages d'engrenages ». ⁷

⁶ . SIMON H. A., (1980), *Le nouveau management : la décision par les ordinateurs*, Paris, economica.

⁷ .Ibid

Pour les trois premières phases de la prise de décision, **Simon** les considère étroitement liées aux étapes de la résolution des problèmes, décrites pour la première fois par **JOHN DEWEY** :

Quel est le problème ?

Quelles sont les solutions possibles ?

Laquelle est la meilleure ?

En ce qui concerne la quatrième phase de la prise de décision, celle relative à l'exécution de la décision ; **SIMON** a observé que « la distinction est impossible entre l'exécution de l'opération et sa définition dans le détail ».

Et pour montrer comment les dirigeants prennent aujourd'hui des décisions, **SIMON** a établi la distinction entre deux principaux types de décisions : « les décisions programmées et les décisions non programmées. »⁸ Les décisions sont programmées lorsqu'elles sont répétitives et routinières et ne demandent pas d'être reconsidérées chaque fois qu'elles se présentent. Les décisions sont non programmées -comme des décisions boursières- lorsqu'elles sont nouvelles et non structurées et que le problème se pose pour la première fois.

2.4. Modèles qualitatifs de prise de décision organisationnelle

Le recours à ces modèles s'impose au moment où la réalité de la prise de décision est complexe et surtout lorsque le processus de choix ne se prête pas à la formulation mathématique.

Les modèles qualitatifs sont structurés autour de deux éléments à savoir :

- La clarté des buts de l'entreprise
- Le degré de structuration des processus de décision.

⁸ .Ibid

MC MILAN propose une typologie de ces modèles qualitatifs de prise de décision constituée de quatre catégories distinctes :

- 1) buts bien compris/processus de décision structuré ;
- 2) buts mal compris/processus de décision structuré ;
- 3) buts bien compris/processus de décision non structuré ;
- 4) buts mal compris/processus de décision non structuré.

2.5. Autres théories et modèles de prise de décision

La recherche de la décision rationnelle a ouvert le champ à la théorie moderne qui a écarté les hypothèses de la théorie marginaliste en favorisant les hypothèses du concept d'« univers » dans lesquels naissent les décisions.

3. Les réseaux neuronaux et la prévision financière

Les conclusions des chercheurs sur le travail effectué par **EDWARD GATELY**⁹ dans son ouvrage conduisent à l'utilité des réseaux neuronaux pour les prévisions financières. Dans son livre, **GATELY** (1996) décrit la méthodologie générale à suivre pour établir, former, et examiner un réseau neuronal sous forme d'un logiciel disponible dans le commerce.

Dans l'exposé, il a été utilisé un modèle de réseau neuronal (appliqué à l'indice, objet de notre étude) : **S&P500 GATELY**.

Le modèle de **GATELY** ayant été légèrement amélioré récemment, les deux modèles ont été comparés à un modèle de régression multiple. En combinant des probabilités historiques de mouvement du marché avec la probabilité modèle d'exactitude, la probabilité conditionnelle ainsi fournie a pu s'avérer être un outil essentiel pour la prise de décision boursière. Jusqu'à une date récente, la recherche de réseaux neuronaux, comme sous-

⁹ . GATELY EDWARD J., (1996), *Neural Networks for Financial Forecasting*, John Wiley & Sons, New York, New York.

ensemble de l'intelligence artificielle, était limitée au monde des universités, des organismes de recherches, et des grandes sociétés de placement en valeurs mobilières.

L'entrée du réseau neuronal comme outil de l'investisseur individuel fut une des nombreuses conséquences de la croissance explosive des ordinateurs personnels. Les logiciels de réseau de neurones sont facilement disponibles et leurs publicités largement répandues en magasins, en particulier ceux de l'analyse technique des titres et des produits. Par contre on ne parle pas du degré de compétence et de la quantité d'effort exigés pour réaliser un modèle efficace. **GATELY** (1996) décrit le développement d'un réseau neuronal qui a prévu une croissance du marché avec une probabilité de 93,3%, et une baisse du marché avec une probabilité de 88,07%, dans le S&p500. La théorie du réseau neuronal de fond s'est développée dans la recherche de la conception de machines avec des capacités cognitives.

1. Un réseau neuronal est un programme machine ou une machine câblée qui est conçue pour apprendre, semblable en quelque sorte au cerveau humain. **HAYKIN** (1994)¹⁰ décrit les réseaux neuronaux comme une machine adaptative ;
2. Un réseau neuronal est un processeur qui a la propriété normale de stocker des connaissances empiriques et de les rendre disponibles.

Il ressemble au cerveau sur deux points : la connaissance est acquise par un apprentissage, et des forces de raccordement entre les neurones connues sous le nom de poids synaptiques sont employées pour stocker la connaissance.

La cellule fonctionnelle de base d'un cerveau et du réseau neuronal est le neurone (adaptation du neurone humain par **BEALE** et **JACKSON** (1990)¹¹).

Depuis le début de la décennie 1990, les applications financières mettant en oeuvre des réseaux de neurones artificiels se sont multipliées. D'une façon générale, elles tombent

¹⁰ . HAYKIN S., (1994), *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, Macmillian College Publishing Company, New York, New York.

¹¹ . BEALE R., JACKSON T., (1990), *Neural Computing: An Introduction*, Adam Hilger, Bristol, England.

dans l'une des trois catégories suivantes : la prévision des séries temporelles, les substituts aux systèmes experts, et les applications de classification. Pour notre recherche nous intéressons à la prévision des séries temporelles.

La prévision des séries temporelles semble constituer aujourd'hui un champ d'investigation privilégié, à tel point que **AZOFF** (1994)¹² lui consacre un ouvrage entier. Typiquement, dans les prévisions à une seule variable, il s'agit d'utiliser le passé de la variable afin d'en extraire des relations permettant de prédire sa valeur future. Mais, à supposer que ces relations existent réellement, le problème le plus délicat à résoudre est d'en déterminer leur forme qui, le plus souvent n'est pas linéaire. Cela a d'ailleurs conduit à développer ces dernières années, des modèles de prévision statistiques non linéaires. Mais, les chercheurs qui se tournent vers les réseaux de neurones artificiels comptent sur leur capacité à découvrir des formes récurrentes dans les séries, dont la complexité pourrait échapper aux modèles statistiques.

L'arrivée de ce nouvel instrument d'analyse permet en particulier de relancer la question de l'efficacité des marchés. On s'interroge, en effet, sur la question de savoir si la puissance des réseaux de neurones ne serait pas de nature à mettre en lumière certaines formes d'inefficacité qui auraient, jusqu'à maintenant, échappées aux outils d'analyse classiques.

En utilisant simplement le signe des taux de rendement passés de six titres américains, **TSIBOURIS** et **ZEIDENBERG** (1995)¹³ reconnaissent un certain pouvoir prédictif au réseau testé. Cependant, si les résultats sont satisfaisants sur l'échantillon d'apprentissage, ils sont moins convaincants sur l'échantillon test, comme l'avait déjà remarqué **WHITE** (1988) à partir du titre IBM. Plus pertinents sont les résultats obtenus par **AVOUYI-DOVI** et **CAULET** (1995) qui obtiennent des performances remarquables en termes de prévision d'indices boursiers (DAX, CAC40) et de taux de change (Mark/Dollar), face à des

¹² . AZOFF E., (1994), *Neural network time series forecasting of financial markets*, WILEY finance Edition, New York, pp 196.

¹³ . PAQUET P., (1997), *L'utilisation des réseaux de neurones artificiels en finance*, document de recherche n° 1-1997. Laboratoire Orléanais de Gestion.

modèles statistiques traditionnels de type ARMA.

Plus récemment, les réseaux de neurones ont été utilisés pour prévoir la volatilité des indices boursiers des grandes places financières (**DONALDSON** et **KAMSTRA**, 1996).

Mais, c'est naturellement en multipliant les variables d'entrée que les réseaux fournissent les meilleurs résultats. Ainsi, **KIMOTO** et **YODA** (1993) rapportent qu'à partir d'un réseau comprenant 5 variables en entrée, ils arrivent à prédire de façon relativement satisfaisante l'évolution du **TOPIX** (Tokyo Stock Index) sur la période 1989-1992. Une simulation de stratégie d'investissement dérivée des résultats du modèle aurait rapporté une rentabilité moyenne annuelle de 1,60% alors que dans le même temps l'indice chutait de 20,63%.

Des tests furent aussi entrepris avec quelques succès à partir des contrats à terme sur l'or et sur l'indice S&P (**GRUDNITSKI** et **OSBURN**, 1993 ; **GRUDNITSKI** et **QUANG DO**, 1995) en utilisant un réseau comportant des variables contextuelles.

Enfin, pour rester dans le domaine des marchés financiers, signalons encore que des travaux ont porté sur les options. En particulier, **HUTCHINSON** et al. (1994) montrent qu'un réseau entraîné sur un échantillon de données journalières observées sur deux années, retrouve la formule de **BLACK** and **SCHOLES** (1973).

La question de la prévision des taux de change, a aussi été explorée à plusieurs reprises (**RAWANI** et al, 1993 ; **REFENES** et al, 1993 ; **AZOFF**, 1994 ; **MEHTA**, 1995 ; **A VOUYI-DOVI** et **CAULET**, 1995)¹⁴.

En particulier, un travail original de **REFENES** et **ZAIDI** (1995) montre comment les prévisions de taux de change peuvent être améliorées en combinant les recommandations issues de méthodes classiquement utilisées par les professionnels, dans un réseau. Ainsi, sur le taux de change **USDIDEM**, l'application des recommandations du réseau donne une

¹⁴ . Ibid

rentabilité de 18% sur une base annuelle, lorsque les stratégies de moyenne mobile et valeur moyenne donnent des rentabilités de 12,3% et de 13,1%.

La recherche qui s'occupe de l'application des réseaux neuronaux à la finance, s'est surtout concentrée sur la comparaison entre les méthodes du non -linéaire et la méthode « analyse discriminante » (MDA). Par exemple, en utilisant un échantillon de 58 entreprises, **TURBAN** (1996)¹⁵ a comparé les prédictions de MDA et les prédictions d'ANN, et il a constaté qu'ANN est meilleur que MDA. L'étude a donc conclu que la méthode d'approche d'ANN peut améliorer la qualité de la prise de décision d'un investisseur. Cependant, ces résultats ne permettent pas de dire si ANN a la capacité de faire obtenir des gains exceptionnels.

Des réseaux neuronaux artificiels ont été testés comme moyens de prévisions boursières et ils ont semblé gagner l'attention grandissante du public. Plusieurs sociétés commerciales d'informatique essaient maintenant de vendre des programmes de réseaux neuronaux artificiels qui exécutent l'analyse financière. Ils promettent d'aider et d'apporter leur soutien aux investisseurs ; ils utilisent les données historiques pour développer des règles du commerce.

La capacité de ces programmes de favoriser l'obtention de recettes exceptionnelles fondée sur les modèles rencontrés dans les recettes historiques n'est pas liée à l'hypothèse de l'efficacité du marché.

¹⁵ . TURBAN E., (1993), *Neural Networks in Finance and Investing*, Chicago, Probos.

2- METHODOLOGIE

En ce qui concerne l'aspect méthodologique du développement de ce travail de recherche, les principes de « l'École de Chicago » ont été scrupuleusement observés, et en particulier les normes imposées aux travaux de recherche scientifique et académique selon les conseils des professeurs **WAYNE C. BOOTH**, **GREGORY G. COLOMB** et **JOSEPH M. WILLIAMS** (cf. *The Craft of Research*, The University of Chicago Press, 1995).

Selon ces principes, toute recherche commence par un étonnement devant une situation ou un questionnement sur un phénomène, et ceci aboutit à la définition de l'objet de la recherche en vue d'explorer des solutions nouvelles. Cela dit, la recherche consiste également à apporter une perspective nouvelle sur des méthodes ou concepts déjà connus. La revue critique de la littérature permet alors au chercheur d'effectuer une mise au point sur le sujet et de clarifier également chaque problème spécifique et ses développements actuels. Cette revue permet en outre au chercheur de concentrer son champ d'exploration sur des thèmes précis, focalisés et solidement établis par les hypothèses de base qui conditionnent ces explorations. Ainsi, il est nécessaire au chercheur de respecter une méthodologie solide afin d'éviter des résultats biaisés par divers facteurs.

Voici le bref exposé de ces quelques points essentiels.

2.1. OBJECTIFS ET QUESTIONS DE RECHERCHE

2. 1.1. Objectifs

Comme les informations économiques, politiques, culturelles constituent autour de l'agent financier humain (investisseur) un apport aussi indispensable que peuvent l'être les matières premières, et que leur importance pour mener toute action de décideur n'est plus à démontrer, elles constituent donc un support indispensable à la décision. Dans ce sens, et en

relation avec l'énoncé du problème, notre recherche s'est articulée autour des objectifs suivants :

1. Identifier et étudier les modèles de prise de décision ;
2. Identifier et étudier les méthodes et les systèmes d'aide à la décision ;
3. Etudier et analyser les différents Univers de référence des méthodes d'aide à la décision ;
4. Identifier les méthodes de prévision du marché d'actions ;
5. Comparer entre elles les deux méthodes les plus connues (Méthodes statistiques traditionnelles ARIMA Autorégressifs Intégrés Mobile, versus Méthodes d'intelligence artificielle, Réseaux de neurones artificiels ANN) ;
6. Aider le décideur (investisseur) à prendre des décisions les plus performantes possibles et à bien gérer son portefeuille ;
7. Ouvrir une nouvelle perspective sur des méthodes récentes d'aide à la décision par l'utilisation de l'intelligence artificielle.

Les objectifs de cette recherche sont d'aider le décideur (investisseur) à bien comprendre le contexte de prévision du marché financier (l'indice du marché d'actions). Cela doit le conduire à prendre une décision rationnelle en vue d'acheter et de vendre des actions au moment propice et d'éviter au maximum de prendre un risque de perte.

De plus, cette étude a pour but d'évaluer les méthodes et les techniques utilisées dans la détection du mouvement de l'indice du marché et d'en apprécier l'efficacité. En particulier elle nous aidera à estimer la méthode la plus performante dans la prédiction de l'indice dans un marché inefficace dont les informations financières sont incomplètes.

Dans cette recherche nous examinerons et nous analyserons l'utilisation des réseaux neuronaux comme outil de prévision de l'indice du marché des actions (marché inefficace ou faiblement efficace). Nous allons appliquer deux méthodes quantitatives différentes : réseaux neuronaux et statistique traditionnelle (ARIMA), et constaterons celle qui donne le meilleur résultat.

En conclusion, cette recherche déterminera l'intérêt pratique à employer les réseaux neuronaux comme outil de prévisions pour aider l'investisseur individuel à prendre une bonne décision.

Cette étude est parmi les premières études portant sur les bourses arabes en général et égyptienne en particulier.

2.2.2. La problématique de la recherche

Cette recherche a pour but principal d'analyser la façon dont les nouvelles approches mathématiques et informatiques comme les réseaux de neurones (ANN, artificial neural networks) peuvent contribuer à une meilleure prévision des valeurs des actions du marché boursier en comparaison avec les méthodes habituellement utilisées dans ce domaine. Ce problème est d'autant plus intéressant que les méthodes classiques apparaissent souvent défaillantes dans le contexte de la prévision ou de la classification.

Partant d'un nouveau modèle neuronal appliqué à l'analyse de séries chronologiques sur les valeurs de la Bourse, on arrive à des résultats significatifs tant sur la performance prévisionnelle du modèle que sur ses capacités de détection. Cela montre l'intérêt de cette nouvelle approche pour une meilleure prévision, obtenue grâce à la grande souplesse de ces méthodes.

Nous pouvons résumer ainsi les questions principales de notre recherche :

1. Pourquoi nous avons choisi le marché financier d'Egypte ? la Bourse Egyptienne ?
2. Y a-t-il une spécificité ou une spécialité concernant cette bourse ?
3. Pouvons-nous appliquer les deux types de méthodes différentes (modèle ARIMA et Réseaux de Neurones Artificiels) pour prévoir l'indice de marché, en sachant que les deux modèles ont été déjà utilisés dans plusieurs marchés d'Europe et des Etats Unis ?
En d'autres mots nous allons essayer d'appliquer les deux types de méthodes différentes au niveau des marchés financiers inefficients ou faiblement efficients.
4. Les réseaux neurones peuvent-ils exactement prévoir un indice du marché boursier ?

5. Les réseaux neurones peuvent-ils être employés comme outil pratique de prévisions par différents investisseurs ?
6. Les réseaux neurones peuvent-ils être plus performants que d'autres méthodes classiques ?

2. 2. Les hypothèses de la recherche

H1- la décision boursière est une décision

- non structurée ;
- faiblement programmée ;
- dans un contexte incertain.

H2- les méthodes quantitatives classiques d'aide à la décision boursière sont non efficaces pour prévoir l'indice du marché face à d'autres méthodes comme les réseaux neurones.

H3- le marché financier égyptien est inefficent.

H4- la méthode de réseaux neurones artificiels donne des résultats plus exacts que la méthode ARIMA.

Nous considérons que la notion générale de décision que nous allons définir en première partie reste valable pour la décision boursière par un agent financier humain (l'investisseur individuel).

Nous avons choisi la bourse d'Egypte (CASE) parce que c'est un bon exemple pris parmi les autres bourses du monde arabe, et plus précisément parce que la SYRIE est sur le point de créer une Bourse. Il y a une très grande similitude entre les deux pays si on observe les circonstances dans lesquelles ils sont placés, les infrastructures industrielles et commerciales, les politiques monétaires, etc...

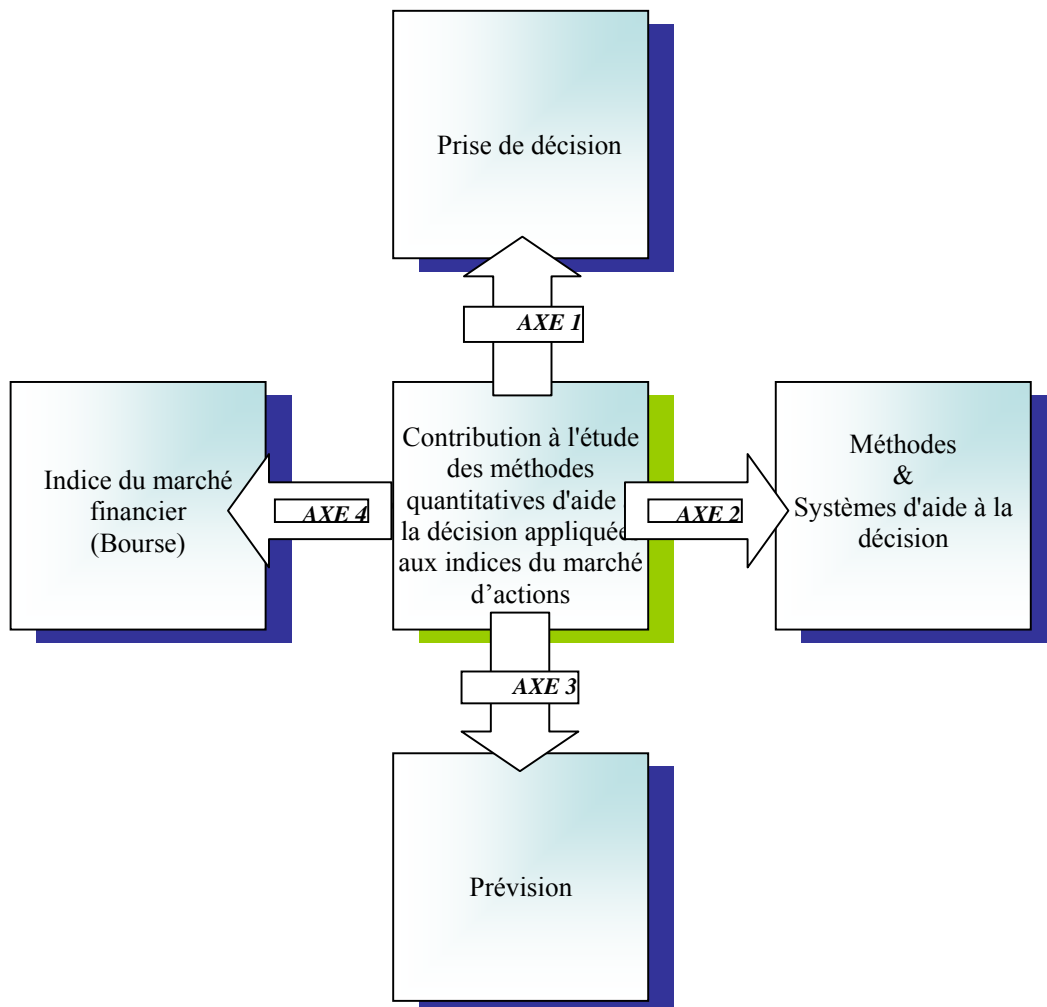
Donc, il nous a paru pertinent de prendre et d'analyser la Bourse Egyptienne pour prévoir, par analogie, le fonctionnement de la future Bourse Syrienne.

Une réflexion sur le thème de notre recherche nous a conduit à travailler autour de quatre axes principaux :

- 1- Les Méthodes Quantitatives (aide à la décision) ;
- 2- Prise de décision ;
- 3- Indice du marché (Bourse) ;
- 4- Prévission.

Donc, nous avons commencé dans cette recherche par établir les bases essentielles de l'analyse et des méthodes d'aide à la décision, puis nous sommes passés à la phase d'applications au marché des actions. Les axes sont représentés sur la figure suivante :

Figure 1: Les axes de la thèse



Source : auteur

Nous avons considéré les résultats de plusieurs études qui ont été menées sur des marchés efficients comme point de départ de notre recherche, mais ces travaux ne traitaient pas du cas où le marché des actions est inefficace, qui est justement celui de notre étude.

2. 3. Termes techniques et style de rédaction

Dans le domaine des réseaux de neurones, comme dans beaucoup d'autres domaines scientifiques récents, la plupart des publications académiques s'effectuent en langue anglaise. Se posent donc les problèmes de la traduction des termes techniques et parfois ceux du style du langage scientifique. Aussi, le lecteur de ce document est prié de bien vouloir excuser certaines imperfections de rédaction ainsi que certaines tournures et expressions pouvant relever de l'anglais. Pour cette raison nous allons rédiger un index, mais nous présentons ici les mots clés :

Prise de la décision- aide à la décision- méthodes quantitatives- prévision- séries chronologiques- Réseaux neurones artificiels – l'indice du marché des actions – la Bourse.

2. 4. Plan de la thèse

L'objectif de ce travail n'est pas de proposer une démarche « nouvelle » qui puisse être appliquée dans n'importe quelle situation concernant la Bourse, car dans des environnements différents le contexte propre à une Bourse peut être déterminant. Notre ambition est « d'aider » les investisseurs en leur proposant une démarche « générale » qui réunisse les aspects empirique et pratique du problème à résoudre. Bien entendu, cette démarche générale peut être l'objet de modifications dans certains cas d'application. Cependant, l'approche adoptée permet de fournir un modèle valable pour les marchés financiers arabes et en particulier le marché égyptien.

Cette thèse est constituée de 2 grandes parties. La première partie est consacrée à l'analyse et aux méthodes d'aide à la décision, la deuxième partie à la prévision de l'indice du marché et aux méthodes d'aide à la décision boursière (comparaison et application)

La première partie est formée de 4 chapitres ;

Le premier chapitre présente le concept de décision. Dans ce chapitre nous donnons la définition de la décision, les différents types de décision, ainsi que les bases et la typologie de la prise de décision.

Cet exposé nous permet dans le deuxième chapitre de bien identifier les différentes théories et modèles du processus de décision.

Puis le troisième chapitre donne rapidement les méthodes traditionnelles décrites dans la littérature concernant les décisions ; de plus ce chapitre nous permettra de cerner les caractères spécifiques des méthodes traditionnelles d'aide à la décision.

Dans le chapitre quatre, nous décrivons des méthodes modernes d'aide à la décision : ce sont des systèmes informatiques plus détaillés et capables de donner des résultats plus précis que les méthodes statistiques traditionnelles.

La deuxième partie est constituée des chapitres cinq à huit.

Dans le chapitre cinq nous parlons de l'analyse technique du marché financier et de ses répercussions sur la décision boursière.

Le chapitre six propose, à l'aide de deux méthodes différentes, une démarche « globale » d'aide à la décision boursière ayant pour but de prévoir correctement l'indice de la Bourse et ses mouvements en hausse ou en baisse, de façon à bien maîtriser son portefeuille.

Puis le chapitre sept présente et explique le statut du marché des actions en Egypte, avec ses causes et ses conséquences.

Enfin, le chapitre huit est consacré à la mise en application sur le marché égyptien de deux méthodes, dont on compare les résultats pour en déduire la plus efficace.

La conclusion reprend les grandes lignes de cette thèse. Elle propose également diverses perspectives de recherche à partir de ce travail, en particulier sur l'avenir boursier et financier de la SYRIE.

Chapitre 1

ANALYSE DE LA DÉCISION

L'activité du dirigeant est souvent perçue au travers de la fonction jugée la plus caractéristique : la prise de décision. Gérer, c'est **décider**.

Afin d'expliquer le fonctionnement et l'apport des méthodes d'aide à la décision en général et, en particulier à la décision boursière, précisons la définition de la décision et les différents types de décisions ainsi que les bases sur lesquelles est fondée la prise de décision et sa typologie.

1- Définitions

L'analyse de la gestion montre l'importance de la décision qui est parfois définie comme « *La science des choix*. ». Décider en Latin signifie trancher.

Exemple : nos concurrents grignotent des parts de marché, quelle décision prendre pour regagner nos positions face à leurs actions ?

Une décision est un choix effectué à un moment donné, dans un contexte donné parmi plusieurs possibilités, pour impulser des actions d'ampleur et de durée variables.

Une décision est un choix, entre plusieurs solutions possibles, d'une action portant sur la mise en œuvre de ressources ou la détermination des objectifs, compte tenu d'un ou plusieurs critères d'évaluation des solutions.

- Selon **LEMOIGNE**, "la prise et l'exécution des décisions sont les buts fondamentaux de toute organisation, de tout management. Toute organisation dépend,

structurellement, de la nature des décisions qui sont prises en son sein par des décideurs, qu'ils soient individuels ou collectifs, etc."

- **MEBESE** donne la définition suivante : « la décision est le comportement de l'homme qui opère des choix dans une situation d'information partielle. ».
- **NIZARD**¹⁶ quant à lui propose une autre définition : « La décision est une ligne d'action consciemment choisie parmi un certain nombre de possibilités, dans le but de réduire une insatisfaction perçue face à un problème, ce choix suppose un traitement d'informations selon des critères de choix et une volonté de réalisation. ».
- Selon l'opinion de **MITZBERG** « une décision, qu'elle soit individuelle ou fondée sur un travail de groupe, peut être définie comme l'engagement dans une action, c'est-à-dire une intention explicite d'agir ». D'après **LÉVINE** « le but d'une décision est de résoudre un problème qui se pose à l'organisation ou à l'individu.»

Mais la décision peut correspondre à une modification de l'environnement (comportement réactif) ou au désir de saisir une opportunité et ainsi de changer l'environnement (comportement d'anticipation).

Ces diverses définitions nous permettent de distinguer les différents types de décisions : la décision individuelle et la décision collective/distribuée. Cette distinction se fera en fonction du contexte de la décision c'est-à-dire du domaine, de l'objet, de la nature, de la portée, et de l'auteur ou des auteurs de la décision.

Ainsi l'analyse de la décision montre qu'il s'agit d'un processus qui consiste à être, en permanence, placé devant des choix. Quelle que soit la définition retenue (celles énoncées ci-

¹⁶ . NIZARD J., (1986), *50 mots clefs pour le management*, Privat, Toulouse.

dessus ou d'autres), il est possible de repérer trois points essentiels pour caractériser une décision :

- la perception d'un problème et la nécessité de le résoudre ;
- l'utilisation d'informations pertinentes pour mieux comprendre ce problème, ses dimensions, les alternatives possibles ;
- des critères de sélection pour aboutir à un choix.

Une décision est un choix entre une ou plusieurs possibilités et si on applique cette définition simple et réaliste au décideur dans l'entreprise on comprend que son comportement consiste à choisir : il décide de son action. La décision est à la fois l'élément moteur et le point culminant de gestion.

Une décision signifie exactement une coupure, une rupture. C'est un nouvel état de choses, introduit dans la succession historique des faits. On doit cependant observer que la décision s'inscrit dans un processus temporel qui comporte des moments extrêmement importants tels que la localisation d'un problème ou l'analyse des différentes possibilités de choix.

La décision, au terme du processus décisionnel, peut être définie comme étant une ligne d'action consciemment choisie parmi un certain nombre de possibilités dans le but de parvenir à un résultat désiré. Dès lors on peut retenir trois idées importantes dans cette formulation :

- La décision implique le choix.
- La décision implique un processus mental.
- La décision a un but.

Considérer la décision comme étant la conclusion d'une réflexion n'exclut pas la possibilité que cette réflexion serve de point de départ à de nouvelles investigations.

- Les auteurs **MILLER** et **STAR** ont exprimé cette éventualité en ces termes : « décider de décider. » Pour eux le problème de la décision se résume à déterminer la façon de procéder pour prendre des décisions satisfaisantes et rationnelles.

- Pour Chester I. **BARNARD** qui a montré comment et pourquoi le décideur essaye d'éviter la décision (en particulier à cause de la capacité décisionnelle des hommes) l'acte de décision comporte deux variables : *la fin* et *les moyens*.

Cet écrivain dynamique va jusqu'à dire que l'art décisionnel le plus raffiné pour les cadres dirigeants consiste à ne pas décider sur des questions qui ne sont pas pertinentes au moment de la pré-action, c'est -à -dire à ne pas décider prématurément, à ne pas décider quand d'autres auraient pu le faire.

La plupart des ouvrages de gestion ne donnent pas de définitions spécifiques de la décision. Les approches qui ont été tentées se limitent trop souvent à la description détaillée des procédés opératoires employés dans la décision tels que : l'analyse décisionnelle et statistique.

- Ainsi **FISHBURN** dit que résoudre le modèle décisionnel consiste à trouver une stratégie pour l'action dont la valeur relative espérée est au moins aussi grande que la valeur relative espérée dans n'importe quelle autre stratégie : dans un ensemble spécifié de critères celui qui prend la décision choisira la stratégie correspondant à l'optimisation de la valeur relative espérée totale.
- La définition que **CHURCHMAN** donne du décideur corrobore notre conception : le décideur est l'homme qui choisit parmi plusieurs possibilités et il doit décider du choix qui le conduira à un objectif désiré ou à un ensemble d'objectifs désirés.

On peut conclure que la décision est un processus de résolution de problèmes qui met en oeuvre des connaissances de natures très variées. La décision simple correspond à la classe d'un « problème relativement bien défini » que l'on trouve dans la littérature de la science cognitive.

Ces différentes définitions mettent en lumière les possibilités qui se présentent au décideur. Celui-ci ne choisira parmi ces possibilités qu'après en avoir évalué leurs conséquences.

2-Les bases de la prise de décision

2.1. Présentation historique

Que les problèmes soient simples ou complexes, le décideur est conduit à prendre de multiples décisions. Comment les prend-il, sur quelles démarches repose sa prise de décision ?

- **SIMON** (1957), dans son étude des processus de décisions, et **NEWELL** et **SIMON** (1972) dans leurs recherches sur la résolution de problèmes dans les organisations, ont établi que les décideurs sont limités dans leurs connaissances et dans leurs aptitudes à résoudre les problèmes. Ainsi dans leurs tâches de résolutions de problèmes complexes, les individus conçoivent-ils, en cohérence avec leurs capacités cognitives limitées, des méthodes simples qui permettent de réduire les procédures de traitement de l'information.
- **SIMON** établit (1957) que « Le choix est toujours exercé au regard d'un schéma simplifié, limité et approximatif de la situation réelle.»¹⁷ Ce principe de la "rationalité limitée" implique que le décideur n'utilise pas systématiquement toutes les informations dont il dispose ou dont il pourrait disposer afin de prendre une décision ou d'adopter une solution qu'il juge satisfaisante.
- **LINDBLOM** (1965) arrive aux mêmes conclusions dans son étude sur les décisions complexes prises dans le cadre de l'administration publique. Il établit que l'analyse des problèmes et de leurs solutions est limitée par l'impossibilité de prendre en compte et d'évaluer toutes les solutions possibles : le décideur choisit généralement dans un cadre de comparaisons limitées et successives de solutions alternatives.
- Dans ses travaux plus récents, **SIMON** (1978,1980) affirme nettement que "La science cognitive a toutes les chances de demeurer une science des systèmes qui satisfont –qui

¹⁷ . MERUNKA D., (1987), *la prise de décision en management*, Vuibert gestion, paris.

trouvent des solutions acceptables à leurs problèmes – plutôt qu’une science des systèmes qui optimisent et s’adaptent de manière parfaite à leur environnement”¹⁸.

2.2. Les ressources de la prise de décision

La ressource rare réside dans les capacités d’évaluation de l’esprit humain ; ces capacités d’évaluation ne sont pas à considérer comme une faiblesse regrettable mais sont dans la nature des choses et par conséquent, pour surmonter les difficultés liées au calcul et à la nécessité d’évaluer il ne suffit pas de construire de plus gros ordinateurs ou de rechercher des individus plus intelligents.

Les managers utilisent plusieurs sources d’information et de méthodes de traitement de l’information pour aboutir à la prise de décision. Un grand nombre de décisions sont prises en partie sur la base de l’expérience cumulée et en partie sur la base de "modèles" qui sont intuitifs, emmagasinés dans le cerveau du décideur et ne sont pas clairement formulés sous forme analytique. Toutefois, d’autres décisions sont prises en se servant de systèmes d’aide à la décision plus formalisée.

2.2.1. Les expériences

L’expérience joue un rôle capital dans la qualité de la prise de décision. Un grand nombre de décisions deviennent en fait simples et routinières parce que le décideur a déjà rencontré le même type de problème et possède une bonne évaluation de ce qu’il est souhaitable de mettre en œuvre.

Mais l’expérience n’a de vraie valeur que dans les cas où le problème posé est vraiment semblable à un autre précédemment rencontré.

Dans le cas de problèmes complexes, l’expérience aide cependant le décideur à identifier les critères de décisions et à évaluer leur importance. D’autre part, quand une décision est à prendre, il est normal de rechercher une aide dans les événements passés : si on s’est trouvé dans une situation semblable à celle qui appelle la décision ou si on en a été le

¹⁸ .Ibid.

témoin, on a alors une meilleure compréhension du problème pour en tirer les actions possibles. Chaque individu examine et appréhende les événements à l'aide des concepts auxquels il est habitué : il hésite à entreprendre des démarches étrangères à sa propre expérience, et parfois même s'y oppose.

L'expérience est un guide pour la prise de décision. Elle permet de savoir ce qu'il faut faire dans des situations particulières. Le principal mérite de l'expérience, pour la prise de décision, réside peut-être dans la possibilité d'opérer des discriminations et de généraliser des situations passées.

Ainsi, on retrouve des situations semblables accompagnées des décisions qui ont été prises, et des situations différentes accompagnées également des décisions qu'elles ont appelées.

Il se peut que l'expérience tende à introduire un conservatisme excessif dans la prise de décision, mais cela n'a rien d'inévitable. "Rien ne réussit comme le succès", mais dans une économie qui change rapidement, le succès des décisions passées ne garantit pas leur succès à l'avenir, pas plus, en vertu du même raisonnement, qu'un échec passé ne signifie échec assuré à l'avenir. Une décision assise sur l'expérience utilise un savoir pratique, associé à la meilleure réflexion de la personne qui décide, elle implique donc des ingrédients véritables et éprouvés, et se veut acceptée par les autres.

Par ailleurs, il se peut que les décisions assises sur l'expérience soient dictées par des événements dépassés. Le facteur temps est important : les enseignements de l'expérience de l'année précédente ne conviennent plus nécessairement aujourd'hui.

De plus, il se peut que l'expérience de la personne qui décide soit relativement limitée, et que la décision se fonde sur un bagage trop restreint. On peut aussi exagérer l'importance de la tradition, et maintenir le statu quo de façon trop rigide, si bien que les progrès et les améliorations sont indûment retardés. Un décideur doit se servir de son expérience, mais ne doit pas la suivre aveuglément.

2.2.2. Les standards

Les entreprises bâtissent des politiques standard- mais flexibles- ou des règles de décisions standard en partant de leurs expériences passées. Les résultats de pré-tests de créations publicitaires ou de tests de produits, la rémunération du personnel, la gestion de la trésorerie, peuvent être interprétés ou fixés en fonction de résultats ou de pratiques standard calibrées à partir des expériences passées.

Ceci aide à la prise de décision (en fournissant un cadre de référence) mais peut également nuire à la créativité ou à la recherche de solutions originales.

Par ailleurs les standards de l'entreprise peuvent prendre une tendance plus pratique s'ils s'adaptent aux environnements (économique, politique, etc.)

2.2.3. Les données et les faits

La complexité même des phénomènes en science de gestion conduit les managers à collecter un grand nombre de données sur le marché, les produits, les concurrents, les fournisseurs, les clients, ou plus généralement sur l'environnement.

Les recommandations d'actions ou les plans d'actions sont toujours justifiées par des faits.

Cependant, l'interprétation des faits repose en réalité sur l'expérience ou sur une série d'hypothèses qui sont le plus souvent peu clairement formulées.

On considère très généralement que les faits forment une base excellente à partir de laquelle on peut prendre des décisions. On accepte l'adage " La décision doit reposer sur les faits". La décision est alors vraiment enracinée dans les données factuelles ; cela implique que les prémisses qui fondent cette décision sont saines, solides et parfaitement applicables à la situation considérée.

La mise en place généralisée d'ordinateurs permet de plus en plus d'utiliser les faits dans la prise de décision.

L'information, en tant qu'instrument de gestion, a acquis une grande importance ; dans ce domaine, les activités sont bien déterminées et font appel à des techniques et à des équipements sophistiqués. Mais les faits ne sont pas toujours faciles à établir : les connaître peut être trop long dans le temps, trop difficile, et par conséquent trop coûteux. Une information complète sur les faits est un idéal à rechercher, mais cet idéal est rarement atteint, et il arrive fréquemment qu'un décideur doive prendre une décision sans disposer d'autant de faits qu'il le souhaiterait. Il faut considérer les faits, même s'ils conduisent à une conclusion désagréable, il faut les diagnostiquer, classer et interpréter soigneusement pour parvenir à la décision.

Au cours du processus par lequel on place les faits dans une perspective correcte, en faisant ressortir les informations essentielles, les qualités propres de la personne qui prend les décisions interviennent : elle doit faire preuve d'habileté, d'expérience et de compétence, et non se contenter de réunir tous les faits disponibles.

En réalité, les faits seuls suffisent rarement dans la prise de décision. L'imagination, l'expérience, les convictions mêmes sont nécessaires pour interpréter les faits dans la perspective qui convient et pour les utiliser de façon profitable. En s'appuyant sur les faits, la personne qui prend une décision y trouve la confiance et le courage d'aller de l'avant, lorsque son imagination et son expérience lui suggèrent que cette décision est correcte. Mais il reste toujours une part d'inconnu quelle que soit la technique utilisée. Et c'est bien ainsi, parce que c'est ce qui rend le travail d'un décideur excitant.

2.2.4. L'intuition ou logique

Une décision fondée sur l'intuition se caractérise par l'utilisation de pressentiments des sentiments intimes de la personne qui prend la décision. Les suggestions qui lui sont faites, les influences qui s'exercent sur lui, ses préférences et son profil psychologique y tiennent une grande place. L'élément subjectif est essentiel ; beaucoup pensent que celui qui a de l'intuition, une capacité de "prescience" est mieux à même d'anticiper l'avenir lorsque les circonstances ou les données font défaut.

Il est plus probable que celui qui prend des décisions en se fiant à l'intuition est influencé inconsciemment par les connaissances et la formation qu'il a acquises autrefois et par ses antécédents. Mais généralement ces influences n'apparaissent pas de façon explicite ; il dit le plus souvent : "c'est comme cela que je le sentais."¹⁹ Une personne qui se fonde sur son intuition ne prend pas ses décisions selon un système fixe et régulier.

Chaque problème est apparemment traité séparément ; mais on peut fréquemment observer une certaine cohérence dans le type des décisions adoptées. Celui qui fonde ses décisions sur l'intuition est généralement une personne très active, agissant vite, posant des questions incisives sur les situations pour trouver des solutions inhabituelles à des problèmes difficiles. Une telle personne se fie beaucoup à son instinct, à son sentiment personnel de la situation, mais tempère ses réactions par du réalisme. Souvent, une telle personne possède une grande capacité à pressentir les événements et à anticiper les décisions essentielles. Elle n'est jamais pleinement consciente de la cause exacte de son action ou de la raison précise qui l'a poussée à l'entreprendre. Elle pratique habituellement un processus mental excessif, ce qui la pousse parfois à prendre des décisions irrationnelles.

Les managers qui souhaitent développer leur intuition peuvent s'efforcer :

- De s'impliquer davantage en confrontant leurs idées aux faits et aux expériences qui interviennent dans des domaines où ils devront plus tard prendre des décisions ;
- De prendre dans la pratique des décisions en suivant leur intuition et de conserver un état des résultats obtenus par ces décisions ;
- De prendre davantage conscience du fait que des pressentiments peuvent aider à prendre des décisions.

Enfin, décider c'est imposer une volonté et l'on risque d'assister à des heurts entre les différents acteurs, si la volonté de l'un s'oppose à celle des autres. Pour réduire ce risque, on

¹⁹ .R.TERRY; G.FRANKLIN, (1985), *les principes du management*, Economica.

s'efforce de faire converger toutes les idées : pour cela il est souhaitable de faire de l'entreprise un foyer où se concentrent les valeurs et les buts partagés par les différentes parties prenantes : le "top management", le "middle management", les hommes des centres opérationnels.

On assiste ainsi à la naissance, sous des formes diverses, de ces tentatives répétées de décentralisation, de participation à la prise de décision, afin que chaque personne dans l'entreprise quel que soit son rang puisse être motivée et prenne part de façon active aux choix. Tel est l'objet de ces fameux cercles de qualité, que l'on a pu considérer comme typique d'un management à la japonaise.

2.2.5. Les opinions mûrement réfléchies

Beaucoup de managers se fondent sur des opinions mûrement réfléchies pour prendre leurs décisions. Ils font alors appel à une logique sous-jacente, logique qui est tirée d'une analyse soigneuse de la situation.

En outre, la décision envisagée est quantifiée : pour cela des statistiques sont rassemblées et analysées.

Le plus souvent le contenu statistique est techniquement valide et acceptable, mais il arrive que soient utilisées des techniques statistiques inappropriées dans la collecte des données, ou que serve seulement une fraction très faible et parfois non représentative des données collectées.

Les managers ont attaché plus de prix aux opinions mûrement réfléchies à mesure qu'ils ont prêté plus d'attention au collectif de l'entreprise et au fait que ce dernier accepte les décisions.

Ils souhaitent alors qu'une procédure rationnelle, même si elle reste modeste, préside à leur prise de décision.

2.2.6. Les modèles et les méthodes

L'utilisation de modèles d'aide à la décision devient de plus en plus fréquente dans le domaine de la gestion. Les modèles d'évaluation des produits et de choix des marques, les

modèles de pré-tests des produits nouveaux, les modèles de prévisions, les modèles de gestion de production, les modèles d'évaluation des sociétés, les modèles d'évaluation des hommes, sont les plus utilisés. L'utilisation ou l'élaboration de modèles implique de la part des managers une définition précise du problème à résoudre.

De nombreuses décisions de gestion sont déterminées à l'aide de modèles et de méthodes (quantitatives) qui entrent pour une part importante dans les études modernes de gestion.

Actuellement la plupart des méthodes impliquent des mesures. Si on a toujours utilisé des mesures dans la gestion, le développement et la mise en œuvre de techniques quantitatives ont fait leur véritable apparition au milieu des années quarante. Cette brusque apparition tenait surtout à des améliorations dans les techniques de mesure, à l'existence d'ordinateurs, à un intérêt accru pour les mathématiques appliquées, enfin au désir d'appliquer des démarches plus logiques aux problèmes de gestion du moment.

Le plus souvent, l'utilisation des méthodes (modèles) quantitatives pour prendre des décisions se fait lorsqu'on insiste sur la meilleure façon d'atteindre les objectifs fixés. Le résultat ou l'objectif final est habituellement donné : par exemple, minimiser le coût total de l'ensemble des activités ou maximiser le rendement total de l'entreprise.

C'est par une décision personnelle que la représentation mathématique ou statistique utilisée sera choisie ou inventée. Mais le traitement des données est impersonnel, encore qu'il ne puisse être mécanique. Les méthodes quantitatives sont nécessairement associées à la conception du problème, des hypothèses, à l'expérimentation et à l'arbitrage entre les différentes possibilités. Les hypothèses qui sont formulées ont une importance considérable et sont généralement définies avec soin.

Le traitement lui-même qui conduit à la réponse est rationnel : il suppose des modes de comportement ordonnés, à partir d'explications et de prévisions logiques. Les méthodes quantitatives ont pour but d'aider les compétences de gestion, en rendant cette gestion la plus

rationnelle possible. Nous allons présenter dans la suite les méthodes (outils) d'aide à la décision selon plusieurs univers (**Chapitre 3**).

2.2.7. Les systèmes d'aide à la décision

Les décisions stratégiques, les décisions non programmables nécessitent la compilation de multiples informations ; elles nécessitent également une vision prospective de l'avenir : les scénarios prévus devant se dérouler effectivement.

On parle alors de planification stratégique ou management stratégique. Pour les mettre en place, le recours à l'informatique est indispensable ; on évoque alors la notion de système d'aide à la décision.

Il y a plusieurs systèmes d'aide à la décision comme des systèmes interactifs d'aide à la décision (SIAD).

Ce sont des outils informatiques dont le rôle consiste à résumer et modéliser des chiffres et des données significatives qui nourriront la réflexion et orienteront le choix des décideurs.

En particulier, ils permettent de simuler différentes situations au moyen de tableaux. Ils peuvent intégrer les bases de données et traiter de multiples variables, ainsi tester les différents choix possibles. Leur langage de communication est convivial et leur utilisation est aisée.

Il existe les systèmes experts qui peuvent reconstituer, après avoir acquis les données nécessaires, le raisonnement qu'aurait suivi un cerveau humain pour traiter un problème déterminé et aboutir à une solution cohérente.

Parmi les systèmes il y en a de mieux adaptés au style de gestion (direction) de chaque entreprise ; nous aborderons les systèmes d'aide à la décision dans le (**Chapitre 4**).

3- Typologie de décision

Les multiples décisions prises au sein d'une entreprise n'ont pas la même importance, ni la même portée. Les décisions exceptionnelles ne sont pas traitées de la même façon que les décisions répétitives. C'est pourquoi les chercheurs en sciences de gestion ont établi des typologies permettant d'identifier et de traiter au mieux chaque décision que le décideur est amené à prendre.

Chercher une bonne typologie : c'est sans doute une des plus anciennes ambitions de gestion que de pouvoir disposer d'une bonne classification des décisions. Si une telle typologie existait, bien des difficultés que rencontrent les entreprises pour bien définir puis agencer les uns par rapport aux autres les centres de décision seraient durablement aplanies.

Il y a plusieurs critères, isolés ou associés qui permettent déterminer l'incidence de la décision.

3.1. L'objet de la décision (le modèle pyramidal traditionnel)

En apparence, cette première classification est vieille comme le monde. La *figure (2)* en rappelle l'image familière : le modèle pyramidal, dont les organisations militaires revendiquent souvent la paternité – ce que nul semble-t-il ne leur conteste –, est d'une admirable simplicité apparente. Dans des organisations elles-mêmes simples, se dotant d'objectifs peu nombreux – survivre par exemple- placées dans un environnement relativement stable, cette classification s'est avérée efficace dans ses applications ; ce modèle, proposé par **I .ANSOFF**, conduit à distinguer trois niveaux inscrits dans une entreprise hiérarchique traditionnelle.

3.1.1. La décision stratégique

Chaque décision prise par le ou les décideurs placés au sommet de la hiérarchie dans l'entreprise est appelée grande, ou stratégique. (**PARKINSON** rappelle, à leur propos, la parabole de la décision d'investissement du garage à bicyclettes). On définit la décision stratégique comme étant celle qui concerne les relations entre l'entreprise et l'environnement, et porte essentiellement sur les choix de marché et de produits afin de s'adapter au mieux à son milieu.

3.1.2. La décision administrative

Cette sorte de décision porte sur la structure et la gestion des ressources : acquisition, organisation et développement des ressources ; rapports hiérarchiques, organisation du travail ; réseaux de communications et informations : par exemple, mettre en place une démarche qualité dans un atelier.

3.1.3. La décision opérationnelle

Son but est d'obtenir de l'exploitation courante le maximum de profit ; par exemple : fixation des tarifs, promotion des ventes, programme de production, niveau des stocks. C'est à partir de ce type de classification que s'est développé tout le courant classique de la stratégie, en ce qui concerne les "grandes manœuvres" que l'entreprise effectue par rapport à ses marchés et à ses concurrents.

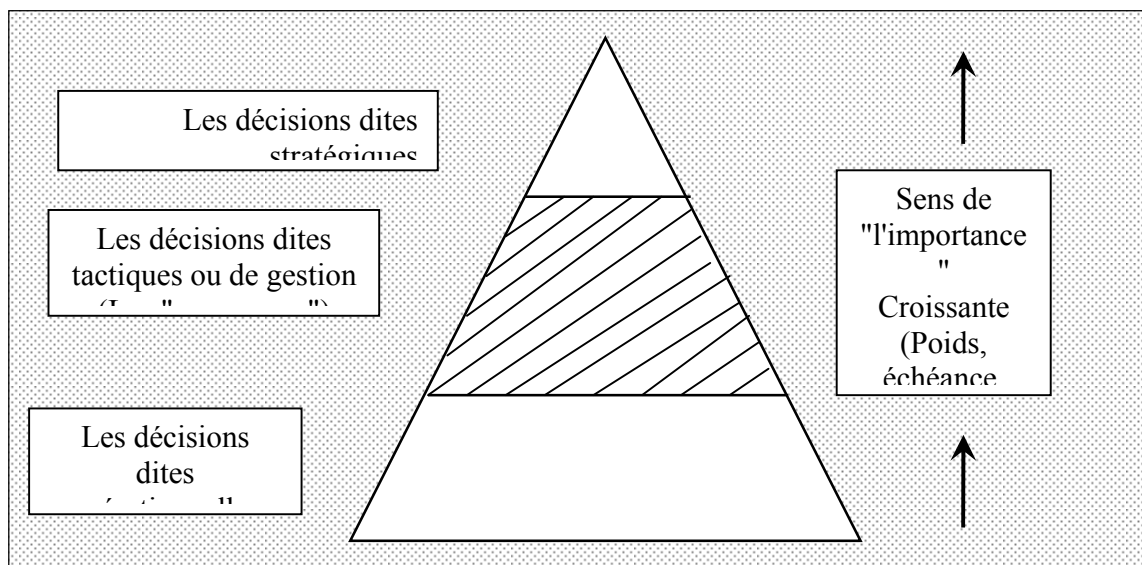


Figure.2²⁰. Le modèle pyramidal (historique)

D'autres auteurs ont critiqué cette classification, en considérant notamment que les relations de l'entreprise avec son environnement se nouent à chaque niveau de décision.

C'est ainsi que **G. MUSSCHE**²¹ propose la classification suivante :

²⁰ . LE MOIGNE L., (1974), Les systèmes de décision dans les organisations, dépôt légal, 1^{ère} édition.

- Décisions stratégiques : elles caractérisent le choix que fait l'entreprise d'un comportement global et à long terme par rapport à son environnement ;
- Décisions tactiques : elles appliquent à court et moyen termes les décisions stratégiques en organisant les moyens nécessaires ;
- Décisions mécaniques : elles assurent le fonctionnement quotidien de l'entreprise.

Outre le fait qu'elle introduit le niveau intermédiaire des décisions tactiques, cette classification a le mérite de ne pas "spécialiser" chaque catégorie de décisions selon le champ interne ou externe de l'entreprise.

Dans le même cadre, **MARTINET** en distingue deux sortes :

- Les décisions stratégiques qui déterminent de façon durable la nature de l'entreprise et de ses relations avec l'extérieur : par exemple, le choix entre une seule ou plusieurs activités ;
- Les décisions tactiques, courantes, qui ont pour objet de résoudre les problèmes qui surgissent au jour le jour sans modifier les orientations générales.

On pourrait citer les nombreux auteurs qui ont écrit sur ce thème, et présenter d'autres classifications .Ce serait surtout accroître la confusion ; dans ce domaine, l'expérience est utile et sans entrer dans ces débats, les hommes d'entreprise s'en tiennent volontiers aux deux catégories susmentionnées.

3.2. L'échéance de la décision

Bien sûr la classification précédente se montre insuffisante dans certaines situations ; aussi, pour ne pas devenir sa propre caricature, cette classification traditionnelle "l'échéance de la décision» avait été complétée par la mise en évidence de l'existence de trois niveaux différenciés d'objectifs dans toute l'entreprise.

Dans ce cadre, on peut définir trois catégories de décisions :

²¹ . MUSSCHE G., (1974), Les relations entre stratégie et structure dans l'entreprise, Revue économique, vol. xxv, n°1 janvier, pp 30-48.

- **Les décisions à court terme** : n'ont d'effet que sur une courte période et sont pour la plupart réversibles. En cas d'erreur, l'entreprise peut entreprendre des actions correctives dont les effets se feront sentir rapidement ; par exemple : choix en matière d'approvisionnement, établissement d'un planning de production ;
- **Les décisions à moyen terme** : engagent l'entreprise sur plusieurs exercices ; par exemple : lancement d'un nouveau produit, décision de créer une nouvelle unité de production. Ces décisions restent dans la plupart des cas réversibles mais les actions correctives sont coûteuses et lentes ;
- **Les décisions à long terme** : sont exceptionnelles. Elles concernent l'existence même de l'entreprise (processus de création de l'entreprise), ses principes fondamentaux (culture, identité) ou sa politique générale (principales orientations, objectifs à long terme, finalité). De telles orientations correspondent en fait à une constellation de décisions échelonnées dans le temps mais étroitement imbriquées. Ces orientations ne sont que très difficilement réversibles.

La classification par échéance voisine de la classification par objectif recherché, mais plus proche des principes de la théorie générale des systèmes, repose sur un double critère :

- Le champ couvert : la décision peut concerner quelques personnes, un (ou plusieurs) sous-système(s) de l'entreprise, ou au contraire avoir un champ d'action très large et affecter la totalité de l'entreprise ;
- L'échéance envisagée : la décision peut engager l'entreprise pour quelques heures seulement (décisions à très court terme), plusieurs mois ou plusieurs années.

Ce double critère permet de distinguer :

- Les décisions de planification : Il s'agit de décisions de nature générale concernant l'intégralité du système entreprise et engageant celui-ci sur une longue période ; par exemple : localisation des locaux, fusion, absorption ;

- Les décisions de pilotage : ces décisions ont une portée plus limitée (moins d'un an). Elles s'inscrivent dans le champ d'action d'une fonction ou d'un sous-système de l'entreprise. Le domaine privilégié des décisions de pilotage est celui de l'adaptation de l'entreprise aux fluctuations de l'environnement, à sa surveillance et son contrôle, par exemple : la décision de sous-traiter, le lancement d'une campagne promotionnelle ;
- Les décisions de régulation : il s'agit de décisions simples, souvent répétitives et à court terme qui assurent le bon fonctionnement au jour le jour du système entreprise ; par exemple : renouvellement des stocks, facturation, gestion de la trésorerie.

La **figure (3)** éclaire les remarques précédentes et met en évidence le bien-fondé de cette distinction basée sur le domaine couvert par la décision (le champ couvert & l'échéance envisagée),

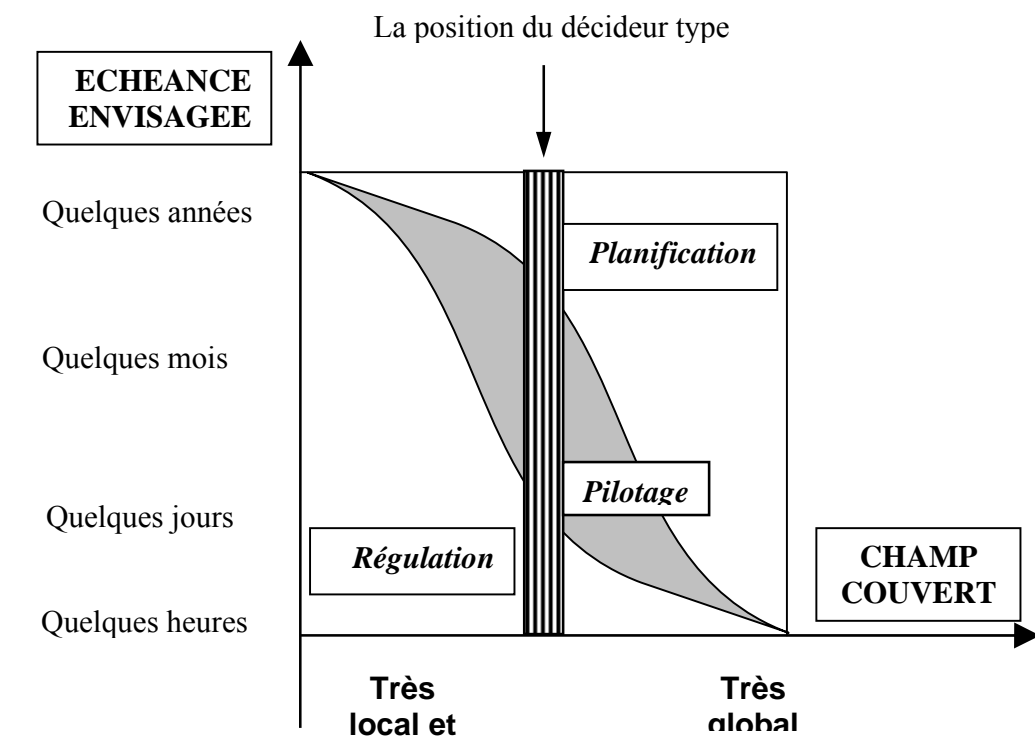


Figure .3²². Les systèmes de décision dans les organisations

²² . DARBELET M., IZARD L., SCARAMUZZA M ., (1998), *Notions fondamentales de gestion d'entreprise*, Foucher.

3.3. Le degré de structure de la décision

Le nombre et la complexité des paramètres intervenant dans un processus de décision peuvent être très variés. Lorsque ces paramètres sont peu nombreux, aisément identifiables et en même temps quantifiables, il est possible de formaliser la décision, c'est-à-dire recourir à une procédure standard de résolution ou élaborer un modèle de prise de décision. Tout problème est alors soumis à une succession d'opérations exécutées dans un ordre précis et sous certaines contraintes, pour passer des informations de base aux choix définitifs.

On parle alors de décisions programmables lorsque peut être formulé a priori "l'ensemble des prescriptions ou stratégies qui définiront la séquence des réponses du système considéré à un environnement plus ou moins complexe".

Ce sera donc pour les décisions répétitives, de routine qu'on disposera d'une procédure définie ; **H. SIMON** (1960) ayant observé des faits nouveaux apparus depuis quarante ans dans l'environnement de la décision, propose une subdivision complémentaire en regroupant les techniques classiques ou traditionnelles d'une part, et les techniques dites modernes d'autre part. Ce qui le conduit à établir un tableau apparemment fort simple *figure (4)*.

Ce tableau s'avère a priori commode pour identifier les rôles et les limites des systèmes d'information des décideurs.

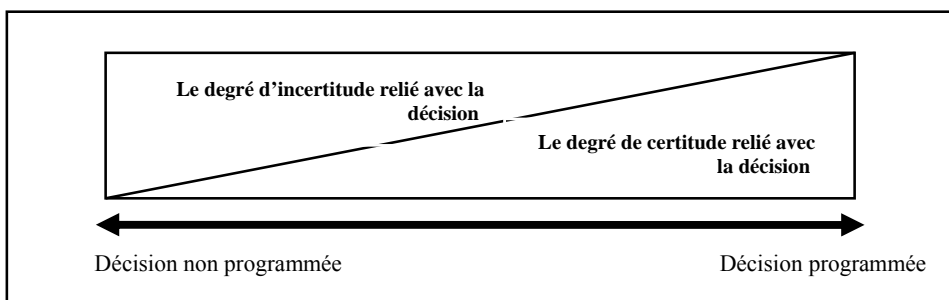
- La première case étant remplie par le système comptable traditionnel et par quelques procédures routinières ;
- La seconde parce qu'il est parfois convenu d'appeler M.I.S ;
- La troisième par le jeu du hasard ou le « mystérieux flair » en opposition à tout système formalisé d'informations ;
- La quatrième par les développements les plus surprenants utilisant la technologie avancée des systèmes d'aide à la décision.

| Types de décisions | Techniques de décisions | |
|--------------------|-------------------------------|----------|
| | Classiques ou traditionnelles | Modernes |
| Programmées : | 1 | 2 |

| | | |
|--|--|---|
| <p>Décisions de routines répétitives pour lesquelles on dispose de procédure spécifiques.</p> | <p>-L'habitude. - Les procédures standard et réglementaires. -Les systèmes très précis de sous- objectifs intermédiaires. -Les canaux d'information bien définis et formalisés</p> | <p>- Toutes les techniques de modélisation permises par la statistique et la mathématique (la recherche opérationnelle et le calcul économique.) - Complété par les ressources spécifiques que leur apportent les ordinateurs</p> |
| <p>Non programmées : Décisions imprévisibles faiblement structurées, pour lesquelles on ne dispose que de procédures très générales de résolution</p> | <p>3 -L'intuition, l'imagination, le " jugement". -Le flair. Et les batteries d'ordre de grandeur. -Le choix des "bons" décideurs.</p> | <p>4 -Les techniques heuristiques De résolution mises en œuvre par : * l'entraînement des décideurs. * l'utilisation de programmes heuristiques sur ordinateurs.</p> |

Figure .4²³. Le modèle programmé -non programmé

En revanche, lorsque les paramètres de la décision sont nombreux ou qualitatifs, il est pratiquement impossible de les soumettre à un algorithme de traitement prédéterminé. Ces décisions, souvent imprévisibles, mais néanmoins fréquentes sont dites **non programmables**. On peut établir le lien entre le degré de certitude de la décision et celui de la programmation en figurant un simple schéma figure (5)²⁴ :



Source : auteur

²³ . Ibid.

²⁴ .auteur.

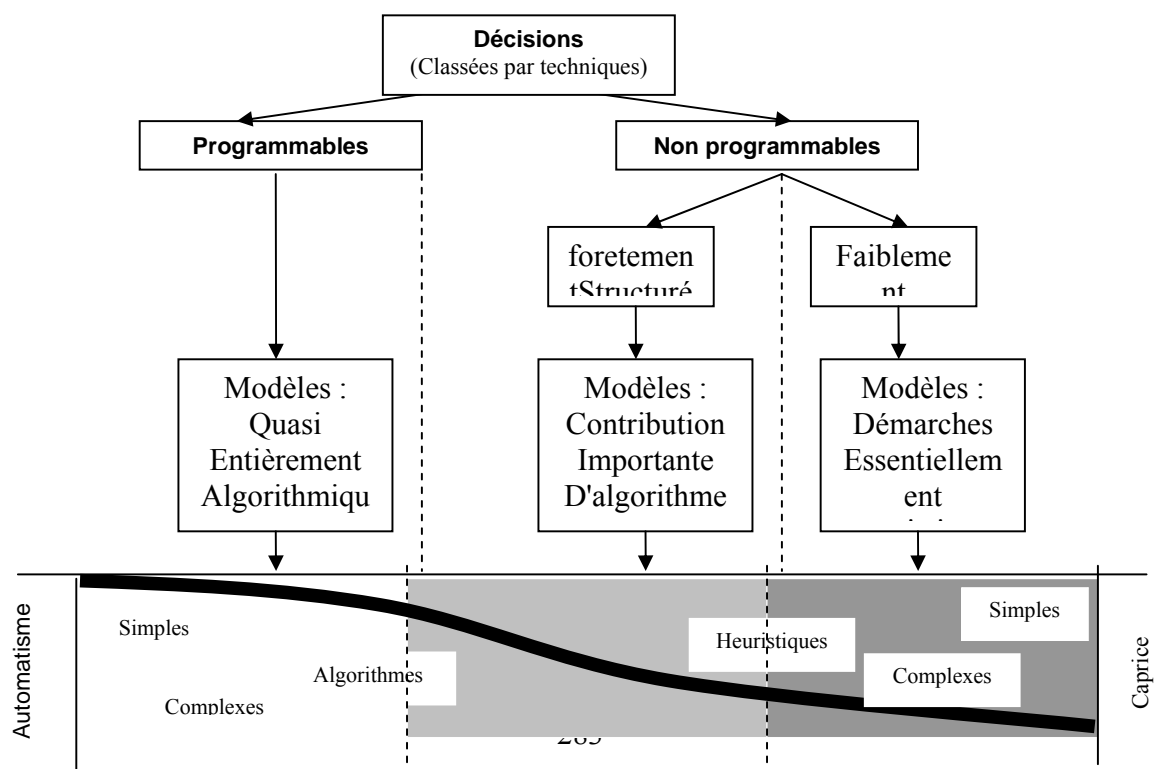
De ce point de vue, nous déduisons que parmi les décisions non programmables, deux cas doivent être distingués.

3.3.1. Les décisions structurées

Il s'agit de décisions pour lesquelles les principaux paramètres sont à peu près identifiables. S'il est difficile de recourir à une procédure standard de résolution, le décideur peut néanmoins faire appel à des techniques (outils) d'aide à la décision qui éclaireront son jugement : par exemple, les règles de rémunération des salariés.

3.3.2. Les décisions faiblement structurées (ou non structurées)

Pour ce type de décision, les paramètres à prendre en compte sont multiples et complexes. Aucun processus de résolution préétabli ne peut être mis en œuvre. Le décideur doit se fier à sa capacité de jugement, à son expérience et parfois à son intuition. On parle alors de démarche heuristique ; par exemple : attaque de marchés étrangers, lancement d'une campagne promotionnelle.



Programmables

Structurées

Hybrides

Figure. 6²⁵. Classification des décisions.

4- Les contextes du choix

M. PORTER distingue les décisions délibérées et les décisions émergentes, c'est-à-dire qu'il oppose :

- les décisions choisies par l'entreprise en fonction de ses objectifs, de ses activités ;
- aux décisions imposées par des contraintes extérieures, des concurrents, qui influent sur les actions de l'entreprise.

Le critère retenu est donc le degré de liberté de choix du décideur. En fait, au sein de toute entreprise de nombreuses décisions différentes sont prises en permanence. Ces décisions conditionnent les activités de l'entreprise, sont interdépendantes, pouvant répondre à des objectifs pour certains services et constituer des contraintes pour d'autres.

Par exemple : si un service financier choisit comme objectif un certain taux de rentabilité, cela va représenter une contrainte pour le service marketing dans ses choix de lancement de produits.

Dans une entreprise les décisions prises doivent tenir compte de cette interaction entre les services (en interne), comme des choix des partenaires et concurrents et aussi des institutions de l'environnement (en externe).

Il faut donc rechercher une certaine cohérence interne et externe dans le choix des décisions.

5- Le degré de formalisation du comportement du décideur

²⁵ .Ibid.

L. SFEZ²⁶ propose une classification de l'évolution de la formalisation du décideur en trois étapes :

– L'homme certain :

Est un acteur de l'entreprise classique qui prend des décisions de manière rationnelle, selon un processus linéaire dans un univers certain ; il peut optimiser tous les facteurs. Ses objectifs individuels et ceux de l'entreprise convergent vers le même but ;

– L'homme probable :

Est un acteur à rationalité limitée qui cherche une solution seulement satisfaisante dans un univers incertain mais probabilisable, lorsque l'entreprise est le lieu de multiples conflits.

– L'homme aléatoire :

Est un acteur dans les entreprises actuelles où l'indétermination, l'incertitude et la complexité sont encore plus grandes ; les décisions sont alors des compromis.

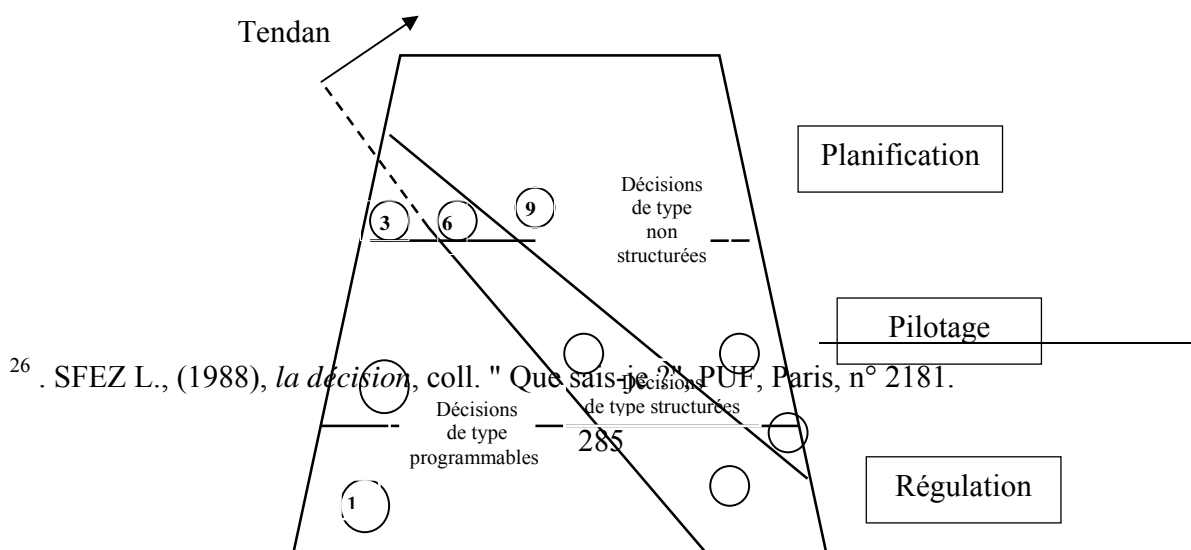
La décision n'est mise en œuvre que si les acteurs la comprennent, l'acceptent et sont prêts à l'appliquer ; une telle décision comporte en outre une dimension psychologique.

6- Les classifications synthétiques

Ces classifications combinent plusieurs critères et conduisent à envisager de nouvelles typologies de décisions.

Ainsi J.L. LEMOIGNE propose-t-il de représenter les critères d'échéance / champ couvert en fonction du degré de structure de la décision.

L'étude de *La figure (7)* montre que les décisions de régulation sont plus structurées que les décisions de planification par nature plus rare et plus complexe.



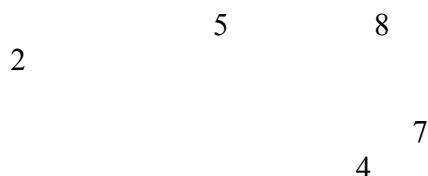


Figure. 7²⁷. Classification synthétique

De plus, cette figure s'agit d'une fréquence quantitative : le nombre de décisions dans chaque cellule ; sans hypothèse qualitative sur leur importance.

Bien sûr, cette estimation a priori devra être précisée au coup par coup dans chaque entreprise : selon les surfaces respectives des cellules 1,4 et 7, les priorités des efforts de développement des procédures internes de décision pourront être plus aisément définies. Et des analyses de poste, qui font transpirer nombre d'organiseurs, par cette approche sont clarifiées de façon efficace sinon élégante.

L'objectif de la décision peut également être associé à d'autres impératifs tels que l'échéance dans le temps, les moyens d'actions correctives, la répétitivité des choix.

Il est possible de synthétiser dans le tableau suivant **figure (8)** les différents critères de classification des décisions, mais s'y référer entraîne une perte de précision dans l'information.

| | | | |
|--|------------------|--------------|---------------------|
| Nature des décisions | Opérationnelles | Tactiques | stratégiques |
| Domaine des décisions | Exploitation | Gestion | Stratégie |
| Horizon de temps | Très court terme | Court terme | Moyen et long terme |
| Effets des décisions : Durée des effets Réversibilité des effets | Très brève forte | Brève faible | Durable nulle |

²⁷ .Ibid.

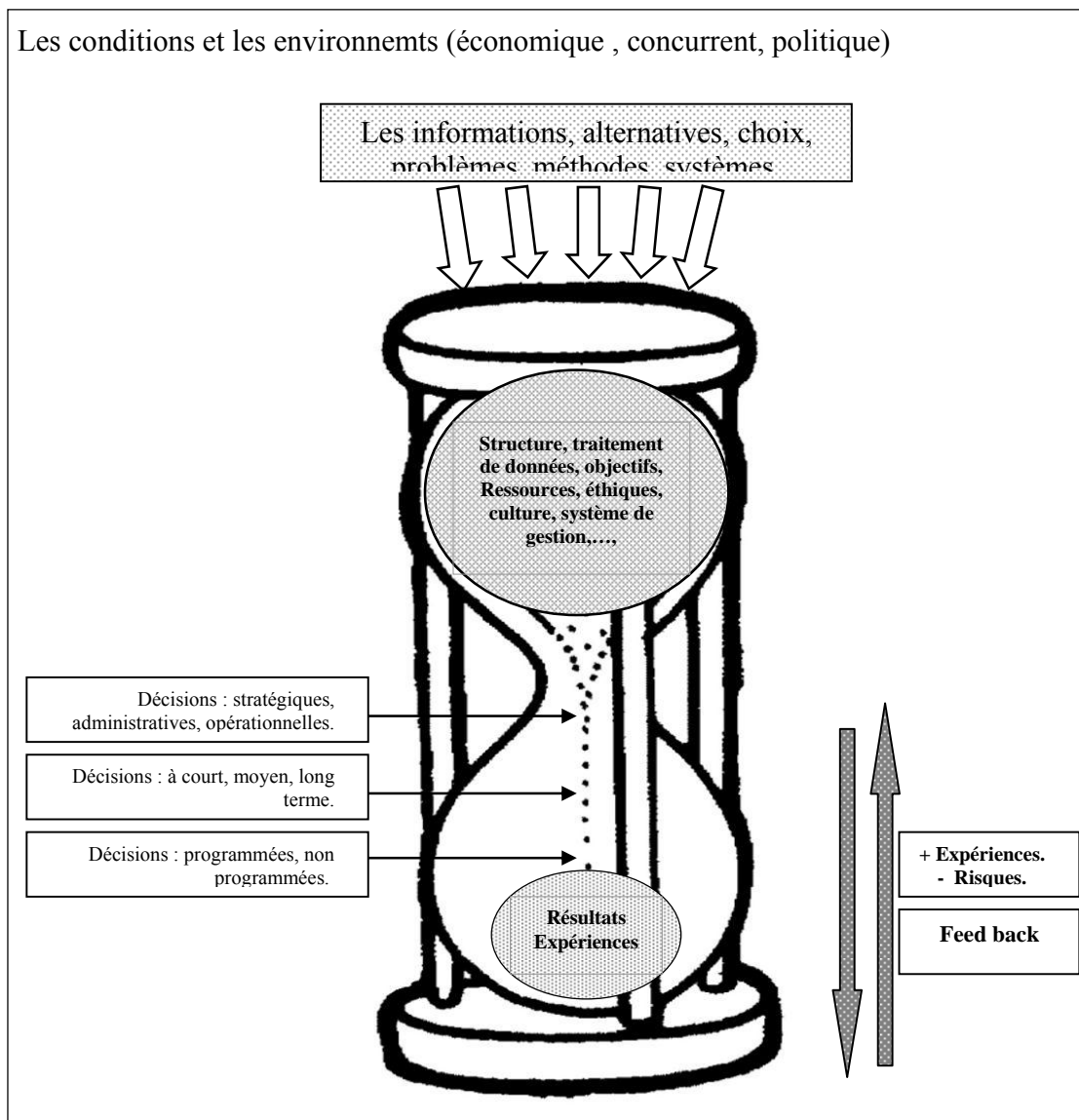
| | | | |
|--|--|---|--|
| Modalité | Adaptation aux aléas correction des déviations par rapport à la trajectoire | Fixation d'objectifs à l'exploitation Contrôle de réalisation Adaptation des objectifs | Fixation d'objectifs à long terme relatifs à l'évolution et aux mutations de l'entreprise |
| Actions correctives | Faciles | Difficiles | Impossibles |
| Répétitivité des choix | Forte répétitivité à fréquence élevée | Faible répétitivité à fréquence basse | Unicité des choix (absence de répétitivité) |
| Procédure de décision | Programmable | Semi- programmable | Non programmable |
| Variable de la décision : - Domaine étudié - Portée de la décision - Nombre - Quantification | Processus de transformation des ressources Portée restreinte (service) Peu nombreuses Quantitatives | Gestion des ressources, acquisition, affectation, amélioration portée intermédiaire (plusieurs services) Nombreuses Quantitatives en majorité | Relations de l'entreprise Avec l'environnement (marché, produits...) Portée générale (toute l'entreprise) Très nombreuses Quantitatives en majorité |
| Exemples | Gestion des stocks Ordonnancement de la production Affectation du personnel; organisation des tournées de livraison | Prévisions de vente Programmes de production Embauche de personnel Plan de marchéage Gestion budgétaire Contrôle de gestion | Choix d'organisation et de restructuration d'investissement et de financement plan Politique de production Politique de distribution Programme de recherche Regroupement avec d'autres firmes |

Ce tableau met en évidence le mécanisme qui permet de choisir parmi les neuf types de décisions celle qu'on est conduit à prendre.

En conclusion, on peut considérer que la prise de décision est une tâche essentielle parmi les cinq tâches fondamentales de l'entreprise et que c'est un processus inévitable à chaque instant. L'élaboration d'une décision est la résultante de plusieurs facteurs tels que

données, outils, experts, le plus important étant le décideur ou dans notre recherche l'investisseur.

*La figure (9)*²⁸ éclaire cette conclusion : elle représente toutes les conditions qui entourent la prise de décision. Nous pouvons figurer ces conditions comme la poudre d'un sablier qui s'écoule pour finalement aboutir à une situation négative ou à une situation positive :



²⁸ . Auteur.

Après avoir exposé cette première approche concernant la décision, la conclusion qui s'impose est que :

- la décision est un choix irréversible et risqué entre plusieurs solutions possibles, que l'on appelle les alternatives ;
- La décision du passé appartient au passé ;
- Une bonne décision :
 - intègre dans sa logique toutes les informations disponibles ;
 - fait courir au décideur un risque qu'il peut se permettre de prendre et qu'il accepte de courir ;
 - est conforme à la préférence du décideur quant au déroulement dans le temps.

C'est alors que nous pourrions donner une définition de la décision boursière : c'est un choix entre plusieurs opportunités disponibles concernant l'investissement dans la Bourse ("achat – vente"), mais la spécificité de cette décision est la prépondérance du « facteur temps » comme dans d'autres types de décisions mais dans ce cas le choix est définitif comme dans un pari (gain ou perte). Nous allons présenter les méthodes et les modèles d'analyse et de prise de ce type de décision dans la deuxième partie.

Chapitre 2

THÉORIE DU PROCESSUS DE DÉCISION

La décision ne peut être définie indépendamment de la notion de processus décisionnel. Prendre une décision, selon **MITZBERG**, c'est mettre en œuvre un processus, qui aboutira, in fine, à un choix.

Dans ce chapitre nous étudierons la théorie du processus de décision- mais d'abord nous clarifierons la théorie de la décision et donnerons ses limites- puis nous décrirons les phases du processus de décision en donnant leurs limites. Enfin, nous relierons le système de décision au management décisionnel.

L'importance considérable accordée à la décision par les deux écoles (praticiens et théoriciens) s'explique non seulement par les conséquences éventuelles des décisions, mais aussi parce que la décision s'est longtemps identifiée avec le pouvoir et semblait être la caractéristique de l'entreprise.

L'évolution des organisations des entreprises et du monde des affaires en général a eu pour conséquence une plus grande complexité dans les processus de la prise de décision.

1- Les théories de la décision

Les premières théories de la décision se sont efforcées de trouver le moyen d'obtenir le choix le plus rationnel possible.

Elles ont été élaborées à partir de l'observation du comportement individuel face au choix dans un environnement incertain. Cependant, elles ne rendent pas compte de la manière dont s'opèrent les choix dans une organisation complexe de plusieurs individus : rien ne prouve que ce qui est valable pour une personne le soit pour un groupe organisé et orienté vers la poursuite d'objectifs parfois variés.

On peut faire ressortir quatre courants concernant la théorie de l'analyse du processus décisionnel.

1.1. Le modèle du décideur rationnel

Ce modèle est conçu dans l'optique de la micro-économie classique. Elaboré dans les années 20 il présente les objectifs de l'organisation et ceux de l'entrepreneur, unique décideur, comme identiques. Il suppose des informations parfaites et des acteurs rationnels agissant objectivement (décision dans un univers Certain).

Nous allons développer ce modèle dans le chapitre suivant (**chapitre 3**).

En bref, ce modèle " modèle classique" repose sur plusieurs hypothèses :

- Le décideur est entièrement libre et autonome ;
- Le décideur est rationnel : il recherche l'optimisation du profit ou de l'utilité ;
- Les choix possibles et leurs conséquences sont connues ;
- Les choix sont irréversibles.

La principale critique qu'on puisse formuler est due à l'existence d'un déphasage entre les hypothèses et la réalité : par exemple la sagesse supposée de celui qui prend la décision peut être discutable ou encore la stabilité de ses préférences peut être mise en cause...

Enfin, ce modèle nie l'apparition de conflits d'intérêts au sein de l'organisation puisque le décideur rationnel est sensé rechercher la solution optimale dans un univers certain et connu.

1.2. Le modèle du décideur à rationalité limitée (modèle psychologique)

H. SIMON rejette l'hypothèse de rationalité parfaite du décideur et propose un modèle, celui du décideur à rationalité limitée. Il introduit l'idée que la solution retenue n'est pas optimale mais seulement satisfaisante. Le décideur ne dispose que d'informations partielles et se trouve donc dans l'incapacité d'appréhender tous les paramètres de la situation à laquelle il est confronté. En outre, l'environnement est soumis à une grande part d'incertitude.

Par conséquent, la décision est prise :

- Dans un contexte de rationalité limitée : la limite étant déterminée par le temps dont on dispose, l'information utilisable et les capacités du décideur ;
- Avec une démarche de simple satisfaction au lieu d'un processus d'optimisation.

Ce modèle concerne entre autres la décision boursière.

1.3. La théorie du décideur politique

CYERT et **MARCH** présentent que seuls les individus ont un but. Les objectifs d'une organisation résultent alors de négociations ou de compromis entre des associations d'individus qui mènent une stratégie conforme à leurs propres intérêts au sein même de l'organisation. C'est la structure de l'organisation qui régule la confrontation des stratégies particulières, au travers de jeux de pouvoir et d'influence. La décision est le fruit d'un ensemble de comportements caractérisés par des principes visant à limiter le risque de conflit et éliminer l'incertitude²⁹.

Dans une organisation de nombreux conflits restent latents, même si le consensus s'établit sur des buts généraux à atteindre. En conséquence, une certaine démarche d'optimisation est recherchée par trois procédés :

²⁹ .CYERT et MARCH, (1970), *Processus de décision dans l'entreprise*, Dunod, Paris.

- la rationalité locale : chaque unité privilégie ses propres objectifs dans le choix de ses décisions tout en tentant d'éviter l'affrontement ;
- la recherche séquentielle de solutions : les problèmes sont réglés par touches successives ce qui permet d'aplanir progressivement les tensions ;
- les mécanismes d'apprentissage qui permettent d'intégrer les résultats des décisions antérieures.

1.4. Le cadre actuel de la formalisation de la décision

Un certain nombre d'hypothèses et des principes sont retenus comme éléments explicatifs de la décision, la conclusion des recherches de **SIMON**, **CYERT** et **MARCH** est la suivante :

- La diversité des objectifs des participants à l'organisation: l'organisation est un lieu de multiples décisions qui se présentent, s'influencent et se contrarient parce qu'elles sont élaborées par des acteurs qui n'ont pas les mêmes objectifs et les mêmes intérêts. Cela oblige les acteurs à négocier des compromis : la décision prise est le résultat de ces compromis ;
- L'information incomplète : de plus la rationalité des décisions comme nous avons vu est limitée par les informations incomplètes dont disposent les décideurs sur l'organisation et sur l'environnement. On peut ajouter qu'elles sont en partie erronées car les modèles de représentation utilisés, les simplifications opérées, les méthodes de calculs retenus sont plus ou moins bien adaptés au problème à résoudre. Par ailleurs, il n'est pas possible de tenir compte de tous les critères de choix et donc la décision est influencée par la prédominance certains critères prédominants ;
- La rationalité limitée des acteurs (décideurs): les décideurs ont une approche rationnelle de l'action limitée par leur système de valeurs et leur champ de connaissance, l'organisation doit donc gérer cette contrainte pour que les décisions soient conformes aux objectifs fixés. Il faut réduire les écarts entre les objectifs individuels et les objectifs organisationnels pour assurer une certaine cohérence dans les décisions prises (qualité de décision) ;

- Le critère de satisfaction minimale : la recherche d'un niveau minimal de satisfaction du résultat recherché justifie bien mieux la décision qu'un improbable calcul d'optimisation. De ce fait, la décision retenue dans une organisation n'est pas une décision optimale qui prendrait en compte toutes les conditions connues de manière sûre, mais une solution acceptable à partir des informations disponibles et comprises par les acteurs de la décision ; cette décision étant alors acceptée par les membres de l'organisation comme satisfaisante.

1.5. Les limites de la théorie de la décision

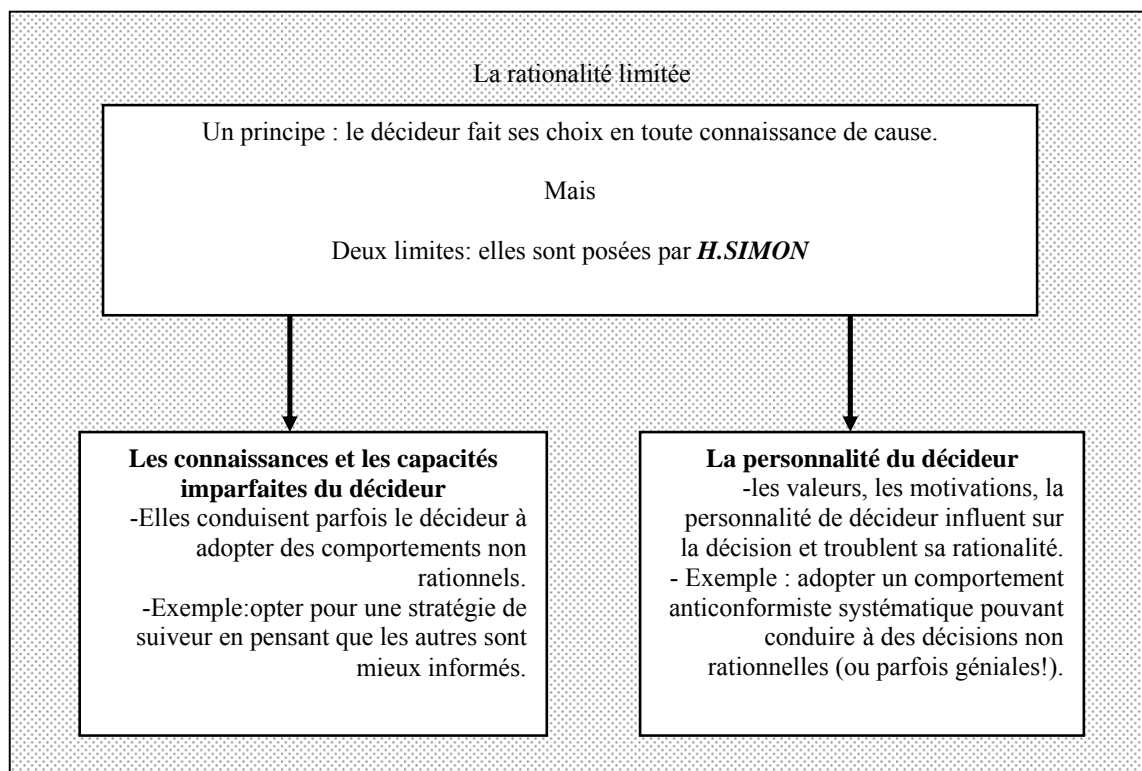
L'insuffisance de la théorie de la décision apparaît clairement. Dans la réalité, l'information ne permet pas d'éviter les risques ; le décideur ne peut être considéré comme totalement rationnel car il est partie prenante des conflits de l'organisation ; enfin les décisions sont souvent amorcées à des niveaux subalternes de l'entreprise.

En opposition à cette théorie, il est apparu deux courants :

- le premier recherchant une amélioration de la rationalité dans l'étude des paramètres par l'emploi de méthodes quantitatives (recherche opérationnelle, calcul des probabilités, théorie des jeux), que nous présenterons dans le chapitre 3 ;
- l'autre s'intéressant à l'étude des conditions d'exercice de la décision elle-même en tant que processus.

Après avoir abordé les différents modèles de théories de décision, nous pouvons les résumer par le tableau présenté dans la **figure (10)**³⁰.

³⁰ . R. EDIGHOFFER, (2002), *Précis de gestion d'entreprise*, Nathan.



2- Les processus décisionnels

La décision est l'aboutissement d'un cheminement ou processus, et pour l'organisation les étapes de ce processus sont tout aussi importantes que le choix final.

Nous abordons les modèles qui sont plus connus et plus appliqués.

2.1. Le modèle IMC

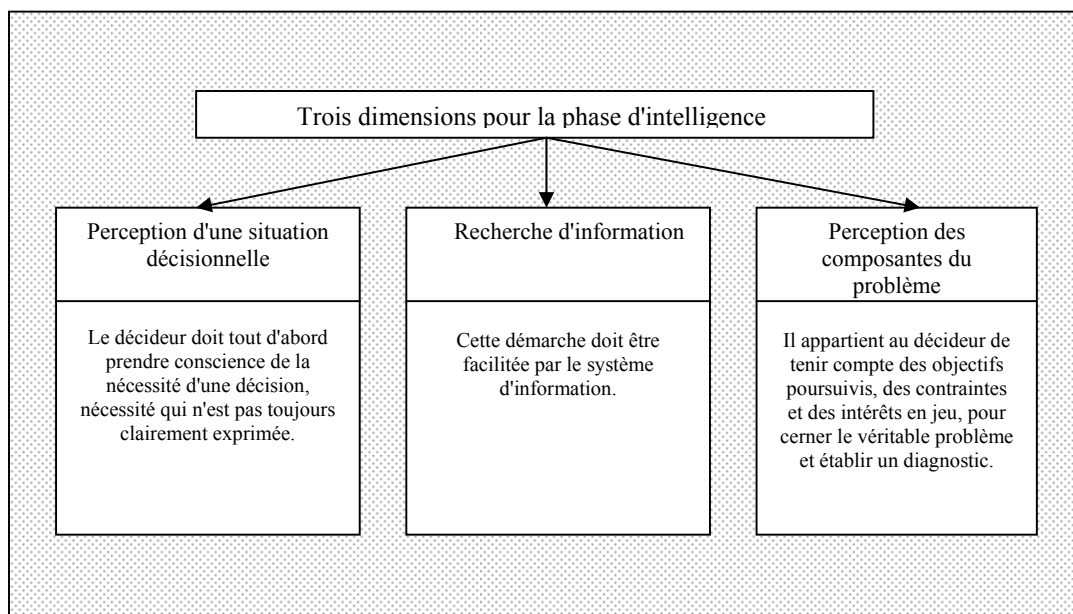
Dans les années soixante, **H. SIMON** a proposé un schéma très général expliquant le processus mental de la prise de décision ; selon lui, prendre une décision signifie résoudre un problème. Le processus de résolution de ce problème passe par quatre phases distinctes et successives.

2.1.1. La phase d'Intelligence

Cette phase consiste à diagnostiquer l'existence d'un problème et à l'identifier. Car un problème est perçu lorsque l'on détecte un écart entre "ce qui se passe" et "ce qui devrait normalement se passer". La détection comporte donc trois aspects :

- La volonté et la capacité à observer la réalité de "ce qui se passe" grâce, par exemple, à un système de veille ;
- L'existence de modèles pertinents, c'est-à-dire constituant la norme de "ce qui devrait normalement se passer". Ces modèles peuvent être construits à l'aide de
 - données historiques comme, par exemple, l'évolution des ventes observées dans le passé ;
 - Données externes comme, par exemple, le taux de marge moyen de la concurrence ;
 - Données planifiées à partir d'une norme élaborée à l'avance.
- La confrontation entre la réalité et les modèles pour mettre en lumière les écarts.

A ce stade, on peut présenter la **figure (11)**³¹ :



2.1.2. La phase de Modélisation (conception)

³¹. DARBELET M., IZARD L., SCARAMUZZA M, (1998), *Notions fondamentales de gestion d'entreprise*, Foucher.

Elle consiste à élaborer des réponses possibles aux problèmes rencontrés. Différents modes d'investigation sont alors mis en œuvre :

- la recherche de solutions standards déjà élaborées (comme nous avons vu au **chapitre 1**) et testées dans des situations identiques : par exemple, le fléchissement des ventes a pu être diminué dans le passé par une politique de prix plus agressive. Procédé simple et rassurant, il présente le risque de ramener le problème actuel à un cas déjà rencontré, sans tenir compte de la nouvelle situation ;
- la standardisation peut porter non seulement sur les solutions mais aussi sur le mode de résolution : par exemple un modèle de gestion de stock du type de celui de **WILSON** permet d'apporter une réponse aux problèmes d'approvisionnement et de stock³² ;
- Les problèmes nouveaux obligent à inventer entièrement leurs solutions, ce qui entraîne à la fois un effort plus important et un risque plus grand. La solution ainsi élaborée, ou la méthode ayant permis d'y parvenir, pourront enrichir la banque de données (data warehouse) de l'organisation (**chapitre 4**) dans laquelle elle pourra puiser à l'occasion de problèmes ultérieurs.

2.1.3. La phase de Choix

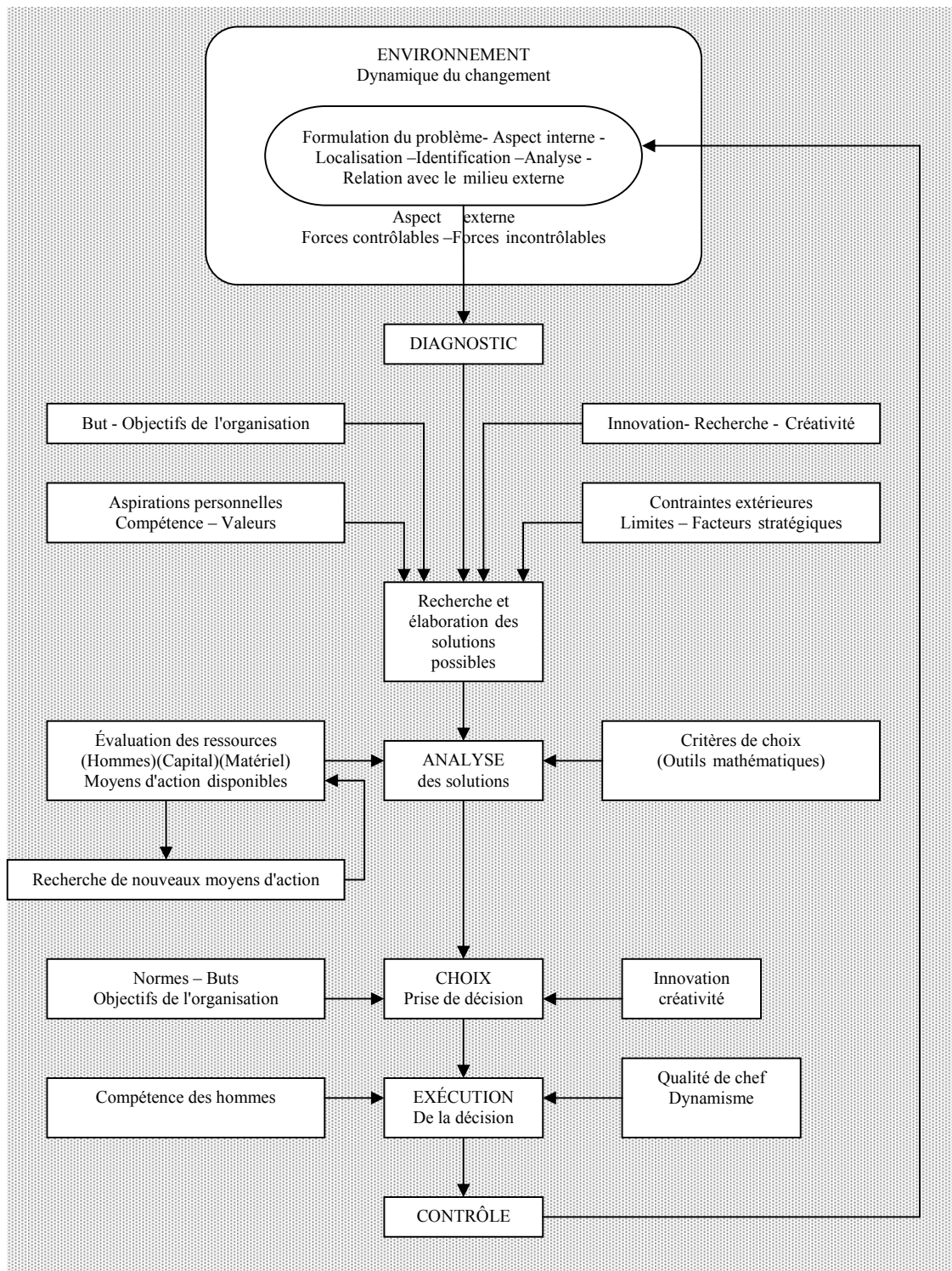
Elle permet de sélectionner une des réponses étudiées précédemment à partir des évaluations qui en ont été faites, des qualités personnelles du décideur, et de facteurs concrets (objectifs de l'organisation, normes et critères préétablies). Cette phase est courte, mais elle est parfois retardée par l'appréhension du décideur au moment du choix. Les méthodes d'aide à la décision classiques et modernes (**deuxième partie**) jouent ici un rôle très important.

2.1.4. La phase d'Évaluation

³² .KREIT Z., (2001), "méthodes quantitatives à la gestion des stocks application de MRP, cas pratiques en Syrie", *mémoire DEA*, Université Saint-Joseph, Beyrouth- Liban.

Cette phase est très importante pour bien choisir la solution (provisoirement) retenue en regardant les trois phases précédentes. La *figure (12)*³³ synthétise les différentes phases du modèle IMC de processus décisionnel.

³³ .CRENER M., MONTEIL B., (1971), Principes de management "Essai pour une théorie générale", *les Presses de l'université du Québec*, Canada.



Modèle de Processus décisionnel

Après avoir parcouru les quatre phases précédentes, la décision est retenue (la décision est née) concrétisée en programmes d'applications, diffusée auprès des personnes et des services concernés (la décision grandit).

2.2. Le modèle classique

Ce modèle propose de décomposer le processus décisionnel en dix étapes en aval :

- Constatation d'un problème ;
- Délimitation du problème ;
- Définition des objectifs ;
- Délimitation des solutions alternatives ;
- Mesure des solutions alternatives, coûts des moyens et des conséquences ;
- Définition des critères pour choisir la solution ;
- Choix de la solution ;
- Préparation de la mise en œuvre de la solution ;
- Mise en œuvre de la solution action ;
- Résultats de l'action, mesure.

On retrouve à peu près les mêmes étapes dans les deux décompositions dont la formalisation paraît simple et claire. En fait, les phases de ces processus décisionnels supposent vérifiées plusieurs hypothèses d'une démarche rationnelle linéaire :

- Les objectifs du processus décisionnels sont clairement définis ;
- Les informations sont disponibles pour évaluer toutes les solutions alternatives ;
- Les critères de choix sont bien délimités et acceptés par le décideur ;
- Le décideur choisit la solution qui procure le résultat optimal pour les critères de satisfaction demandés ;
- Les étapes se déroulent dans une linéarité parfaite.

Enfin, il est clair que les deux modèles sont plus théoriques que pratiques : pour cette raison ces modèles ont été critiqués et jugés incomplets : en effet, ces modèles ne

tiennent pas compte de l'aspect psychologique affectif ou émotionnel, limitant la rationalité du processus. Ces critiques ont donné naissance à plusieurs autres modèles et extensions tantôt à dominante psychologique comme le modèle émotif de **L. JANIS**, ou tantôt cognitive comme celui de **L. FESTINGER**.

3- Les modèles de prise de décision

Nous avons montré que les théories de la décision analysent la nature des décisions et le comportement lié aux décideurs, en même temps que les modèles de processus décisionnel. En fait, il est nécessaire d'élaborer certaines formalisations pour essayer de représenter toutes les variables qui apparaissent dans le processus décisionnel, au-delà de la linéarité rationnelle des premières modélisations.

3.1. *Modèle de KEPNER- TREGOE*

Ce modèle a été enseigné à des milliers de dirigeants et d'administrateurs qui l'ont ensuite mis en application. Pour établir une procédure logique de résolution des problèmes, les deux auteurs proposent les sept étapes suivantes :

1. D'abord fixer les objectifs d'une décision.
2. Classer les objectifs d'après leur importance.
3. Mettre au point les différentes actions possibles.
4. Evaluer les actions possibles par rapport aux objectifs fixés.
5. Choisir la possibilité la mieux à même d'atteindre tous les objectifs comme décision envisageable.
6. Explorer les conséquences futures potentiellement défavorables de la décision envisageable.
7. Contrôler les effets de la décision définitive en entreprenant d'autres actions pour éviter les conséquences potentiellement défavorables des problèmes qui se poseront, et en s'assurant que les actions décidées sont menées à bien.

KEPNER et **TREGOE** insistent sur le fait que le moyen le plus efficace d'augmenter la probabilité de réussite des décisions consiste à « prévoir et prévenir » les conséquences

défavorables de ces décisions³⁴.

3.2. Modèle de ARCHER

En 1980, **E. ARCHER** a tenté d'établir une synthèse des processus décisionnels en étudiant le processus de décision de plus de deux mille dirigeants, contrôleurs et administrateurs d'entreprises américaines au cours des dernières années.

La vue d'ensemble de ARCHER

| C.BARNARD: Les objectifs des processus mentaux | Irwin D.J.BROSS Les étapes de la décision | P.F. DRUCKER: Les étapes de la décision | H.A.SIMON Les phases de la décision | J.W.NEWMAN: Les étapes de la décision |
|---|---|--|---|--|
| | Etape 1: réaction biologique et culturelle aux circonstances de l'environnement | | Phase 1: renseignement (découvrir les circonstances qui appellent une solution) | |
| | | Etape 1: définir le problème | | Etape 1: reconnaître une situation qui exige un acte de décision |
| | | Etape 2: définir les anticipations | | |
| Premier objectif : établir la vérité | | | | |
| | Etape 2: déterminer des possibilités d'action convergentes ou s'excluant réciproquement | Etape 3: développer différentes solutions | Phase 2: conception (inventer, développer, et analyser des modes d'action) | Etape 2: identifier et développer différents modes d'action |
| | | | | |
| | | | | Etape 3: évaluer les différentes possibilités |
| Deuxième objectif : déterminer un mode d'action | Etape 3: choisir un mode d'action pour atteindre des objectifs précis | | Phase 3: choisir (sélectionner un mode d'action) | Etape 4: choisir l'une des possibilités |
| Troisième objectif : persuader | | Etape 4: savoir quoi faire avec la décision une fois | | Etape 5: mettre en œuvre le mode d'action choisi |

³⁴ . TERRY R.; G.FRANKLIN, (1985), *Les principes du management*, Economica.

| | | | | |
|--|--|-------------------|--|--|
| | | qu'elle est prise | | |
|--|--|-------------------|--|--|

De son étude, de son analyse et de sa procédure de vérification, **E. ARCHER** a déduit cette conclusion : les dirigeants qui réussissent le mieux prennent leurs décisions de gestion selon une séquence en neuf étapes ; le *tableau (13)*³⁵ résume les modèles de prise de décision passés en revue par E.ARCHER et indique que son modèle à neuf phases "comble les vides" dans les différentes étapes qu'illustrent les neuf premières colonnes.

3.3. *Modèle composite: COHEN, MARCH, OLSEN*³⁶

En 1972, **COHEN, MARCH** et **OLSEN** ont élaboré le « modèle de la poubelle » qui remet en cause les tentatives de rationalité et d'organisation des processus d'élaboration de décisions.

Pour ces auteurs, de même que la composition d'une poubelle dépend de l'aléa des dépôts de débris effectués et de la vitesse de ramassage des ordures, les décisions sont le produit de rencontres tout aussi fortuites de problèmes, de solutions et de décideurs. Les problèmes, les solutions et les acteurs parcourent l'organisation et se rencontrent parfois. L'organisation est ainsi le théâtre d'une anarchie organisée et la prise de décision s'explique autant par le hasard que par la nécessité.

Ce modèle encourage les décideurs à :

- économiser leur énergie pour les décisions importantes ;
- soutenir leurs idées malgré l'opposition jusqu'à ce qu'elles soient acceptées ;
- faire participer les opposants pour mieux les maîtriser.

S'il est vrai que ce modèle intègre les dimensions psychologiques et politiques des acteurs, il n'en demeure pas moins :

- la persistance de problèmes non résolus ;

³⁵ . E. B. ARCHER, (1980), " how to make a business decision: An analysis of theory and practice", *Management Review*, février, pp 54-61.

³⁶ . COHEN, MARCH, OLSEN ., (1972), A garbage can model of organizational choice, *administration science quarterly*.

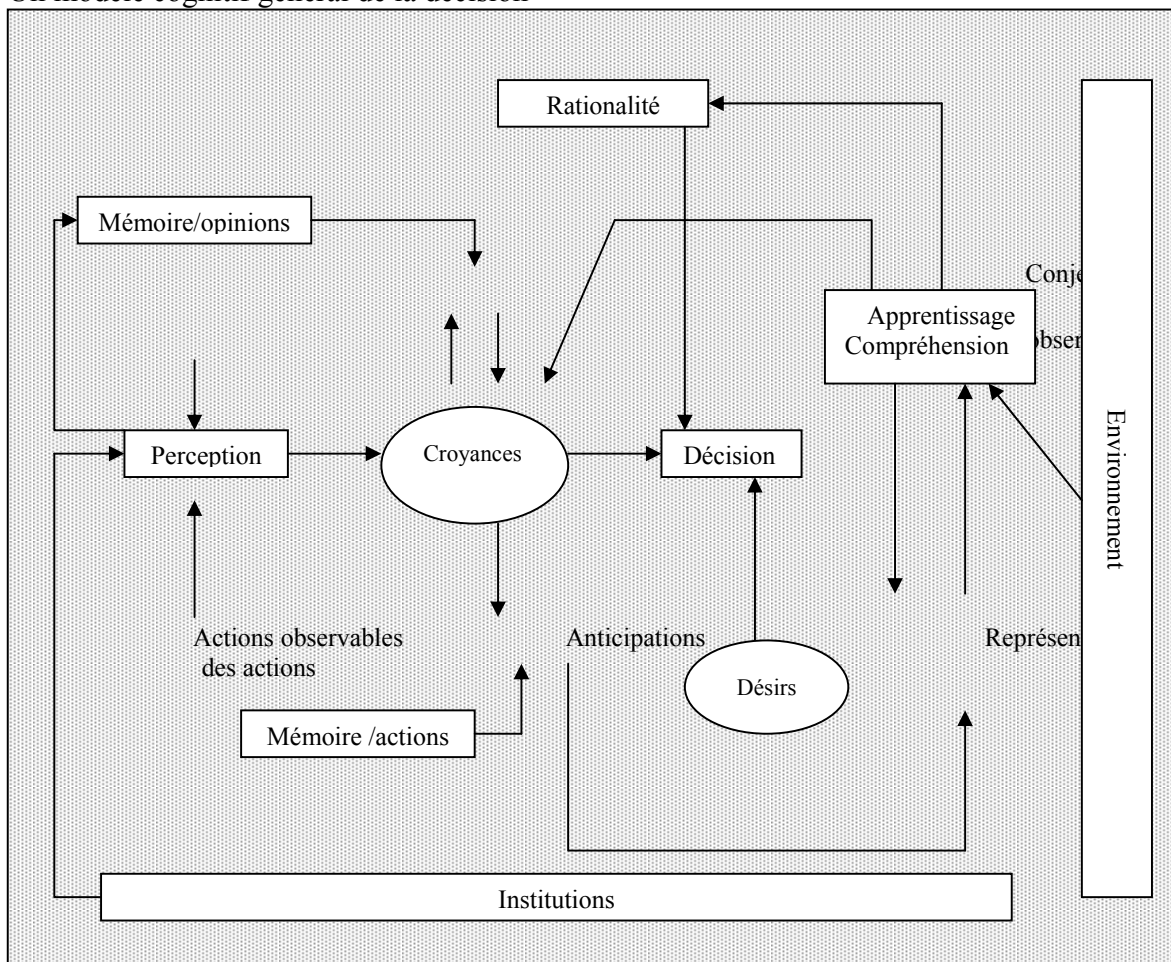
- L'existence de décisions qui ne résolvent pas vraiment les problèmes.

3.4. Modèle cognitif B. MUNIER³⁷

En 1994, **B. MUNIER** a proposé un modèle CRD (Croyance- Désirs- Rationalité) selon lequel le processus cognitif de la décision est composé de fonctions de mémorisation (croyances, compréhension et rationalité contingente) et de fonctions d'apprentissage et de coordination.

La **figure (14)**³⁸ présente le modèle cognitif.

Un modèle cognitif général de la décision



³⁷ . MUNIER B., (1994), "Décision et cognition", *Revue Française de gestion*.

³⁸ .Ibid.

Les désirs du décideur provoquent "un besoin de faire quelque chose", puis ses croyances le conduisent à choisir des moyens de l'entreprendre, enfin sa rationalité lui permet d'arbitrer entre ses désirs et les possibilités recensées.

Cela nous mène à une réflexion sur ce modèle dans le cadre de notre recherche où le décideur (l'agent financier humain) travaille au sein de la Bourse afin de prendre une décision : on peut dire dans la majorité des cas que le décideur se comporte selon ce modèle.

Enfin, la conséquence la plus importante que nous pouvons déduire des modèles psychologiques, c'est qu'ils accordent un rôle important à la personnalité et à la mentalité du décideur en général et à l'agent financier en particulier (l'influence des rumeurs sur la décision au sein de la Bourse).

4- Application de la décision

Dans une perspective dynamique de pilotage de l'organisation, les processus décisionnels ne s'arrêtent pas à la formulation du choix, mais ils se poursuivent par la mise en pratique de ce choix et par le suivi des résultats des actions qui en découlent.

4.1. La mise en œuvre

La mise en œuvre des décisions sera plus ou moins longue et importante s'il s'agit de décisions répétitives à court et moyen terme pour lesquelles des procédures de routine sont mises en place, ou bien de décisions stratégiques à long terme nécessitant des moyens nouveaux ou des procédures nouvelles de fonctionnement. Par exemple : la mise en œuvre d'un processus décisionnel de réapprovisionnement de matières utilisées couramment est une action répétitive parfaitement délimitée utilisant des procédures éprouvées par des acteurs expérimentés.

4.2. Le suivi et le contrôle

Le suivi et le contrôle des décisions et de leurs résultats consistent à concevoir et à utiliser des systèmes d'information pertinents pour ces tâches. Chaque mode de collecte

et de traitement des informations, manuel ou ordinateur, est employé selon l'ampleur des décisions à gérer : suivi quantitatif physique en production, suivi comptable, contrôle de gestion pour le calcul des coûts, contrôle de la qualité, etc.

Plus le système d'information est formalisé, plus la décision est routinière et plus le suivi de la décision sera facilité, parfois même entièrement automatisé.

Le contrôle est d'autant plus nécessaire que la boucle de rétroaction est lente. En effet, si une décision produit des effets à long terme, on ne pourra attendre le résultat pour savoir si la décision a été bien appliquée. Dans ce cas il convient donc de contrôler son exécution.

La mise en place d'un contrôle rigoureux est également particulièrement recommandée quand :

- les conséquences de la décision sont importantes et irréversibles, comme par exemple des décisions sur les marchés financiers "dans le cadre de notre recherche" ;
- l'organisation est elle-même soumise à un contrôle extérieur, par exemple pour l'application de consignes de sécurité.

Enfin, suivi et contrôle sont nécessaires pour disposer d'un jugement sur les décisions prises et leurs effets, de manière à bénéficier d'une expérience qui permettra d'améliorer les prochaines décisions par une meilleure connaissance des liens de cause à effet dans un type de gestion, comme nous l'avons déjà indiqué dans la **figure (8)– chapitre (1)**.

5 - Les limites et la fin du processus de décision

Toute action peut être soit programmée, soit décidée. Une action programmée découle de décisions antérieures qui ont porté sur les règles et les modèles d'action. La limite de la programmation est la résultante de deux facteurs : le coût et l'insuffisance d'information.

En conséquence, la prise de décision est limitée par l'absence relative d'information et par l'impossibilité logique d'établir un modèle complet. La décision est donc déplacée du domaine du certain vers celui du probable. Tout acte programmé peut être automatisé, seule la

décision restera le propre de l'homme : on retrouve la prépondérance du facteur humain dans le processus de décision. Il n'est pas possible de déterminer simplement l'origine précise de la plupart des décisions. L'opportunité ou la nécessité de prendre une décision passe souvent inaperçue, car initialement le problème n'est pas aperçu dans toute son ampleur.

Il y a d'abord une succession de microdécisions, d'engagements successifs qui paraissent négligeables, mais en fait entraînent l'organisation dans le processus de décision. De façon symétrique, la décision ne s'achève pas réellement à la prise de décision officielle.

Le processus se poursuit au moins implicitement jusqu'à son exécution finale : la décision peut être remise en cause, infléchie, retardée par ceux qui sont chargés de sa mise en œuvre et de fait disposent d'un pouvoir implicite de décision.

Finalement les théories du processus de décision apparaissent comme un ensemble critique appuyé par de nombreuses études empiriques, dont le caractère non normatif peut décevoir l'utilisateur.

Cependant, de ces théories, dont on ne déduit ni recettes ni certitudes, on peut tirer quelques recommandations et enseignements. Ainsi toute prise de décision importante devrait conduire les responsables à :

- prendre en compte le contexte de la décision: recherche de ses implications techniques et humaines (les acteurs, leurs attentes, leurs relations) et détermination de sa véritable nature (financière, technique, organisationnelle) ;
- déterminer l'origine de la demande, en effet c'est à l'origine que la demande de décision doit être éventuellement reformulée en accord avec les objectifs de l'organisation ;
- favoriser les informations de type feed-back, c'est-à-dire les capacités d'adaptation et d'apprentissage de l'organisation ;
- accepter l'inflexion ou la reformulation des objectifs initiaux que l'absence de certitude ne permet pas de maintenir de façon rigide ;
- analyser les modifications dans le cheminement du processus; la procédure, si elle doit être flexible, doit néanmoins être dirigée et contrôlée;
- explorer de multiples scénarios alternatifs: élargissement du domaine de l'étude pour

- réduire l'incertitude et éviter les choix a priori ;
- démasquer les décisions implicites résultant de contraintes *a priori* discriminantes (délais et prix, par exemple) mais souvent réajustées a posteriori ;
 - analyser les compromis implicites entre les différents acteurs : la solution qu'ils adoptent, conforme à leurs propres objectifs, n'est pas obligatoirement optimale pour l'entreprise.

6 - Le système de décision

Le système de décision est un système de pilotage ou de contrôle. Il perçoit des informations, les analyse, les combine suivant un processus défini et génère de nouvelles informations : les décisions. La réussite de toute organisation repose sur des décisions saines, prises au moment opportun. Pour cela il est nécessaire de fournir aux responsables des informations qui soient à jour, suffisamment précises et surtout en rapport avec les aspects principaux des problèmes considérés.

C'est en cela que consiste le rôle fondamental d'un système d'information : fournir à chaque cadre les informations nécessaires pour déterminer et choisir des actions alternatives, pour planifier son secteur d'activité, pour contrôler le domaine dont il est responsable et ainsi contribuer à atteindre les objectifs de l'organisation. Le système d'information doit s'appuyer sur un système évolué de traitement de données, pour fournir à tous les managers sous une forme directement utilisable au moment voulu les informations dont ils ont besoin.

« Le produit final du management, en dernière analyse, ce sont des décisions et des actes »³⁹.

L'existence, l'activité de toute organisation dépendent structurellement de la nature des décisions qui sont prises en son sein par les centres de décisions. Ceci confirme l'idée fondamentale exposée précédemment qu'un système d'information doit être orienté vers la prise de décision.

³⁹ ·Druker P., (1959), Landmarks tomorrow, Harper and row,

6.1. Le modèle informatique

L'ordinateur est capable de choix logiques (Intelligence Artificielle), c'est-à-dire de prises de décisions. Dans cette conception le décideur dispose de mémoires (informations stockées), de programmes (qui permettent de faire des traitements sur les informations stockées) et d'organes de traitement (unité logique et arithmétique de l'ordinateur).

Dans un modèle informatique, la qualité des décisions dépend donc :

- De l'information disponible contenue dans les mémoires et des programmes utilisables selon le niveau de compétence du décideur ;
- De l'inadéquation de la décision prise par suite d'un programme mal exécuté ou en cas de mauvaise qualité de l'information.

En fait, ce modèle fournit un cadre méthodologique de rationalisation des procédures de décision qui ne peut s'appliquer qu'à une catégorie restreinte de choix.

6.2. Le modèle sociologique

Le sociologue **H. SIMON** a montré que toute décision s'élabore en trois phases : identification du problème, modélisation des choix possibles, sélection d'une solution.

L'élaboration des décisions au sein d'une organisation est un phénomène collectif. Le processus de décision s'effectue sur trois niveaux : l'institution, ses organes constitutifs et les membres de l'organisation.

L'objectif de toute organisation est de chercher à assurer sa pérennité et son développement. Les différents organes constitutifs (divers services) ont des points de vue particuliers et des objectifs spécifiques (ex. équilibre financier).

Le processus de décision est l'élaboration d'un compromis dans cette diversité. Le processus de décision peut parfois conduire à privilégier abusivement un point de vue particulier, ou il peut y avoir un objectif dominant en relation avec la culture et l'histoire de l'entreprise. Cela aboutit alors à des décisions créant des déséquilibres au sein de la firme et une inadaptation au marché.

Les différents membres de l'organisation ont chacun leurs propres buts, qu'ils privilégient par rapport aux objectifs généraux de l'organisation. L'entreprise doit donc chercher à intégrer les objectifs particuliers dans les objectifs généraux en les rendant compatibles et complémentaires, même s'ils étaient parfois contradictoires.

6.3. *Le modèle systémique*

L'analyse systémique permet de décrire le système de décision. Les variables d'entrée du système de décision proviennent du système d'information. Selon l'origine des informations, la décision prise par les organes de commande est stratégique, tactique ou opérationnelle. Le système de décision intervient en cas d'inadéquation des solutions mise en évidence lorsque le système physico-financier dévie de sa trajectoire initialement fixée (exemple : non-respect du plan de production). Dans le cas d'une inadéquation des objectifs il devient nécessaire de faire une correction et de les modifier (échec définitif du lancement d'un produit nouveau nécessite une redéfinition de la politique du produit).

7 - *Le management décisionnel*

Un système d'information facilite le processus de la prise de décision du décideur en apportant à ce dernier l'information pertinente.

Plusieurs facteurs entrent en ligne de compte dans le processus de prise de décision :

- un ensemble d'options (par exemple fermer ou agrandir une usine) ;
- un ensemble d'états *de la nature*. Ainsi on pourrait avoir deux états *de la nature* (événements) : augmentation des ventes de produits et diminution des ventes de produits ;
- les coûts et les bénéfices (en dollars) engendrés par chacune des options ;
- une probabilité de 60% pour chacun des états et de 40% pour la diminution ;
- des critères comme la maximisation du gain espéré ou la minimisation du coût attendu.

Le décideur peut prendre une décision dans une situation de certitude (acheter des dépôts à terme qui ne comportent aucun risque) ou d'incertitude (investir à la bourse lorsque l'indice de la bourse fluctue), comme nous allons le voir dans la deuxième partie.

La subjectivité du décideur gêne parfois le processus de la décision : par exemple, lorsqu'il prend une décision à propos de la stratégie, des facteurs personnels (anxiété, type de formation, intérêts et ambitions, etc.) et politiques (influences des supérieurs, etc.) peuvent entrer en ligne de compte. Il prend souvent sa décision de façon intuitive et spontanée, et celle-ci repose alors davantage sur ses sentiments que sur la raison. Mais il peut s'efforcer de procéder de façon analytique et logique.

7.1. L'approche décisionnelle

Les outils d'aide à la décision appelés souvent EIS⁴⁰ (Executive Information System) que nous allons présenter de façon plus précise au **chapitre (4)** furent destinés en premier lieu aux dirigeants, mais commencent à être diffusés dans les services de certaines entreprises à l'usage des cadres supérieurs et des cadres moyens.

On doit cette évolution au désir d'avoir un processus de prise de décision concret, aisément communicable et facile à mettre en oeuvre par des équipes soudées autour des mêmes concepts. Ces concepts intègrent et vont au-delà de l'aide à la décision. Ils s'adaptent aux besoins de chaque organisation, ce qui leur confère un caractère opérationnel et une applicabilité presque immédiate.

Ce n'est pas une refonte d'ensemble, mais une évolution dans certaines parties du système d'information. C'est alors que l'entreprise peut poser les jalons de l'intégration de la composante décisionnelle dans son système d'information. L'objectif est d'identifier les pôles de décision importants et de les classer par ordre de priorité. Un pôle de décision ayant été retenu, il convient de procéder à un audit décisionnel (par entretiens) qui mette en lumière l'existence des réseaux de prise de décision centrés autour du pôle choisi.

⁴⁰ .l'équivalent en français des tableaux de bord électroniques TBE

L'audit a pour but de comprendre les processus décisionnels et d'en déterminer les dysfonctionnements puis d'en voir les améliorations possibles à travers des grilles d'évaluation et d'autres outils. Une première représentation du système de gestion, qu'il soit informatisé ou non, définit les chaînes décisions - actions, et le lien existant entre aide à la décision et automatisation. L'audit donne lieu à un rapport de diagnostic, qui offre un choix de solutions possibles quant à l'évolution du système d'information, tant sur le plan organisationnel qu'informatique.

7.2. Approche orientée vers l'aide à la décision

Flexibilité, rapidité et capacité de prise de décision permettent de mieux s'adapter aux fluctuations du marché et aux lois de la compétition. Un système d'information conçu dans une perspective d'automatisation s'appuyant sur des circuits administratifs et productifs existants, risque de perpétuer et même d'aggraver les rigidités organisationnelles alors que les gains de productivité restent potentiels.

De plus les grands processus informatisés- comme la comptabilité générale ou les salaires- ayant tendance à se standardiser, c'est par la pertinence et la qualité des processus de prise de décision propres aux modes de management et à la culture même de l'entreprise que celle-ci peut le mieux se démarquer des concurrents. Un système d'information orienté vers l'aide à la décision tient nécessairement compte de tous les aspects de l'organisation : motivation du personnel, démarche qualité, contrôle des coûts.

Le concept d'aide à la décision donne un sens aux flux d'information et permet de faire un tri systématique des besoins réels, séparant le superflu de l'indispensable et mettant en relief les carences existantes. La mise en place d'une plate-forme informatisée résoudra une partie du problème et constituera un excellent départ pour l'installation progressive d'un système d'information orienté vers l'aide à la décision.

Un tel système d'information peut contribuer à figer les structures d'une entreprise et augmenter certains phénomènes bureaucratiques ; cependant mettre en relief l'aspect décisionnel des structures de l'entreprise, c'est aider à trouver souplesse et capacité

d'adaptation pour mettre en oeuvre une nouvelle stratégie ou un nouveau plan d'organisation. Par des processus automatisés faisant ressortir des pôles de décision, le décideur humain obtient une vision à la fois globale et détaillée du fonctionnement de l'organisation.

Le fractionnement des moyens informatiques de la bureautique et de la microinformatique apporte aujourd'hui l'opportunité de réduire les coûts informatiques. Il s'agit là d'une décentralisation que la conception d'un système d'information orienté vers l'aide à la décision favorise et prend totalement en compte, ainsi qu'une rationalisation particulière sélective des besoins en information.

La bureautique est un point clé d'un système d'information orienté vers l'aide à la décision. Car un tel système permet d'associer bureautique et informatique traditionnelle dans un même ensemble et ainsi soulage la charge du département informatique en apportant un cadre de réflexion pour organiser sa décentralisation. La tendance actuelle de la réflexion en matière de management est d'aller vers une décentralisation du processus de prise de décision en termes de délégation et de responsabilisation du personnel : on parle de management participatif, d'excellence de qualité, de nouvelle culture, de structures en réseau, d'entreprises horizontales, de pyramide inversée, du modèle japonais ; l'informatique connaît la même orientation : on parle de traitement collaboratif, d'informatique interpersonnelle, d'augmentation de la productivité des équipes, de nouvelles formes de travail en commun (groupware), d'accès direct aux bases de données, d'architectures informatiques décentralisées (bureautique, downsizing, architecture client / serveur).

Le modèle en réseau s'impose en informatique comme en management ; après le succès des tableurs et de l'aide à la décision personnelle, les schémas collectifs d'aide à la prise de décision sont à l'ordre du jour. Une politique de décentralisation des processus de prise de décision n'atteindra pas ses objectifs, si le personnel de l'entreprise ne dispose pas de l'information nécessaire convenable pour ses propres prendre de décisions, limités bien entendu par le contrôle interne et le reporting. Le simple exécutant d'hier doit devenir un acteur intelligent, tout comme le simple terminal informatique passivement relié à un gros système se voit remplacé par des terminaux ou des micro-ordinateurs intelligents.

Le concept de système d'information orienté vers l'aide à la décision s'inscrit donc complètement dans la convergence entre management et informatique, ce qui constituera l'idée maîtresse de notre exposé du **chapitre (4)**.

Enfin, il est à noter que nous n'avons pas expliqué précisément ce que sont la plupart des systèmes d'aide à la décision, mais nous préférons le faire plus loin au **chapitre (4)**.

Chapitre 3

MÉTHODES D'AIDE A LA DÉCISION

Nous pouvons compter sur plusieurs méthodes qui permettent d'éclairer le décideur au cours de certaines phases du processus de décision. Les méthodes à mettre en œuvre dépendent de la nature du problème à résoudre et de l'information plus ou moins précise (complète) des différents paramètres et éventualités associés à la décision.

Dans le chapitre I nous avons mis en évidence les bases de la prise de décision (méthodes non quantitatives), et au cours de l'étude exposée au chapitre précédent nous avons donné quelques explications sur le système de décision. A partir de ces démarches nous allons aborder dans ce chapitre les différentes méthodes classiques d'aide à la décision dans différents univers.

Il est classique de regrouper ces différentes méthodes en quatre catégories, selon un ordre d'incertitude croissante du problème à résoudre.

1 - L'aide à la décision en univers certain

En univers certain, le décideur connaît de façon précise les événements économiques futurs, et il est capable de prévoir les conséquences de ses choix. Mais cette hypothèse rarement vérifiée, se limite concrètement aux problèmes d'exploitation à court terme.

Les méthodes d'aide à la décision peuvent néanmoins jouer un rôle important dans l'évaluation des effets des différents choix possibles en les comparant, et en permettant ainsi au décideur de sélectionner la meilleure solution.

Dans notre étude, nous ne pouvons pas présenter toutes les méthodes d'aide à la décision en univers certain, en voici les plus caractéristiques.

1.1. La programmation linéaire

Cette méthode est due au mathématicien américain **RICHARD BELLMAN**⁴¹ ; elle est adaptée au choix d'un itinéraire optimal ou à la définition d'un programme optimal de décisions séquentielles.

En d'autres termes, la programmation linéaire est une technique de décision qui aide à déterminer la combinaison optimale permettant de résoudre des problèmes et d'atteindre les objectifs souhaités. On applique la programmation linéaire dans la situation suivante : il s'agit d'optimiser un objectif, c'est-à-dire rechercher une valeur maximale ou minimale, en termes de profits, de coûts, de temps ou de quantité. Les relations entre les variables ou les forces qui influent sur le résultat sont linéaires, graphiquement représentées par des lignes droites: par exemple si la production d'une unité demande cinq minutes, celle de dix unités exigera cinquante minutes. Les relations entre variables butent sur des obstacles ou ont des limites : sans ces contraintes, la programmation linéaire serait inutile, puisqu'on pourrait atteindre sans encombre l'objectif.

Le calcul se fait par itération, qui est une méthode par laquelle une règle mécanique détermine à la fin de chaque étape, ce que devra être l'étape suivante. Ainsi, la valeur obtenue à chaque étape approche de plus en plus la réponse la meilleure. Cette technique recourt d'habitude à l'algèbre matricielle ou à des équations mathématiques. Au nombre des problèmes de programmation linéaire caractéristiques, on peut compter la maximisation du produit fabriqué, la minimisation des coûts de distribution, la détermination du niveau optimal

⁴¹ . TERRY R., FRANKLIN G., (1985), *Les principes du management*, Economica.

des stocks.

Enfin, nous citerons différentes méthodes recensées en programmation linéaire :

-
- Méthodes classiques de résolution (graphique, algébrique, matricielle) ;
 - Méthodes du simplex.

1.2. Méthode d'ordonnement

Certaines tâches composant un projet doivent être réalisées simultanément et d'autres successivement. Le problème qui se pose est de trouver, compte tenu des conditions d'antériorité et des durées de chaque tâche, la durée du projet et le calendrier de chaque tâche. Les méthodes permettant de répondre à ce problème sont dites «méthodes d'ordonnement ».

Deux grandes méthodes d'ordonnement sont utilisées :

- Le diagramme de GANTT, du nom de son inventeur, date du début du 20^{ème} siècle. Ce type de diagramme, fort pratique pour la communication, est peu utilisé lorsque le projet est un peu complexe. En effet, le diagramme de GANTT n'intègre pas les interdépendances ;
- La méthode P.E.R.T. (Program Evaluation and Review Technique)⁴² ou la méthode C.P.M. (Critical Path Method). Cette méthode développée par la marine américaine US Navy dans les années 50 produit un réseau logique de tâches en fonction de leur lien de dépendance. Le positionnement « au plus tôt » et « au plus tard » de cet enchaînement calcule les marges et détermine le chemin critique du projet. La technique PERT-Cost par opposition à la technique PERT-Time consiste donc à affecter les ressources aux tâches de ce réseau. Dans ce cas, ce sont bien les tâches qui pilotent les ressources⁴³.

⁴² .CHEKROUN E., (1985), *Aide à la décision*, MST CF, UV 14, AENGDE- SIREY, Paris.

⁴³ . DEGOS J-G., (1974), « La technique des réseaux PERT au service de la technique comptable », *Thèse d'Economie et Administration des entreprises*, 244pages.

Cette méthode est conseillée pour un projet unique dont les délais sont connus. L'ordonnement par les charges s'applique lorsqu'il s'agit d'intégrer un nouveau projet dans une structure où les ressources sont identifiées et partagées entre plusieurs activités. L'objectif de la démarche est de déterminer la date de fin du nouveau projet sans trop perturber l'ensemble. La technique consiste alors à intégrer les nouvelles tâches dans une liste d'activités à traiter a priori pour l'affectation des ressources, dont la disponibilité est définie par leur calendrier. Dans ce cas, ce sont les ressources qui déterminent les activités.

1.3. *Mathématiques financières*

A ce stade, le champ des mathématiques financières est très vaste et pour cela nous nous bornerons à une dimension, celle de la décision d'investissement (la rentabilité d'un investissement).

Le choix d'un investissement s'effectue dans un contexte fini de capacité de financement parmi plusieurs types d'investissement soit au niveau individuel soit au niveau d'une entreprise. La méthode utilisée pour départager les propositions est alors le "critère de rentabilité"⁴⁴ appréciable sous trois formes :

- la plus simple, le «pay-back time» est le quotient de l'investissement par la capacité supplémentaire d'autofinancement annuel généré. Le choix s'effectue sur les durées de retour sur investissement les plus courtes ;
- plus élaborée, la valeur annuelle nette (VAN) intègre le taux d'actualisation propre à l'entreprise (incluant la part de risque). L'entreprise se fixe un horizon, par exemple trois ans, et classe les différents projets en VAN à cet horizon ;

⁴. DEGOS J-G., (1977), « La technique des réseaux PERT au service de la mission censoriale, *mémoire expertise comptable*, Paris, 128 pages.

⁴⁴. KREIT Z., (2000), "La décision stratégique de l'investissement", *cahier de recherche*, université Saint-Joseph, Faculté de gestion et de management, Beyrouth.

- variante de la précédente, le **TRI** (taux de rentabilité interne) donne, pour le même horizon, le taux probable atteint à confronter au taux d'actualisation plancher choisi.

Enfin, nous pourrions citer ainsi beaucoup de méthodes d'aide à la décision en univers certain, par exemple :

- Méthode des transports ;
- Programmation dynamique ;
- Problème d'affectation ;
- Études comparatives.

Mais nous avons présenté seulement quelques-unes, parce que nous nous intéressons à la méthode d'aide à la décision en univers incertain dans lequel entre le cas de la décision boursière (**chapitre 6**).

2 - L'aide à la décision en univers aléatoire

En univers aléatoire, le décideur a connaissance des diverses éventualités liées à la décision et peut leur associer une probabilité.

Ces décisions sont un peu moins certaines que les décisions certaines mais un peu plus certaines que les décisions incertaines. Pour en donner une définition un peu plus claire, une décision est dite « aléatoire » lorsque certaines variables ne sont pas totalement maîtrisées par l'entreprise mais sont connues en probabilité (entendons par là « pouvant être mathématiquement probabilisées »). Lorsqu'une variable est connue en probabilité, il s'agit d'une variable aléatoire c'est-à-dire une variable dont on connaît la probabilité pour qu'elle prenne telle valeur.

2.1. L'arbre de décision

Cette méthode a été mise au point aux États-Unis vers les années 1950 dans la prospection pétrolière. Elle a fait l'objet d'un certain nombre d'articles dans la "Harvard

Business Review"⁴⁵ qui ont contribué à la faire connaître en France. L'arbre de décision est une méthode de formalisation de la situation et de ses conséquences. Elle consiste à représenter les multiples enchaînements possibles de décisions, d'événements et de résultats sur un seul «arbre». Décisions et événements se suivent, mais les résultats doivent être tous présentés dans la dernière colonne, à droite de l'arbre. Cette méthode est employée pour le décideur unique, elle doit représenter le problème tel qu'il le ressent. La préparation de la décision n'est valable que pour l'époque précise pour laquelle l'étude est faite. Si la décision attend plusieurs mois pour être prise, il faudra probablement recommencer ou compléter l'étude précédente car des éléments auront changé, d'autres devront être ajoutés, ne serait-ce que ceux, quelquefois inconscients, qui ont empêché que la décision soit prise.

De plus, l'arbre de décision fait appel aux probabilités et aide à la prise de décision. Il représente, sous forme de diagramme, un certain nombre d'événements futurs possibles qui peuvent influencer sur une décision.

Nous estimons et prendrons en compte les valeurs relatives des résultats prévisibles de chaque décision. Le résultat qui a la valeur finale la plus souhaitable indique le mode d'action à suivre, puisque c'est ce dernier qui aura le plus de chances de conduire au rendement le meilleur. A partir d'un point de décision, on relie un certain nombre d'actions et d'événements possibles par des segments de droites, si bien que la figure d'ensemble ressemble à un arbre couché, qu'on appelle arbre de décision, comme le montre la *figure (15)*.

Cette figure représente l'exemple suivant : un industriel a le choix entre acheter une nouvelle machine ou conserver l'ancienne ; ces deux actions possibles partent du point de décision situé à gauche du graphique. Supposons que les ventes de pièces détachées fabriquées avec cette machine augmentent ou diminuent avec des probabilités respectives de 0,65 et 0,35, comme l'indique le diagramme.

Pour des raisons de simplicité, nous utiliserons des estimations des cash flows nets obtenus dans le cadre des différents résultats. En guise d'illustration, l'estimation pour la

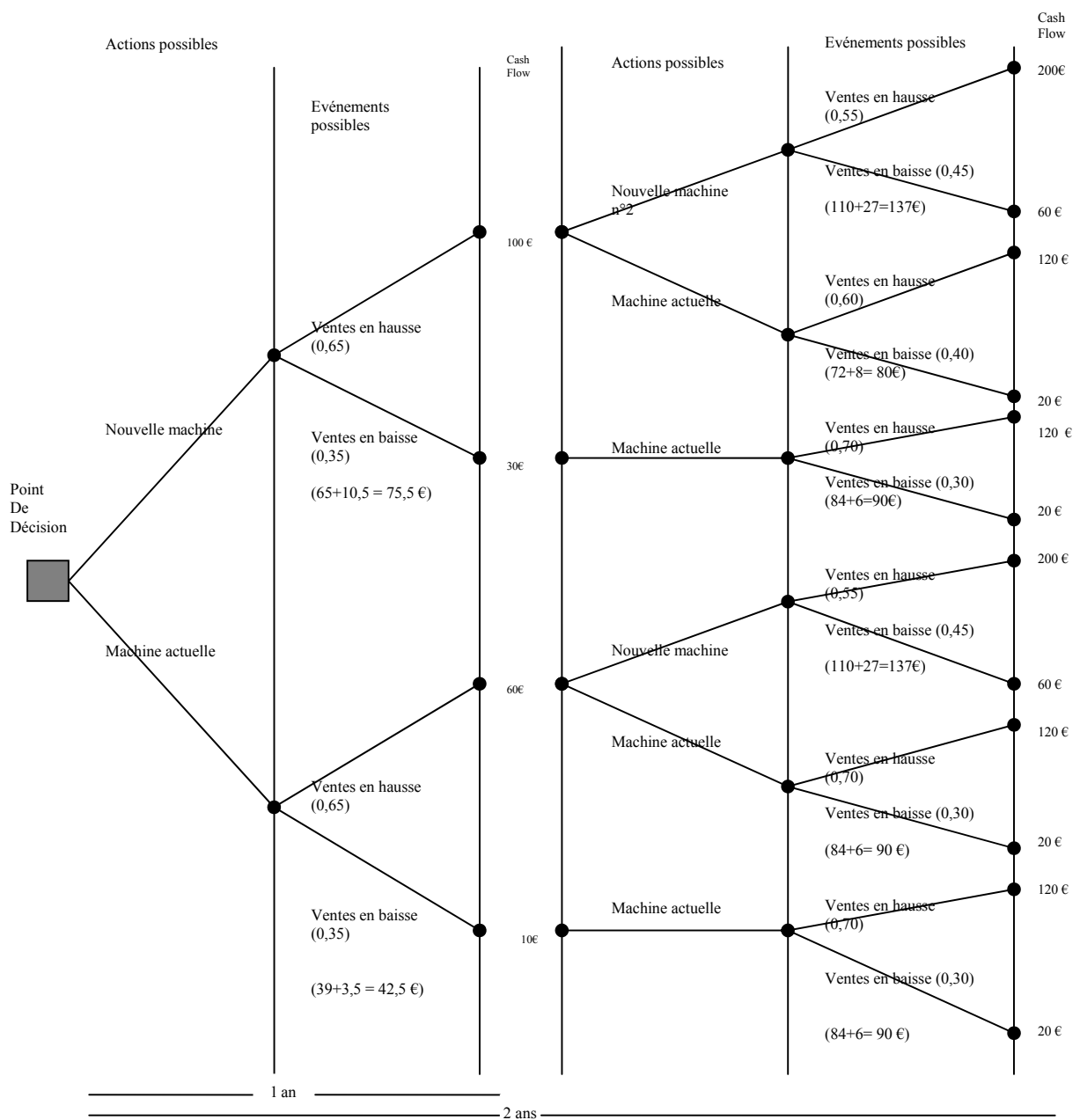
⁴⁵ . BOURION C., (2002), *Le processus de décision*, Editions ESKA.

nouvelle machine du cash flow net des ventes en augmentation est égale à 100 000 € ; toujours pour la nouvelle machine, celui des ventes en diminution égal à 30 000€.

Par contre, si l'industriel fait fonctionner la machine actuelle et si les ventes s'accroissent (en bas et à gauche sur la figure 14, le cash flow net estimé est égal à 60 000 € ; dans le cas d'une baisse des ventes, il tombe à 10 000 €. Ces données correspondent à un an de fonctionnement.

Si on multiplie le cash flow net par les probabilités et si on somme les résultats ainsi obtenus, on obtient la valeur totale que l'industriel peut attendre de toute action possible.

Sur la figure, elle est égale à 75 500 € pour la nouvelle machine ($0,65 \times 100\,000 \text{ €} + 0,35 \times 30\,000 \text{ €}$) et à 42 500 € pour la machine actuelle ($0,65 \times 60\,000 \text{ €} + 0,35 \times 10\,000 \text{ €}$). La meilleure décision est d'acheter la nouvelle machine parce que la valeur escomptée de son utilisation dépasse celle qu'offrirait la machine actuelle de 33 000 € ($75\,500 \text{ €} - 42\,500 \text{ €}$). L'arbre de décision permet à celui qui prend la décision d'évaluer les différentes possibilités en termes de meilleure estimation pour les résultats futurs.



Note : les chiffres en euros sont exprimés en milliers d'euros.

La conclusion qui s'impose en conséquence que présente les avantages de l'analyse par l'arbre de décision peuvent se concevoir comme suit :

- La construction de l'arbre de décision améliore la compréhension du problème et l'exposé de toutes les hypothèses ;
- C'est un outil précieux pour expliciter et faire comprendre les raisonnements sur l'incertitude et le risque ;
- L'arbre de décision élaboré doit permettre aux managers de contrôler l'évolution de leur projet et d'en reprendre l'analyse à chaque étape de la décision, dès la réception de nouvelles informations.

2.2. Méthode de la simulation

La simulation est une autre méthode d'aide à la décision, elle sert à obtenir des décisions intéressantes pour résoudre certains types de problèmes. L'idée qui est à la base de la simulation consiste à créer une abstraction de la réalité, et à faire un essai à blanc sur le problème en menant une expérience complète ou un processus jusqu'au bout afin d'observer les effets des variables sur le résultat final.

On construit un modèle fondé sur des données empiriques et on le soumet aux mêmes influences que dans la vie réelle. Dans la simulation, ces influences sont des quantités que l'on mesure, et leur apparition est déterminée par des tables de hasard ; elle est ainsi strictement aléatoire.

En d'autres termes, la démarche consiste à reproduire systématiquement ce qui se passe dans la réalité en construisant un modèle et en le soumettant aux mêmes rythmes ou influences que ce qui se joue dans la vie réelle.

Les modèles de simulation ont un caractère empirique. Ils n'ont pas le même caractère mathématique que les modèles de recherche opérationnelle, où on substitue des valeurs numériques aux variables des formules mathématiques pour chiffrer le résultat. Un modèle de simulation est une représentation quantitative des caractéristiques de comportement, des interactions, et des attributs immatériels sans logique de l'entité étudiée.

En outre, dans une simulation, on peut intégrer les activités sous forme de modifications de relations et de variables. C'est impossible lorsqu'on résout des équations pour optimiser un objectif. En réalité, un modèle de simulation ne sert pas à optimiser. Il est

essentiellement une démarche systématique de tâtonnement pour traiter des problèmes complexes.

2.3. La probabilité à l'aide de décision

Il convient, au stade où nous en sommes, d'introduire une présentation des probabilités et de leurs relations avec la décision. La plupart des décisions de gestion impliquent une incertitude plus ou moins grande, mais non une ignorance totale. Les dirigeants ont longtemps cherché à minimiser cette incertitude dans le résultat de leurs décisions.

A cette fin, ils ont utilisé différents moyens, comme l'assurance, l'analyse des réalisations passées, diverses techniques statistiques, et la théorie des probabilités chaque fois que cela était possible. L'utilisation des probabilités a pris de l'importance, à mesure qu'on a davantage appliqué certains instruments quantitatifs de prise de décision, comme la simulation, la méthode de Monte-Carlo et la théorie des files d'attente.

On peut considérer les probabilités comme un moyen systématique de traitement de l'incertitude qui consiste en une évaluation des données mathématiques censées représenter le phénomène étudié. Les probabilités sont ce qu'on en fait. Si le décideur pense, en pesant soigneusement expérience connaissances et sentiments, qu'il y a une certaine chance qu'un événement survienne ou qu'un résultat se produise, il est possible d'évaluer la probabilité d'arrivée de cet événement.

2.4. La méthode Monte-Carlo

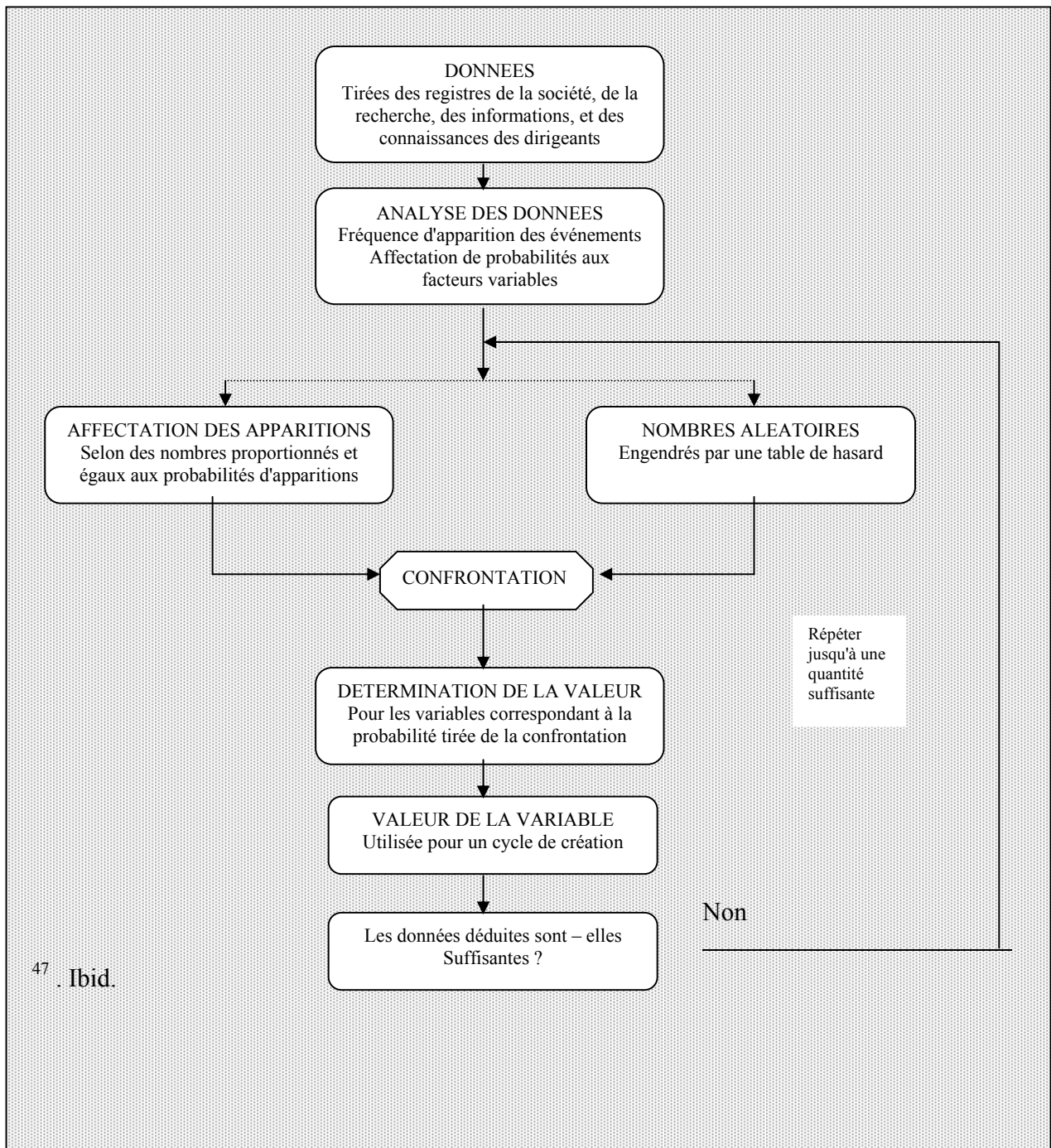
La méthode de Monte-Carlo⁴⁶ est une forme de simulation assez restreinte, mais elle inclut des probabilités. La simulation est représentée par un échantillonnage aléatoire, ce qui permet d'évaluer l'espérance mathématique de réalisation de l'événement. En d'autres termes, l'échantillonnage aléatoire sert à simuler des événements naturels afin de

⁴⁶ .Ibid.

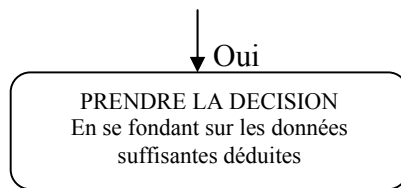
déterminer la probabilité de l'événement étudié. On se sert d'une table de hasard pour obtenir l'échantillon aléatoire.

La méthode de Monte-Carlo est un procédé de tâtonnement destiné à montrer ce qui se passerait si certains événements, normaux et anormaux, venaient à se produire. C'est une démarche de prévision, qui indique ce qui se produira probablement dans la réalité sans analyser des événements existants comparables. Les applications possibles sont nombreuses. La technique est facile à appréhender et à utiliser. *La figure (16)* montre son ossature de base.

Ossature de base de la méthode de Monte – Carlo⁴⁷



⁴⁷ . Ibid.



On peut utiliser la méthode de Monte-Carlo pour répondre à des problèmes comportant essentiellement les questions suivantes :

- Quelles sont les chances pour qu'un événement, ou des combinaisons d'événements, se produisent dans un processus donné ?
- Quelle décision adopter face aux différentes possibilités ?
- Quels sont les risques normaux de défaillance d'une machine donnée ?

On peut aussi appliquer la méthode de Monte-Carlo à la détermination de la quantité d'un matériel spécial qu'il faut produire pour répondre à une commande donnée de telle façon qu'on minimise l'excédent de production. Une des démarches consiste essentiellement à déterminer les facteurs qui influent sur l'excédent et à calculer ensuite la probabilité que ces facteurs interviennent dans les proportions requises pour obtenir exactement la quantité désirée.

On peut également utiliser la méthode de Monte-Carlo pour déterminer la quantité la meilleure qu'il faut produire à l'intention d'un bon client régulier, afin de parvenir à un fonctionnement satisfaisant de la production. On stocke l'excédent d'une période de fabrication, et on peut calculer avec une quasi-certitude l'époque et la quantité des ventes futures au bon client.

De même, dans le même ordre d'idées, la méthode de Monte-Carlo sert à déterminer la quantité optimale en personnel qui équilibrera le coût des heures supplémentaires et le coût de ressources humaines excédentaires.

Une autre application consiste à calculer le délai optimal entre les visites d'entretien de certains équipements et les réalisations successives des commandes qui

minimise le temps de fabrication.

2.5. La théorie des files d'attente

Il y a beaucoup de problèmes de gestion dus à la rupture de cadence entre deux parties qui s'appellent (le présentateur de services et le demandeur de services), nous pouvons citer quelques causes à l'origine de ces problèmes :

- des employés inoccupés, des machines ou des matériaux en attente d'utilisation, en raison d'installations insuffisantes pour leur emploi immédiat ;
- des installations qui sont utilisées à un régime inférieur à celui de pleine capacité, par suite de la mauvaise cadence des arrivages des ressources nécessaires à leur utilisation ;
- des files d'attente entraînent une perte de temps, une main-d'œuvre oisive, des coûts excessifs. L'objectif de la théorie des files d'attente est de minimiser ces pertes.

Entre autres situations représentatives de cet état de fait, on peut citer les caisses dans un supermarché, les matériaux en attente d'usinage (équilibre de la chaîne), les avions qui tournent au-dessus d'un aéroport en attendant d'atterrir, les rampes d'accès et les péages sur les voies rapides.

La théorie des files d'attente se préoccupe des flux, et concerne également, au-delà des exemples précédents, les flux de communication et les flux de matières. Elle s'intéresse donc à un réexamen des processus administratifs et des transferts de matières.

Cette technique implique une comparaison entre les dépenses entraînées par les files d'attente existantes et le coût de fourniture d'installations supplémentaires. On se sert fréquemment de la méthode de Monte-Carlo pour fixer les cadences d'arrivage du matériel aux installations et obtenir les délais auxquels on peut s'attendre.

Cette démarche est particulièrement intéressante lorsque les files d'attente ne sont pas

constantes. On recourt à une analyse mathématique sur ordinateur et on a souvent besoin d'équations ou de modèles complexes.

Dans des conditions données, la théorie des files d'attente a montré que si vingt-neuf clients arrivaient chaque heure de façon aléatoire au guichet de vente de timbres d'un bureau de poste, chaque client prenant deux minutes pour effectuer son opération, il y aurait une file d'attente de vingt-huit clients et un temps d'attente moyen de cinquante-huit minutes. Si on ouvre un deuxième guichet, la file d'attente est réduite à moins d'un client. Les vingt-six heures-clients économisées $[(28-1) \times 58/60]$ sont gagnées au prix d'un seul agent de guichet supplémentaire: le gain est intéressant.

3 - L'aide à la décision en univers conflictuel (hostile)

En univers conflictuel, les événements sont constitués par les stratégies des concurrents. L'univers est naturellement composé de joueurs hostiles (différents intérêts). Les décisions envisagées concernent, par exemple, les actions commerciales, et plus généralement les principales décisions des responsables d'une entreprise en situation d'oligopole.

Cette situation conflictuelle constitue le domaine privilégié d'application de la théorie des jeux.

3.1. La théorie des jeux

3.1.1. Définition des termes

Le propos de la théorie des jeux est l'étude de toute situation présentant des caractéristiques semblables à celle des jeux de société, c'est-à-dire de situations où les individus font des choix en situation d'interdépendance, dans un cadre déterminé à l'avance. Son objectif essentiel est de préciser ce que sont des comportements rationnels.

Un jeu est un ensemble de règles définissant les gains et les pertes d'individus rationnels (les joueurs), suivant les choix qu'ils exercent. A chaque coup ou tour du jeu,

chaque joueur peut choisir entre des actions définies par le jeu. Suivant le type de jeu, ces actions peuvent être consécutives - le joueur A joue, puis B, puis de nouveau A (échecs, bridge) - ou simultanées - au premier coup, A et B jouent, aucun des deux ne connaissant le choix de l'autre, de même au deuxième coup (poker).

L'ensemble des actions effectuées par un joueur au cours d'un jeu s'appelle une stratégie. Si le jeu considéré n'a qu'un tour, la stratégie se confond avec l'action. Les gains représentent une donnée quelconque mesurable perçue par un joueur. Le gain d'un joueur X pour un tour est fonction de l'action de X mais également des actions des autres joueurs. Les jeux à plusieurs joueurs sont souvent représentés par une matrice (exemple 2). Les choix rationnels dépendent fortement des règles du jeu : on distingue donc les cas d'information complète - chacun des participants connaît ses possibilités d'action, l'ensemble des choix des autres joueurs, toutes les issues possibles et les gains qui y sont associés, les motifs des joueurs et les siens propres - et les cas d'information incomplète.

On suppose généralement que la perspective est non coopérative, c'est-à-dire que chacun cherche à maximiser son propre gain et le sien seulement ; il existe cependant une théorie des jeux coopératifs où les joueurs peuvent passer des accords entre eux (former une coalition) et où le non-respect de ces accords est sanctionné.

3.1.2. L'histoire de la théorie des jeux

Le premier auteur à jeter les bases de la théorie des probabilités est le physicien et philosophe italien **GIROLAMO CARDANO (JEROME CARDAN)**, qui expose le concept d'anticipation et définit la notion de probabilité comme une fréquence relative. Au XVII^{ème} siècle, le chevalier de **MERE** et **PASCAL** fondent la théorie moderne des probabilités. **JAMES WALDEGRAVE** donne au XVIII^{ème} siècle la première solution d'un problème de jeu de cartes à deux joueurs en utilisant une matrice de probabilité. En 1928 **VON NEUMANN** établit le théorème du minimax : « Tout jeu à somme nulle et à deux joueurs, qui ont fait leurs choix dans des ensembles finis de stratégies pures, comporte au moins un équilibre en stratégies mixtes » ; on appelle stratégie mixte une distribution de probabilités affectée par un joueur à l'ensemble des stratégies pures. Mais la théorie des jeux ne naît

vraiment qu'avec la rencontre de Von Neumann et de **MORGENSTERN** (*Theory of Games and Economic Behaviour*, 1944)⁴⁸. Dans ce livre, les auteurs ne considèrent pas uniquement les jeux proprement dits, mais également les problèmes de comportement économique et ceux de l'organisation sociale.

La théorie des jeux a reçu sa consécration par l'obtention du prix Nobel d'économie, en 1994, de **JOHN F. NASH**, **JOHN C. HARSANYI** et **REINHARD SELTEN**.

3.1.3. Jeux à information complète et parfaite

En cas de jeu à coups successifs, la meilleure représentation est un arbre (dit arbre de **KUHN**)⁴⁹, dont le sommet est le coup initial du joueur A, et les branches les actions possibles. Les branches aboutissent à des nœuds représentant le moment où le joueur B fait son choix, ces nœuds formant autant de sommets de sous-jeux. A chaque issue est associé un vecteur de gains (a, b), a étant le gain du premier joueur et b celui du second. Toute décision est conditionnée par celle des autres. Comme les joueurs sont rationnels, ils doivent dresser la liste complète de toutes les stratégies possibles, même si dans les faits une seule est retenue, les autres n'ayant servi à rien. La solution d'un problème peut alors se faire par la méthode dite de récurrence à rebours.

Exemple 1:

Soit un monopole M et un candidat NV (nouveau venu) à l'entrée dans le marché monopolistique de M. Il y a deux possibilités pour NV : soit il entre, soit il n'entre pas. Quant

⁴⁸ . MOULIN H., (1979), *Fondation de la théorie des jeux*, Herman, collection " Méthodes " .

⁴⁹ . DEMANGE Gabrielle et PONSSARD Jean-Pierre., (1994), *Théorie des jeux et analyse économique*. PUF.

à M, soit il cède en limitant sa production pour éviter un effondrement des prix (partage de la production et des gains), soit il ne cède pas. On a donc trois solutions. Pour M : si NV décide de ne pas entrer, le gain est maximum (10) ; si NV décide d'entrer, alors il vaut mieux céder (gain de 4) que ne pas le faire (perte de 3). NV anticipe les choix de M : il décide d'entrer, car M cédera. La stratégie « NV entre et M cède » est appelée équilibre parfait. La méthode de récurrence à rebours consiste donc à raisonner à partir de la fin en déterminant d'abord les choix du dernier joueur.

3.1.4. Jeux à information complète et imparfaite

On suppose ici que la règle du jeu permet les coups simultanés, ce qui introduit une imperfection de l'information. On utilise généralement la représentation en forme normale qui fait appel à plusieurs tableaux de chiffres donnant les gains des joueurs pour chacune des issues possibles. Généralement on ne peut pas alors résoudre le problème par une récurrence à rebours. On doit donc employer d'autres méthodes : on fait souvent appel à l'équilibre de **NASH** : « toute combinaison de stratégies (une par joueur) telle qu'aucun joueur ne regrette son choix après avoir constaté celui des autres joueurs. »⁵⁰ La situation d'équilibre parfait est aussi un équilibre de **NASH**. Dans le jeu de l'exemple 1 il y a ainsi deux équilibres de **NASH** : l'équilibre parfait et la stratégie NV n'entre pas-M ne cède pas, qui repose sur la menace de M de ne pas céder (NV n'a pas alors intérêt à entrer).

Un jeu peut comporter plusieurs, voire une infinité d'équilibres de **NASH**. L'idée constitutive de l'équilibre de **NASH** est que chacun cherche à maximiser ses gains, en dehors de toute autre préoccupation.

Il peut être sous-optimal (exemple 2). Il résulte de prévisions auto-réalisatrices : chacun pensant que les autres vont choisir telle solution, celle-ci se réalisera effectivement.

3.1.5. Jeux de conflit et de coopération

⁵⁰ . GUERRIEN Bernard., (1995), *La théorie des jeux*, Economica.

Souvent la maximisation du profit à court terme peut être sous-optimale. C'est le cas dans le « dilemme du prisonnier » (TUCKER, 1952)⁵¹.

Exemple 2:

Soient A et B deux prisonniers interrogés séparément par la police. A chacun des prisonniers la police propose le marché suivant : si l'un avoue que l'autre est coupable, il a une remise de peine de un an et l'autre prendra 4 ans de prison. Si aucun des deux ne dénonce l'autre, ils n'ont pas de peine, faute de preuves. S'ils se dénoncent mutuellement ils prennent chacun deux ans. On a alors :

| Dilemme du prisonnier | | |
|-------------------------|------------------|-----------|
| Choix de A / Choix de B | Ne dénonce pas A | Dénonce A |
| Dénonce B | 0, 0 | -4, 1 |
| Ne dénonce pas B | 1, -4 | -2, 2 |

Si A dénonce B, B a plus intérêt à dénoncer A (2) qu'à ne pas le dénoncer (-4). Si A ne le dénonce pas, B a plus intérêt à dénoncer A (1) qu'à ne pas le dénoncer (2). Quelle que soit la stratégie de A, B gagne plus en le dénonçant. B dénonce donc A. A tient le même raisonnement. Ils prennent donc tous les deux 2 ans de prison, ce qui est un résultat sous-optimal.

Dans l'exemple 2 la coopération n'est pas possible. Mais si elle est possible, et dans un jeu répété où à chaque tour chaque joueur fait son choix en fonction des résultats des tours précédents, on observe que la meilleure stratégie, entre la stratégie "gentille" (ne jamais avouer), "méchante" (toujours avouer), au hasard et selon la réciprocité conditionnelle (tit-for-tat ou donnant donnant), est celle du donnant-donnant : le premier choix est celui de la coopération, puis le joueur B fait la même chose que l'autre aux coups précédents (expériences de DELAHAYE). Chaque violation d'une coopération entraîne une vengeance, donc les

⁵¹ . SHUBIK M., (1991), *Théorie des jeux et sciences sociales*, Economica.

chances qu'une coopération s'établisse à la longue, surtout quand les joueurs ne savent pas combien il y aura de tours.

On peut ainsi intégrer à la théorie des jeux la notion de réputation (sous-entendu : de non-rationalité) avec des comportements de coopération, même si le profit individuel n'est pas maximisé.

3.1.6. Jeux à information incomplète

S'il y a trop d'incertitude, il devient presque impossible de construire des modèles. La modification apportée au modèle de départ consiste donc à supposer que certains des paramètres (issues, gains, comportements) du modèle à information complète peuvent prendre, de façon aléatoire, diverses valeurs. Les valeurs possibles sont connues de tous, mais pas nécessairement celles qui sont effectivement prises par les paramètres. (**HARSANYI**, *Games with incomplete information played by Bayesian players*, 1967)⁵².

En fait l'incertitude porte sur le type qui sera pris par chaque joueur. **HARSANYI** propose d'introduire un joueur fictif, appelé Nature, dont le rôle est de fixer au début du jeu le type de chaque joueur. Chacun connaît son type, mais pas celui des autres : il y a donc asymétrie d'information.

Chaque joueur détermine la stratégie qui maximise son espérance de gain, compte tenu des types que peuvent prendre les autres joueurs. Le jeu cesse quand ces stratégies sont déterminées. Il y a équilibre quand chaque joueur, constatant le choix des autres, ne regrette rien équilibre dit de **BAYES** (relevant de la catégorie des équilibres de **NASH**)⁵³ parce que les joueurs utilisent la règle de **BAYES** (règle statistique calculant une probabilité « *ex post* » à partir d'une probabilité « *ex ante* ») pour vérifier si leurs anticipations sur le type des autres

⁵² .Ibid .

⁵³ . BOURSIN Jean-Louis., (1998), Initiation à la théorie des jeux. Montchrestien.

sont correctes. Cet équilibre implique que les croyances (à propos du type des autres joueurs) soient vérifiées.

La plupart des jeux à information complète utilisés en économie sont des jeux de signalisation : Nature choisit le type de A qui prend alors sa décision. Le choix de A apparaît à B comme un signal à partir duquel il cherche à établir le modèle pris par A au moyen d'un calcul de probabilité. B peut alors déterminer son choix compte tenu du signal reçu (A ayant anticipé cette décision).

Si l'on reprend l'exemple 1, on suppose que l'incomplétude de l'information vient de ce que le monopole ignore si le nouveau venu a des coûts de production élevés ou bas.

Il suppose donc qu'il est de l'un ou l'autre type, et attribue une probabilité à chacune de ces deux éventualités. Pour déterminer un équilibre de **BAYES** parfait, on procède par régression à rebours en partant de M. Si NV n'entre pas, M poursuit sa production.

Si NV entre, M doit décider s'il accepte ou non NV en tenant compte des coûts de production probables de celui-ci. M attribue ainsi une probabilité de 1 à une entrée de NV avec des coûts faibles, et une probabilité de 0,3 à une entrée avec des coûts importants. Il applique alors la règle de BAYES pour calculer les probabilités que les coûts de NV soient faibles ou importants, lorsque NV entre.

$$\text{Prob (coûts faibles / NV entre)} = 0,5 \times 1 / (0,5 \times 1 + 0,5 \times 0,3) = 0,77$$

La probabilité que les coûts soient élevés est alors de $1 - 0,77 = 0,23$.

M peut alors déterminer ses espérances de gain, lorsqu'il accepte ou refuse la présence du nouveau venu, celui-ci ayant décidé de produire.

Si M accepte : $0,77 \times 4 + 0,23 \times 2 = 3,54$. Si M n'accepte pas : $0,77 (-4) + 0,23 \times 12 = -0,32$. M accepte donc. NV entre alors, que les coûts soient faibles ou forts. Si NV décide d'entrer et M d'accepter, il y a équilibre de Bayes parfait.

4 - L'aide à la décision en univers incertain

En univers incertain le décideur a une connaissance, exhaustive ou non, des diverses éventualités, mais il n'a pas suffisamment d'informations pour leur associer une probabilité. C'est le cas de la recherche que nous avons menée (Chapitre 7) : le décideur (investisseur) au sein de la Bourse du Caire n'a pas suffisamment d'informations parce que le marché boursier en Egypte est sans indicateur.

Pour bien comprendre la méthode d'aide à la décision en univers incertain ou indéterminé, nous emprunterons à **A. GREMILLET**⁵⁴ l'exemple suivant: une société productrice de biens de grande consommation occupe 28 % du marché français contre 47 % et 20 % pour ses deux principaux concurrents et 5 % pour quelques entreprises marginales. Désireuse d'accroître sa part de marché et son profit, la société envisage quatre stratégies possibles :

- D1 - lancer un produit nouveau ;
- D2 - lancer une campagne publicitaire pour les produits existants ;
- D3 - mener une campagne de promotion des ventes pour ces mêmes produits ;
- D4 - pratiquer une politique de baisse des prix.

Au terme d'une analyse de la concurrence les dirigeants de la société sont amenés à considérer que la réaction des concurrents peut prendre trois formes:

- E1 -la concurrence réagit vite et avec vigueur à l'offensive menée par la société ;
- E2 -la concurrence riposte fermement mais toutefois sans agressivité ;
- E3 -la concurrence ne réagit que faiblement aux initiatives prises par la société.

Enfin, après avoir analysé les conséquences financières de chacune des stratégies dans le cadre de chacun des états de la nature, les dirigeants aboutissent à la matrice des gains suivants :

⁵⁴ . GREMILLET A., (1972), *Sélection et contrôle des investissements*, Les Éditions d'organisation, Paris.

| Etats de la Nature Stratégies de la Firme | Résultats attendus | | |
|---|---------------------------------------|--|---|
| | E1 Vive réaction de la Concurrence | E2 réaction moyenne de la concurrence | E3 faible réaction de la concurrence |
| D1 Produit nouveau | - 600 000 | 400 000 | 1100 000 |
| D2 Campagne publicitaire | - 50 000 - 400 000 | 100 000 200 000 | 300 000 700 000 |
| D3 Promotion des ventes | - 100 000 | 300 000 | 800 000 |
| D4 Baisse des prix | | | |

Adapté de GREMILLET. A.

Toutefois, en dépit de tous ces éléments d'information, ils ne se sentent pas en mesure d'affecter une quelconque probabilité de réalisation à chacune des réactions possibles de la concurrence. C'est dans le cadre d'une situation de ce type qu'un recours aux critères de décision de la théorie des jeux est parfois proposé⁵⁵.

Un très grand nombre de critères de décision ont été formulés : nous nous limiterons ici à la présentation et à l'évaluation des critères les plus significatifs, les critères de **LAPLACE**, de **WALD**, de **SAVAGE** et **HURWITZ** chacun d'eux correspondant à un type de comportement particulier des dirigeants d'entreprises⁵⁶.

4.1. Le critère de LAPLACE – BAYES

Ce critère consiste à effectuer une simple moyenne arithmétique des revenus espérés, associés pour chaque stratégie aux divers états de la nature, puis à retenir la stratégie dont la moyenne est la plus élevée. Dans l'exemple précédent, le choix du critère de **LAPLACE-BAYES** comme aide à la décision conduirait les dirigeants de l'entreprise à retenir la stratégie D4, c'est-à-dire une baisse de prix (tableau 2.2. ci dessous).

⁵⁵ . BENNION G., (1956), "Capital Budgeting and Game Theory", *Harvard Business Review*, Nov.-Dec, pp.115-123.

⁵⁶ . STARR K., (1966),"A Discussion of Some Normative Criteria for Decision-Making under Uncertainty", *Industrial Management Review* , pp.71-78.

L'avantage de ce premier critère réside dans sa simplicité de calcul, son inconvénient majeur est d'être peu réaliste : on prétend raisonner en avenir indéterminé, c'est-à-dire dans le cadre d'une situation où l'on ne peut pas, ou ne veut pas, affecter une probabilité de réalisation à chacun des états de nature, alors que le choix du critère de **LAPLACE- BAYES** équivaut, par l'intermédiaire du choix de l'instrument « moyenne arithmétique », à attribuer *implicitement* la même probabilité d'arrivée aux divers états de nature.

Figure 19- Tableau le choix du critère de **LAPLACE- BAYES**

| Etats De la nature Stratégies de la Firme | Résultats attendus | | | Valeurs des différentes stratégies | | | | |
|--|---|--|---|------------------------------------|--|---|---|---|
| | E1 Vive réaction de la concurrence | E2 réaction moyenne de la concurrence | E3 faible réaction de la concurrence | Critère de Laplace Bayes | Critère de Wald (Maximin) ou Hurwitz Avec $\alpha = 0$ | Critère de Savage (Minimax regret) | Critère de Hurwicz Avec $\alpha = 0,50$ | Critère du Maximax ou de Hurwicz Avec $\alpha = 1,00$ |
| D1 | -600 000 | 400 000 | 1100 000 | 300 000 | -600 000 | 550 000 | 250 000 | 1100 000 |
| D2 | -50 000 | 100 000 | 300 000 | 116 667 | -50 000 | 800 000 | 125 000 | 300 000 |
| D3 | -400 000 | 200 000 | 700 000 | 166 660 | -400 000 | 400 000 | 150 000 | 700 000 |
| D4 | -100 000 | 300 000 | 800 000 | 333 333 | -100 000 | 300 000 | 350 000 | 800 000 |

En outre, il correspond à un type de comportement des dirigeants d'entreprises tout à fait particulier, caractérisé par une *neutralité totale à l'égard du risque*. Nous verrons ultérieurement qu'un tel comportement est peu représentatif de leur attitude réelle à l'égard du risque : en effet ils sont rarement neutres à cet égard ; tantôt l'amour du jeu les conduira à un optimisme déraisonné, tantôt au contraire la crainte de l'échec les conduira à des évaluations systématiquement pessimistes du rendement de leurs projets d'investissement. C'est à des règles d'action correspondant à chacun de ces deux types de comportement que conduisent les critères suivants.

4.2. Le critère de WALD ou du « Maximin »

L'adoption de ce critère correspond à une attitude prudente du preneur de décision : celui-ci cherchera à identifier pour chaque stratégie possible l'état de nature qui conduirait aux moins bons résultats. Après quoi, il cherchera à se couvrir en adoptant la stratégie qui est susceptible de lui fournir, si l'évolution de la concurrence s'avère défavorable à l'entreprise, le résultat le moins mauvais possible (le Maximum des Minimums potentiels).

Le tableau 2.2. Nous montre que l'adoption du critère de WALD conduirait le chef d'entreprise à retenir la stratégie D2, c'est-à-dire le lancement d'une campagne publicitaire.

4.3. Le critère de SAVAGE ou du « Minimax Regret »

Comme le précédent, le critère de **SAVAGE** traduit une attitude de prudence de la part du chef d'entreprise : la méthode consiste à identifier pour chacun des états de nature la stratégie la plus favorable, puis à évaluer le manque à gagner (regret) que représenterait, par rapport à cette stratégie l'adoption de chacune des autres stratégies, enfin à retenir la stratégie conduisant au plus petit des regrets maximums.

Ainsi les regrets associés dans l'exemple précédent à chacune des stratégies concurrentes sont les suivants :

Tableau 2.3 - Matrice des regrets

| Etats de la Nature Stratégies de la Firme | Regret | | | Regret Maximum |
|--|---------|---------|---------|----------------|
| | E1 | E2 | E3 | |
| D1 | 550 000 | 0 | 0 | 550 000 |
| D2 | 0 | 300 000 | 800 000 | 800 000 |
| D3 | 350 000 | 200 000 | 400 000 | 400 000 |
| D4 | 50 0000 | 100 000 | 300 000 | 300 000 |

Il en résulte que c'est là encore à la stratégie D4, c'est-à-dire à une baisse de prix, que conduirait l'utilisation du critère de **SAVAGE**.

4.4. Le(s) critère(s) de HURWITZ

Les deux critères précédents ont un caractère commun : celui d'être associé à l'idée que la nature est fondamentalement hostile au joueur. C'est cette idée que **HURWITZ** remet en cause, en introduisant la possibilité d'une nature plus clémentine à l'égard du joueur.

Concrètement le critère qu'il propose consiste à calculer pour chacune des stratégies une moyenne pondérée H du pire et du meilleur de ses résultats potentiels, et à choisir la stratégie pour laquelle H est la plus grande

$$H = (1 - \alpha)m + \alpha M$$

avec

m : le pire des résultats

M : le meilleur des résultats

α : un coefficient compris entre 0 et 1 traduisant le degré d'optimisme du décideur.

Lorsque α est égal à 0, le critère de HURWITZ se confond avec le critère de WALD : la meilleure stratégie est alors D2 le lancement de la campagne publicitaire. Lorsque α est égal à 1, il conduit le décideur à ne prendre en considération que le meilleur des résultats potentiels (à cette éventualité correspondrait un optimisme à toute épreuve du décideur) et le choix de la stratégie D1, lancement d'un produit nouveau.

Le tableau 2.3, présente en outre quel aurait été le meilleur choix pour une valeur du coefficient $\alpha = 0,50$. Ce meilleur choix est alors la stratégie D4, correspondant à une baisse de prix.

En conclusion aucune méthode précise ne peut aider le décideur à prendre sa décision de façon efficace et rationnelle, mais avec la révolution technologique dans le domaine de l'informatique il peut être conduit à trouver des méthodes récentes fondées sur l'informatisation des systèmes d'informations : ces méthodes sont capables d'une façon ou d'une autre de réduire le degré de l'incertitude afin que le décideur puisse faire face à des situations complexes et fluctuantes. Nous allons présenter dans les chapitres 4 & 6 l'utilisation des méthodes informatiques plus développées.

Chapitre 4

SYSTÈMES D'AIDE À LA DÉCISION

Nous avons déjà insisté sur les systèmes d'information dans la prise de décision. Depuis une dizaine d'années aux Etats-Unis, les managers ont pu mettre en pratique une méthodologie nouvelle mieux adaptée au monde des affaires : c'est l'approche par la théorie des systèmes. Cette démarche permet de comprendre davantage les systèmes d'information depuis de leur création (un système d'information **SI** regroupe l'ensemble des méthodes de traitement de l'information et des moyens matériels et humains utilisés dans l'organisation).

Donc, dans le domaine de l'aide à la décision les nouvelles technologies de l'information ont permis de développer de nombreuses méthodes. Avant de les présenter dans ce chapitre, il faut remarquer que les besoins en informations des décideurs sont une exigence primordiale pour les raisons suivantes : les décideurs exercent des fonctions de finalisation (formation des objectifs et de la stratégie), d'organisation (définition des structures) et d'animation-contrôle.

Les décideurs ont besoin d'informations leur permettant d'évaluer les performances de l'organisation.

Par ailleurs, tous les systèmes d'information doivent aider avant, pendant et après une prise de décision :

- avant : il s'agit de préparer la décision ;
- pendant: il s'agit de simuler des options de décision, et de les exposer ;

- après: il s'agit de communiquer la décision prise aux exécutants et de contrôler son exécution.

Revenons au chapitre 1 où nous avons classé la décision en trois types selon les propositions de **I. ANSOFF** : nous pouvons maintenant développer cette idée et montrer que les systèmes d'informations ne nécessitent pas les mêmes caractéristiques selon le type de décision qui doit être prise.

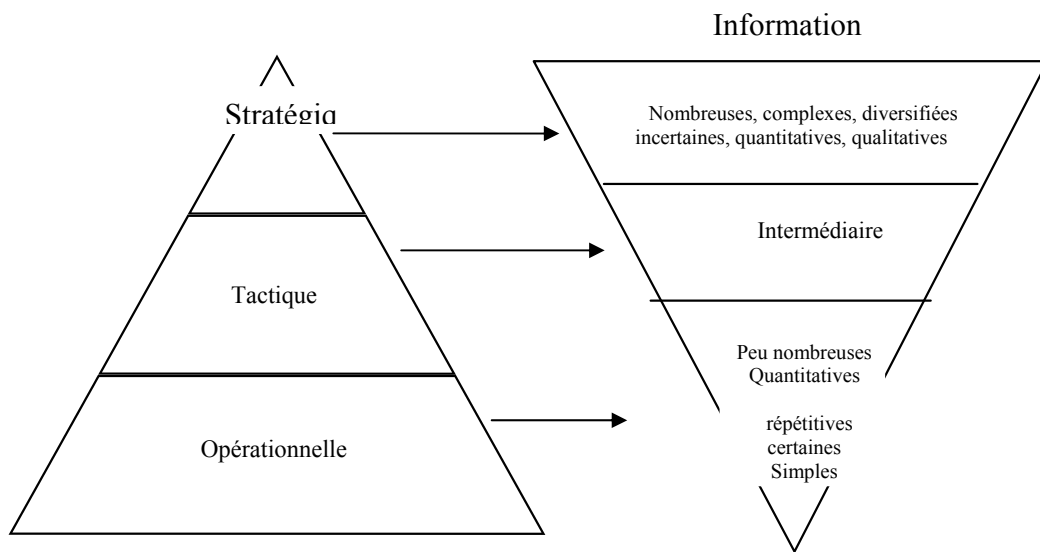


Figure 21 : la relation entre l'information et la décision.

1 - Systèmes Interactifs d'aide à la décision (SIAD)⁵⁷

1.1. Définition SIAD

Le concept de système informatique d'aide à la décision (SIAD) est extrêmement vaste et sa définition dépend du point de vue des auteurs. Nous prendrons ici comme

⁵⁷. SIAD= DSS :(Decision Support System en anglais)

convention qu'un SIAD est "un système informatique procurant une aide dans le processus de la prise de décision".

Cette définition peut être précisée de la manière suivante : un SIAD est "*un système d'information interactif, flexible et adaptable, développé spécialement pour aider à la solution de problèmes de management peu ou non structurés. Il utilise des données, fournit une interface simple et autorise le manipulateur à exprimer ses propres opinions.*"⁵⁸

De plus, les SIAD sont des systèmes de résolution de problèmes utilisant la recherche heuristique (LEVINE and POMEROL 1989)⁵⁹. Ils sont dits interactifs car tout ou partie du contrôle de la recherche est laissé à l'opérateur. La notion d'interactivité renvoie au rôle indispensable de l'homme dans le fonctionnement du SIAD, rôle non passif qui s'intègre dans l'« Aide à la Décision ».

Nous pouvons distinguer entre un système d'information traditionnel et un SIAD : alors que le premier s'adresse surtout aux activités de gestion fortement structurées (comme par exemple : traitement des transactions, gestion de fichiers, etc.) pour lesquelles on peut définir une procédure ou une règle décisionnelle applicable dans tous les cas, le second est conçu par contre comme une aide au processus décisionnel parfois mal défini.

1.2. Les composants du SIAD

Un SIAD se compose de trois éléments principaux :

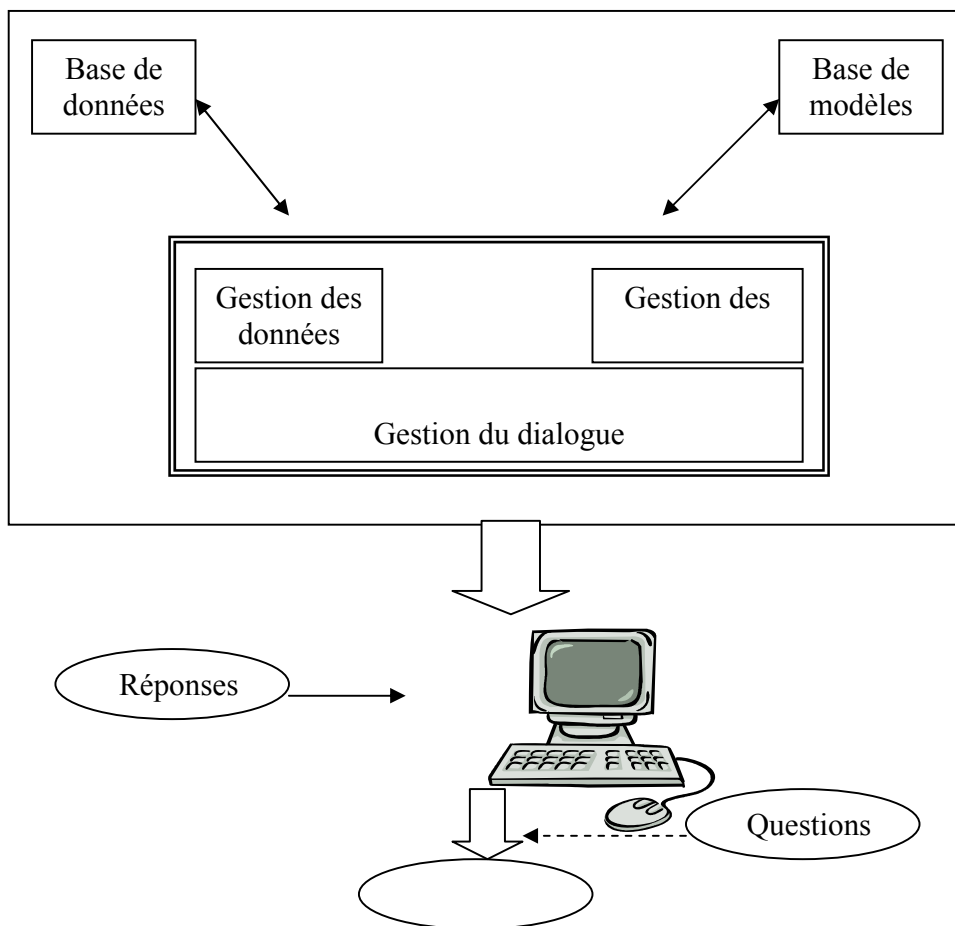
- Une base de données avec un système de gestion de base de données (base de l'information) ;

⁵⁸.GACHET A, HAETTENSCHWILER P, JINI A., (2003), "Based software framework for developing distributed cooperative decision support systems", *Soft Pract Exper* 33, pp 221-258.

⁵⁹ . LEVINE P, POMEROL J., (1989), *Systèmes interactifs d'aide à la décision et systèmes experts*, Hermès, Paris.

- Une base de modèles avec un système de gestion de base de modèles (base de modèles) ;
- Une fonction de gestion du dialogue homme-machine.

La figure 22⁶⁰ : structure type d'un SIAD



⁶⁰ . REIX R., (2004), *Systèmes d'information et management des organisations*, Vuibert Gestion.

1.2.1. Une base de données avec un système de gestion de base de données

Le sous-ensemble de gestion des données assure la fonction de mémorisation du système; le stockage dans des bases de données des données d'origine interne ou externe et des résultats intermédiaires se fait par l'intermédiaire du système de gestion de la base de données (SGBD), logiciel spécialisé qui permet de créer de nouvelles bases de données, mettre à jour les bases existantes, les interroger, extraire des données appartenant à d'autres bases que celles gérées par le SIAD.

1.2.2. Une base de modèles avec un système de gestion de base de modèles

Le modèle est un système abstrait homomorphe d'un système concret. Plus le système est complexe, plus l'image qu'en donne le modèle est approximative.

Le modèle peut être iconique (maquette par exemple), analogique (c'est le cas de la visualisation de la circulation à l'aide d'un tableau lumineux) ou symbolique (cas le plus fréquent, le modèle utilise des symboles et des règles de manipulation).

En d'autres termes, on peut dire que la base de modèles se compose d'un ensemble de modèles comme des outils de programmation mathématique - recherche opérationnelle, des modèles de prédictions, des modèles de simulation, des procédures de recherche heuristique, des diagrammes d'influence, des modèles financiers, des modèles de planification, des modèles qualitatifs, des tableurs, des systèmes à base de connaissances, etc. (**HOLTZMAN 1989 ; TURBAN 1993**)⁶¹.

⁶¹ . Holtzman S., (1989), *Intelligent Decision Systems*, Addison Wesley.
Turban E., (1993), *Neural Networks in Finance and Investing*, Chicago, Probos.

Chaque modèle doit pouvoir accepter des données numériques et toute intervention personnelle : le dialogue homme/machine permet un accès unifié aux autres composants du système de la manière la plus transparente possible.

1.2.3. Une fonction de gestion du dialogue homme-machine

La fonction de gestion de ce dialogue doit assurer la communication entre l'utilisateur et le système en offrant un accès à la base d'information et à la base de modèle.

Le dialogue homme-machine peut s'effectuer sous forme de questions-réponses ou par utilisation d'un langage (mots-clés), de masques, de menus hiérarchisés ou encore par simulation d'environnement.

1.3. *Les caractéristiques du SIAD*

Nous pouvons considérer le SIAD comme⁶²:

- Un système d'information assisté par ordinateur ;
- Fournissant une assistance aux décideurs essentiellement pour des problèmes non totalement structurés ;
- Combinant le jugement humain et le traitement automatisé de l'information ;
- Un système où le contrôle du déroulement du processus de décision incombe au décideur dans le cadre d'une recherche de type heuristique ;
- Améliorant plutôt l'efficacité du processus de décision (qualité de la décision prise) plutôt que son efficience.

1.4. *L'évaluation du SIAD*

Le tableau 5⁶³ résume les aspects les plus importants à retenir dans l'évaluation d'un SIAD.

⁶². Ibid.

Les qualités d'un bon SIAD

| | | |
|--|---|--|
| <p>Qualités générales :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Adaptation au problème ; - Facilité de modification : évolutivité ; - Simplicité d'utilisation ; - Adaptabilité à des conditions d'information variées et à des méthodes d'approche différentes. | | |
| <p>Qualité des composants dialogue :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Variété des formats d'affichage (tableaux, dessins, etc.) - Simplicité du langage de commande. - Adaptabilité du langage de commande. - Qualité de l'aide en ligne (affichage). - Qualité de la documentation. - Capacité à conserver une trace des dialogues (traçabilité). - Possibilités de navigation (retours, traitements parallèles, etc.). | <p>Données :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Variété des données utilisables. - Efficacité du langage d'interrogation. - Facilité de manipulation des données (mise à jour). - Qualité de la documentation. - Facilité de manipulation (ranger et retrouver) des données intermédiaires. - Capacité à conserver une trace de l'utilisation des données (traçabilité). | <p>Modèles :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Variété des modèles de la base. - Facilité de mise en œuvre du modèle:commande et mise à disposition des données. - Possibilité d'insérer des modèles supplémentaires. - Documentation sur les modèles utilisés. - Traçabilité de l'usage du modèle. - Facilité de modification d'un modèle existant. |

⁶³ . Ibid.

2 - Les tableaux de bord électroniques TBE⁶⁴

L'origine de cet outil date du début des années 1980. Cette méthode-EIS ou TBE-avait été alors conçue pour répondre aux besoins des états-majors des grandes entreprises.

2.1. Définition

Un EIS est un ensemble d'outils qui permettent aux différents niveaux de management d'accéder aux informations essentielles de leur organisation, de les analyser et de les présenter de façon élaborée avec une interface graphique conviviale

2.2. L'objectif d'un EIS

Le décideur a pour but de :

- Accéder à l'information en temps réel ;
- Améliorer de la communication au sein de l'entreprise ;
- Accéder à des données opérationnelles synthétisées ;
- Récolter l'information des différentes bases de données ;
- Développer la compétitivité de son entreprise ;
- S'adapter à un environnement changeant ;
- Cerner l'information externe ;
- Cerner l'influence externe sur l'organisation.

Pour répondre à ces préoccupations, l'outil EIS doit s'adapter aux buts du décideur, à ses décisions et à son travail en général :

- Il doit permettre une prise de décision généralement de portée stratégique ;
- Il doit être simple à utiliser pour une personne ne disposant que de faibles connaissances en informatique ;

⁶⁴ .TBE= EIS (Executive Information Systems en anglais).

- Il doit permettre une navigation facile parmi des informations de natures différentes (interne/ externe, structurée/peu structurée) ;
- Il doit synthétiser l'information (à l'aide de tableaux, documents textes, graphiques) ;
- Il doit regrouper et représenter l'information de manière cohérente ;
- Il doit être plus ou moins rapide dans l'accès aux données selon les besoins du décideur.

L'EIS est donc un outil adapté à la prise de décision stratégique (à long terme). C'est un outil de management de haut niveau (investissements, politiques d'expansion).

2.3. Les caractéristiques spécifiques d'un EIS

Les sources essentielles et traditionnelles des managers reposent sur des contacts personnalisés (entretiens, réunions, coup de fils, etc.), des documentations générales (revue de presse, etc.), ou un système de rapports périodiques, et pour répondre plus vite et plus facilement à leurs besoins, le EIS doit présenter ces divers éléments directement sur l'écran de leurs ordinateurs, à partir de sources internes ou externes.

Le EIS a les caractéristiques suivantes :

- Son utilisation facile sans besoin d'assistance technique Grande flexibilité ;
- Il permet de travailler sur des données internes et externes à partir de tableaux et de graphiques très conviviaux ;
- Son temps de réponse est court; l'affichage se fait rapidement et directement sur écran ;
- Il fournit des informations essentiellement pour le suivi et le contrôle ;
- Il est conçu pour supporter la phase d'intelligence d'un processus de décision (décision peu structurée).

2.4. Les utilisations d'un EIS

L'EIS peut se révéler bien utile à ceux qui prennent des décisions. Il permet de pouvoir accéder à des informations sur l'environnement global : en effet l'EIS peut être connecté au WEB et donc entrer en contact avec un nombre important de données.

Il permet aussi de pouvoir travailler sur des données intégrées « parlantes » (par exemple, changement de couleur si une valeur dans un tableau se situe dans une zone inacceptable). Cependant le décideur pourra « zoomer » du niveau global au niveau de détail le plus fin, ou inversement *faire une analyse globale à partir d'un système multidimensionnel* dans un axe d'analyse au sein d'un système multidimensionnel.

Le seul problème réside dans le fait que les cadres seniors ont du mal à accepter et à utiliser ce genre d'outils.

Par ailleurs, l'utilisation de EIS à la décision boursière est assimilée à ce qu'on appelle l'analyse chartiste ou analyse technique du marché, ce que nous allons présenter au **chapitre (5)**.

Exemple d'utilisateurs

Centre de médecine de la marine des Etats Unis d'Amérique

Le but de la Navy était de fournir à ses gestionnaires de haut niveau l'accès aux données nécessaires à leurs décisions. Elle a choisi le système « Commander Décision » de Comshare.

La banque Barclays

Elle est l'un des premiers utilisateurs de cette technologie. Par ailleurs, les recherches effectuées sur Questel ont montré que les milieux de la banque et de la finance en sont les premiers consommateurs.

U.S. Postal Service

L'argument avancé pour le choix de l'installation d'un EIS est qu'elle permettrait une réduction des effectifs de l'ordre de 30%.

L'EIS utilise des données précises et fiables, c'est une condition sine qua non de son emploi, ce qui implique un contrôle des données, complété par :

Un Data Warehouse : l'ensemble des données d'un système existant qui serait stocké comme dans un entrepôt où les dirigeants et les cadres pourraient puiser pour s'informer ;

Du Datamining : c'est-à-dire des outils d'exploration pour l'aide à la décision. Ces outils permettent de mettre en évidence des corrélations et des tendances insoupçonnées en passant au crible de très grands volumes de données.

2.5. Les avantages et les inconvénients de l'EIS⁶⁵

2.5.1. Avantages

- Il est simple d'utilisation ;
- Il ne nécessite pas de compétences informatiques particulières ;
- Il a un temps de réponse rapide ;
- Il permet une meilleure compréhension des données ;
- Il permet une réaction rapide.

2.5.2. Inconvénients

- Fonctionnalité limitée ;
- Impossibilité de faire des opérations très complexes ;

⁶⁵ . FERNANDEZ A., (2003) Les nouveaux tableaux de bord des managers - Le projet décisionnel dans sa totalité, Editions d'Organisation.

- Difficulté de quantifier les bénéfices et donc de justifier l'implantation d'un EIS dans n'importe quelle entreprise ;
- Sécurité des données non nécessairement respectées ;

Obligation d'entrer des données sûres et précises, en cas d'erreur la décision en serait altérée.

3- Les systèmes d'entrepôts de données⁶⁶

La finalité d'un Data Warehouse est d'amener les bonnes informations disséminées dans l'entreprise ou à l'extérieur vers l'utilisateur final (le décideur), au niveau de qualité souhaité, dans le meilleur délai et au format adapté à ses besoins.

3.1. Définition

Un Data Warehouse se définit habituellement comme "un ensemble de données orienté sujet, intégré, prenant en compte la variable temps, opérant une collecte des données non volatiles et organisées pour le support d'un processus d'aide à la décision" INMON & HACKATHORN⁶⁷.

Orienté sujet et intégré signifie que le Data Warehouse est conçu pour enjamber les frontières fonctionnelles et permettre une analyse orientée sujet (produit, coût, etc.), contrairement aux données des systèmes traditionnels qui sont généralement organisées par processus fonctionnel.

Le Data Warehouse doit permettre de prendre en compte les données qui sont dans les systèmes traditionnels (les bases précédentes conçues sur des modèles plus anciens, mais

⁶⁶ . Data warehouse en anglais.

⁶⁷ . INMON & HACKATHORN, (1994),"Using the Data Warehouse", *Wiley-QEDPublication*.

qui contiennent des données capitales pour l'entreprise), afin de fournir au décideur une vue intégrée des données (c'est-à-dire une vue unique et transversale).

La variable temps est introduite pour tenir compte de la nature historique des données et permettre d'analyser les tendances. En effet un des objectifs du Data Warehouse est de conserver en ligne les données enregistrées avec leur date. Cela suppose qu'elles sont mises à jour mais pas effacées, permettant ainsi de faire une analyse temporelle et de retrouver les situations analogues. Ainsi il est nécessaire d'associer à la donnée un référentiel de temps.

Non-volatile implique que le Data Warehouse contrairement à une base de données d'OLTP⁶⁸ (On Line Transaction processing) est mis à jour de façon constante. Le Data Warehouse est alimenté périodiquement. Les données présentes dans le Data Warehouse sont obtenues à partir de deux sources principales : les systèmes internes et les sources extérieures.

Le filtrage et le nettoyage des données sont nécessaires pour en assurer la qualité dans le Data Warehouse. Dans les systèmes internes, les données sont fréquemment contradictoires, non traitées et entreposées dans différents formats. Elles doivent être rendues compatibles et nettoyées avant d'être chargées dans le Data Warehouse.

3.2. L'architecture d'un Data Warehouse

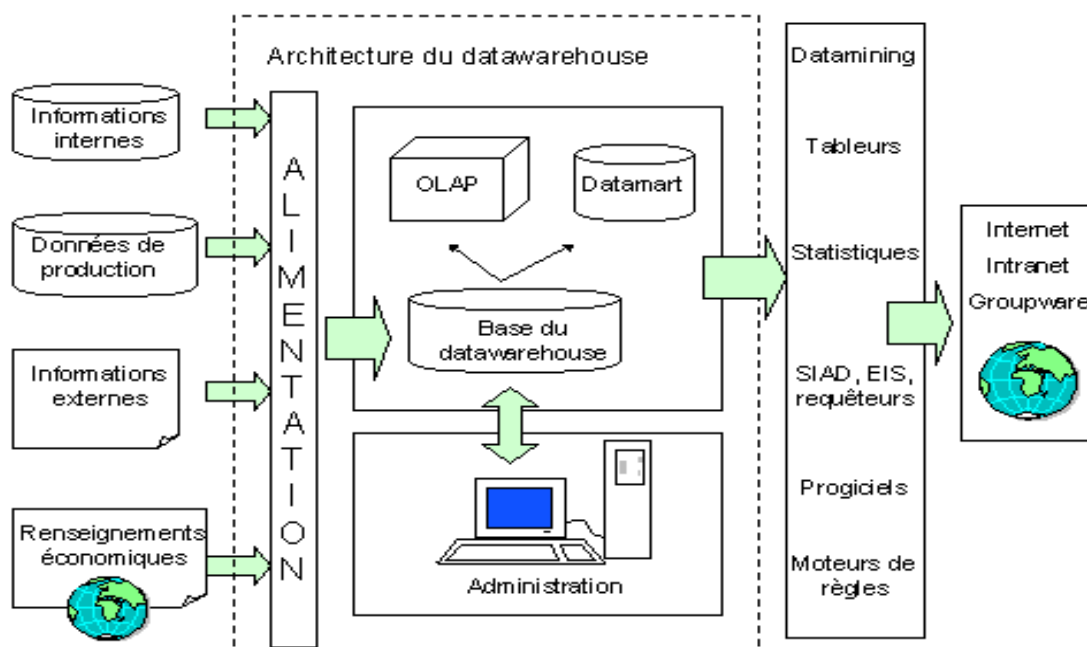
Il convient tout d'abord d'aller chercher les données dans les bases de données de l'entreprise (commerciales, comptables, de marketing, etc...) ainsi que dans les bases externes. Elles seront par la suite filtrées, triées, qualifiées, rendues compatibles et intégrées à la base de données relationnelle par les outils d'alimentation.

Cette même famille d'outils assure la gestion du référentiel, ce qui est considéré comme l'un des éléments fédérateurs du data Warehouse, car ce référentiel nous garantit la

⁶⁸ . Par opposition aux systèmes OLAP, les systèmes OLTP définie par E. F. CODD, sont les systèmes de productions. Leurs caractéristiques principales est de gérer des transactions détaillées et non des données de synthèses telles qu'utilisées dans les applications d'aide à la décision.

traçabilité du système et une gestion historique des valeurs (agrégats, etc...). La base de données relationnelle permet de constituer un système multidimensionnel (datamarts)⁶⁹ qui rend possible une navigation dans les données (zoom sur les données et changement des axes d'analyse).

En résumé *la figure 24* illustre la composition d'un système de data warehouse :



3.3. Modèle de conception du Data Warehouse

⁶⁹ . Un datamart est un magasin de données. Comme le data warehouse c'est un entrepôt de données, mais spécialisé pour un métier ou un sujet donné. En règle générale, il se situe en aval d'un data warehouse plus global et est alimenté à partir de ce data warehouse, dont il constitue en quelque sorte un extrait. Le datamart est une base de données décisionnelle structurée et formatée en fonction d'une affaire précise ou d'un usage particulier (datamart commercial, datamart financier, ...).

Dans la démarche de la conception du Data Warehouse, il faut prendre en compte les besoins des utilisateurs en impliquant le plus possible les plus expérimentés dans la connaissance de leur entreprise et dans leurs fonctions. Une fois construit, le Data Warehouse doit évoluer en fonction des demandes des utilisateurs ou des nouveaux objectifs de l'entreprise, il doit donc être évolutif et flexible.

La conception d'un Data Warehouse est un processus qui peut être divisé en quatre phases fortement interdépendantes et itératives :

- la première phase intitulée Initiation d'un projet de Data Warehouse consiste à déterminer le pourquoi du Data Warehouse, informer sur ses caractéristiques, ses applications et les bénéfices attendus pour les acteurs concernés ;
- la deuxième phase consiste à définir l'infrastructure technique et organisationnelle du Data Warehouse. Il s'agit d'effectuer un certain nombre de choix technologiques pour cette détermination ;
- la troisième phase consiste à mettre en œuvre une par une les applications : spécifier, concevoir, construire et déployer ;
- la quatrième phase consiste à mettre en place une mesure d'efficacité par un feedback à partir des deux phases précédentes.

Plusieurs outils permettant d'analyser les données sont actuellement disponibles sur le marché : les plus répandus sont les outils de datamining.

3.4. La technique de datamining

On définit le datamining, comme "forage de données" ou "extraction de connaissances". Cette pratique permet à l'entreprise de faire émerger des informations cachées dans le gisement de données. La technologie de datamining s'applique à de nombreux domaines. **J.M. FRANCO**⁷⁰ cite :

⁷⁰ . FRANCO M., (1997), *Le Data Warehouse : le datamining*, EDS institut Prométhéus, Eyrolles.

- le domaine de l'analyse du risque : par exemple une compagnie bancaire utilise un outil de datamining pour déterminer si un crédit peut ou non être accordé à quelqu'un ;
- le domaine du marketing direct, car ces outils permettent de déterminer les caractéristiques de la population à cibler ;
- tout secteur à forte concurrence, puisque le datamining peut aider l'entreprise à identifier les clients susceptibles de quitter la société pour un concurrent.

Ces outils ont pour objectif premier de déterminer les relations qui existent entre les variables, en outre ils proposent à l'utilisateur non-technicien des hypothèses de données en faisant apparaître des corrélations cachées jusqu'alors. Ils s'apparentent à la statistique (inférence statistique) ou à l'intelligence artificielle (déduction de règles). Dans ce qui suit, nous expliquerons la logique de fonctionnement de ces outils :

3.4.1. La découverte des règles

Les relations entre les données indiquent les régularités et mettent en évidence les informations inhabituelles. Par inférence statistique elles analysent les variables et elles permettent de comprendre la situation qui peut être projetée dans le temps. Il est alors possible de prévoir le comportement futur d'un élément donné. Cependant, l'utilisation des statistiques est limitée par le nombre de variables à analyser.

Il est donc nécessaire d'utiliser des techniques de recherche intelligente (**chapitre 6**). Ces techniques appartiennent à l'intelligence artificielle, elles vont passer au crible la base de données pour forger des hypothèses. Si ces hypothèses sont vérifiées, elles remonteront vers l'utilisateur sous forme de règles, et il pourra donc par la suite prévoir le comportement d'une variable dans le temps.

3.4.2. La découverte de modèles fonctionnels

D'autres systèmes proposent d'exprimer ces relations sous la forme de modèles fonctionnels. Les modèles les plus souvent utilisés sont construits à partir des méthodes de régression qui identifient les variables significatives et proposent une interprétation. Toutefois, ces techniques rapides et efficaces sont insuffisantes pour l'analyse multidimensionnelle.

En effet, les erreurs augmentent avec le nombre d'éléments des données. C'est ce qui a entraîné l'utilisation des réseaux neuronaux.

Partant d'un modèle aléatoire, les réseaux neuronaux permettent de découvrir des modèles complexes, puis de les affiner au fur et à mesure de l'exploration des données grâce à leur capacité d'apprentissage. Mais les réseaux neuronaux suivent, dans leur analyse, un processus opaque.

Par conséquent, l'utilisateur ne sait pas comment la décision a été prise et ne peut pas influencer sur le mécanisme en modifiant certains paramètres.

3.4.3. La classification

Consiste à dégager des profils de comportement. Par exemple, de tels systèmes peuvent être utilisés pour aider à déterminer si oui ou non un crédit peut être accordé à une personne en étudiant les situations déjà rencontrées par les personnes qui ont le même profil.

Les techniques les plus utilisées sont l'analyse discriminante, ainsi que la construction d'arbres de décision.

4 - Les systèmes experts SE

Les premiers systèmes experts voient le jour aux USA dans les années 1970 - **MYCIN**, qui opérait dans le domaine de l'expertise médicale, est l'un des plus connus- puis ils ont eu leur heure de gloire dans les années 1980 ; on a trop vite pensé alors qu'ils pourraient se développer massivement.

En pratique, le développement de ce genre d'application est très lourd car, à partir d'une centaine de règles simples, on a énormément de mal à comprendre comment le système expert « raisonne » i.e. comment il manipule faits et règles en temps réel, et donc à en assurer la mise au point finale puis la maintenance. Le projet *SACHEM* (pilotage de haut-fourneau chez *Arcelor*)⁷¹) opérationnel dans les années 1990 est l'un des derniers projets « système expert » issu de la recherche à avoir vu le jour. Aujourd'hui, ce sont de multiples petits systèmes experts qui sont opérationnels dans l'industrie et dans les services sans attirer particulièrement l'attention.

Nous avons déjà signalé (**chapitre 1**) que l'expérience des managers joue un grand rôle dans la prise de décision et bien évidemment, dans la qualité de la décision.

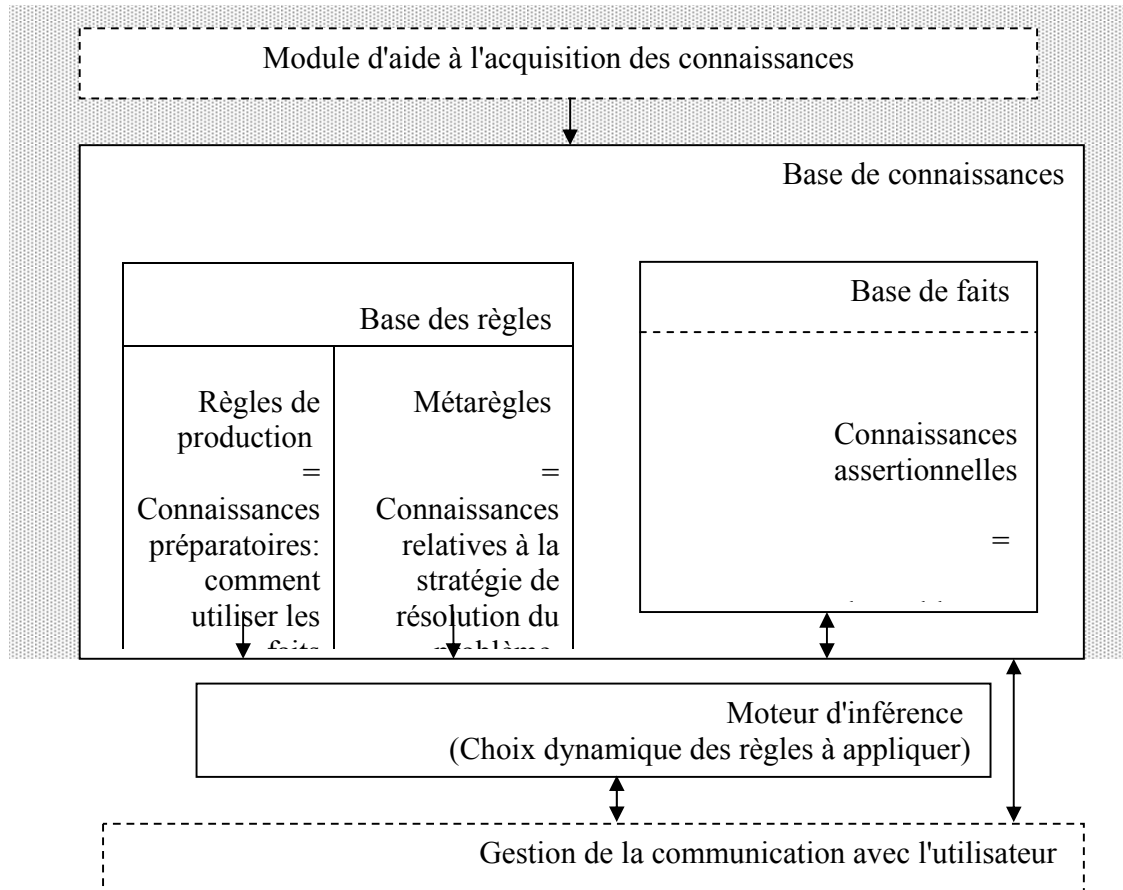
Cette expérience permet d'être efficace rapidement, sans se livrer à des procédures de calcul ou d'optimisation compliquées. Cependant, il est difficile de la prendre directement en considération ou de la mettre en œuvre dans le cadre de modèles d'aide à la décision classiques.

Un système expert peut être défini comme un logiciel informatique simulant le raisonnement d'un expert dans un domaine de connaissance spécifique.

⁷¹ . est un groupe sidérurgique européen ayant son siège social au Luxembourg, né de la fusion, effective le 18 février 2002, de trois sidérurgistes européens : **Aceralia** (Espagne), **Arbed** (Luxembourg) et **Usinor** (France). Il était le premier producteur mondial d'acier avec 42,8 millions de tonnes (4,5 % du marché mondial) jusqu'en octobre 2004, lorsque la création du groupe Mittal lui ravit cette première place. En 2003, son chiffre d'affaires annuel s'élève à 25,9 milliards d'euros, pour un résultat net de 257 millions. Le groupe emploie environ 98 000 personnes dans 60 pays.

4.1. Les structures et principes de SE

Trois éléments composent un système expert illustrés par la *figure 25*⁷² :



Dans la construction des systèmes experts on distingue la description de la connaissance utilisable (règle et faits) de la manière de l'utiliser (mécanisme d'inférence) ; la construction des logiciels et leur évolution sont ainsi simplifiées puisqu'on peut ajouter ou supprimer une règle sans avoir à modifier la structure d'un algorithme figé.

4.1.1. La base de connaissances

Composée d'une base de règles et d'une base de faits, c'est le dictionnaire du

⁷² .Ibid.

raisonnement à établir pour la résolution d'un problème.

La base de règles représente les actions et les conséquences d'une situation à programmer. On y trouve notamment des connaissances sous forme de combinaisons conditionnelles (si ... alors) ou de procédures (tant que ... alors).

4.1.2. Le moteur d'inférence

C'est la partie logique du système expert; il évalue les résultats, interprète les règles et propose des solutions. Par ailleurs il archive les nouveaux faits et règles issus du problème posé, augmentant ainsi l'expérience du système.

Soumis à un problème le moteur d'inférence procède en trois étapes :

- Filtrage: recherche des règles à appliquer ;
- Sélection: résolution de conflits entre les règles et choix d'une règle à appliquer ;
- Exécution: application de la règle et modification de la base des faits.

4.1.3. Les interfaces homme-machine

- L'interface d'acquisition des connaissances permet d'introduire, de supprimer ou de modifier une règle ou un fait. Ce travail est effectué par un cogniticien (ingénieur de la connaissance) chargé de coder les connaissances recueillies auprès d'experts ;
- L'interface utilisateur permet le dialogue homme-machine.

La construction de systèmes experts en gestion n'est pas une tâche aisée. Il faut tout d'abord poser clairement le type de problème que doit résoudre le système et collecter l'expertise d'un ou de plusieurs experts. Les techniques d'entretien nécessaires à la prise d'expertise sont délicates à mettre en œuvre.

Elles requièrent à la fois une formidable qualité d'écoute, d'observation et une bonne connaissance des méthodes de l'intelligence artificielle. La modélisation même des différents modes de raisonnement humain et la prise en compte de contradictions par le système sont

d'autres problèmes difficiles à résoudre mais sur lesquels des progrès considérables sont en cours.

4.2. Utilisation des systèmes experts

Les domaines d'utilisation des systèmes experts sont relativement nombreux : diagnostic, interprétation...

- maintenance, réparation, thérapie ;
- prévision, planification ;
- conduite de processus ;
- conception ;
- formation.

L'intérêt essentiel d'un système expert est de conserver et de diffuser la connaissance de spécialistes dans une organisation.

Cependant le développement de ces systèmes se heurte à des problèmes de coût, à leur incapacité d'auto-apprentissage et au fait qu'ils ne couvrent qu'un domaine limité. En dépassant le traitement algorithmique des problèmes totalement structurés pour aborder une démarche heuristique face à des tâches incomplètement structurées, leur développement, actuellement incertain, traduirait un progrès dans l'utilisation des ordinateurs.

Enfin, il y a des différences entre le SIAD et le système expert que nous allons présenter dans le tableau suivant⁷³ :

⁷³ . TURBAN E, WATKIMS P., (1986), "Interating Expet systems and décision support systems", *MIS Quarterly*. (Juin), p. 123.

| Attribut | Système d'aide à la décision | Systèmes experts |
|-----------------------------------|--------------------------------|--|
| Objet | Assistance au décideur | Imiter un conseiller humain |
| Qui prend les décisions ? | Humain et/ou Système | Le système |
| Orientation principale | Prise de décision | Transfert d'expertise (humain machine - humain) et conseil |
| Direction principale des requêtes | L'humain questionne la machine | |
| Manipulation de données | Numérique | La machine questionne l'humain |
| Domaine analysé | Complexe, large | Symbolique Domaine restreint |

Il existe aussi d'autres types de systèmes d'aide à la décision

- ESS (Executive Support System) : l'ESS va au-delà de l'EIS car il inclut des outils de communications, d'analyse et d'intelligence. Afin de mieux distinguer les deux systèmes, nous dirons que l'EIS est un outil permettant au décideur de se focaliser sur des données critiques pour obtenir une appréciation de l'organisation. L'ESS doit permettre l'analyse de ces données pour donner une appréciation du futur de l'organisation grâce aux modèles d'analyse. Le passage de l'information à l'intelligence implique de pouvoir affecter le futur (axe temporel et visualisation des liens) ;
- PSS (Planning Support System) : il permet une analyse de la faisabilité des procédures ou décisions retenues (c'est-à-dire lui fournir une assistance intelligente).

En ce qui concerne l'accès aux données, un outil d'aide à la décision doit fournir une interface de requête intuitive simple qui masque la complexité du langage utilisé. Il doit être capable d'adapter les données au contexte de l'utilisateur (orienté métier) en proposant un catalogue pour accéder aux données par sujet.

En ce qui concerne la valorisation des données, le système doit être capable de faire des tris, de rajouter des sélections, des totaux etc. Il doit aussi s'ouvrir aux outils bureautiques ainsi qu'à Internet. Le système doit s'adapter à plusieurs types d'utilisation et doit intégrer le modèle "PULL" et "PUSH"⁷⁴ de l'information, c'est-à-dire offrir au décideur la possibilité de demander des informations sur profil et d'être informé lorsque des événements arrivent.

En conclusion, il faudrait savoir sur quel système on peut compter, et en connaître les qualités indispensables pour l'aide à la décision. Pour cela il faut se reporter au **chapitre 3** pour déterminer l'univers dans lequel notre problème est posé ; après cette vérification de l'univers nous pourrions choisir la méthode ou le système convenable pour aider à la décision.

⁷⁴ . Les méthodes de *PUSH* et de *PULL* définissent 2 manières d'accéder à l'information. *PULL* (le plus commun) : le client (utilisateur) va chercher les informations sur le serveur. *PUSH* : le serveur envoie l'information au client.

Chapitre 5

MÉTHODES D'ANALYSE DES VALEURS DU MARCHÉ

Lors d'une prise de décision sur les marchés boursiers, toute étude doit nécessairement commencer par une analyse technique. Ceci constitue le meilleur moyen sur lequel l'intelligence artificielle peut s'appuyer pour tirer ses conclusions. L'approche à l'aide de ces deux technologies permet de prendre des décisions plus judicieuses.

L'analyse technique consiste à étudier les courbes des actions au fil des jours, ces fameuses courbes que nous retrouvons en réduction dans les journaux financiers et les ouvrages concernant les finances. Elles sont obtenues ainsi : les valeurs dans le temps prises par chaque action sont représentées par des points sur un graphique que l'on relie simplement par des traits.

Le but avoué de l'analyse technique est la prévision. Si la part consacrée à l'étude du passé est importante (prépondérante même), c'est pour en tirer de meilleures conclusions quant aux tendances à venir. L'analyste technique est donc plus proche du futurologue que de l'historien et ne trouve sa justification que dans sa capacité à annoncer ce qui va arriver.

Il s'agit là certes d'un objectif compliqué, déclenchant souvent les sarcasmes des critiques qui comparent l'analyse technique à l'astrologie ou à la cartomancie. Pourtant dans certains domaines, l'homme est capable de prévoir le futur avec précision comme par exemple en astronomie.

L'analyste technique ne prétend pas obtenir des résultats aussi sûrs, mais il ne cesse d'améliorer ses méthodes pour tendre vers ce but.

Dès le début du 20ème siècle, les occidentaux se sont penchés sur ces courbes dansantes et ont pensé en comprendre les règles, alors même que ces courbes ne sont que le fruit d'échanges irréguliers entre des humains étrangers les uns des autres et agissant souvent sur un coup de tête.

Dans ce chapitre nous allons suivre la démarche suivante : d'abord, nous présentons quelques définitions et principes fondamentaux; puis nous abordons la méthode chartiste de l'analyse technique (analyse graphique traditionnelle) ; ensuite, nous expliquons l'analyse fondamentale

relative au cours des actions. Enfin, nous présentons la notion d'efficience du marché des actions.

1- Définitions et principes

Comme nous avons exposé la notion et le processus de décision en général dans la première partie, nous pouvons maintenant préciser les méthodes de prise de décision boursière. Tout d'abord, il faut noter que le problème de la décision boursière se présente sous la forme de deux interrogations⁷⁵:

- " faut-il acheter les actions (valeurs) ABC.." ?
- " quand acheter les actions (valeurs) ABC.." ?

L'analyse fondamentale cherche à répondre à la première question, l'analyse technique à la seconde. Nous commençons par quelques informations indispensables au décideur (investisseur) :

1.1. Savoir s'informer

La première étape dans l'initiation boursière est souvent la lecture de la cote, cote que l'on peut trouver en détail dans les principaux quotidiens économiques ou résumée dans les journaux d'information générale. Une cote donne les principaux éléments d'information relatifs à la séance de la veille en bourse avec le nom des différentes valeurs, classées par ordre alphabétique et par marché. Pour une valeur donnée, on trouve essentiellement des informations relatives à son cours, à savoir le dernier cours coté, son cours le plus haut et son cours le plus bas lors de la séance boursière, et son premier cours ou cours d'ouverture. Y figure aussi son code ISIN, code qui sera utilisé quand on passera les ordres d'opérations ou qu'on recherchera des informations supplémentaires. Le nombre de titres composant le capital social d'une entreprise est généralement précisé de même que les volumes, c'est-à-dire le nombre de titres échangés sur cette valeur lors de la séance précédente.

Par conséquent, le plus souvent, on retrouve des données relatives au dividende (montant payé par l'entreprise à ses actionnaires), avec la date du dernier paiement, le montant net et l'avoir fiscal. Les différentes informations que l'on trouve dans une cote sont relativement succinctes, mais leur lecture régulière permet de commencer à avoir une "mémoire de marché" c'est-à-dire de commencer à mémoriser les cours cotés pour un certain nombre de titres, information qui servira régulièrement par la suite pour détecter des baisses anormales dont on pourra profiter.

Le second stade de l'information consiste généralement à lire les hebdomadaires boursiers du week-end. Ces journaux donnent des conseils pour investir, sont utiles pour découvrir les activités des sociétés, les informations à connaître, etc... Pour débiter, la lecture d'un seul de ces journaux est suffisante.

⁷⁵ . BECHU T, BERTRAND E., (2002), *L'analyse technique – pratiques et méthodes*, Economica, Paris.

Enfin, Internet a donné naissance à de nombreux sites d'informations ou de conseils boursiers. L'intérêt principal de ces sites est de diffuser une information dans les plus brefs délais, ce qui a pour conséquence une forte croissance de leur diffusion. Il faut cependant rester vigilant vis-à-vis des informations qui y sont diffusées, la qualité des conseils étant très inégale ; il faut surtout prendre garde aux informations souvent erronées qui circulent sur les forums et qui ont essentiellement pour objectif d'influencer des investissements boursiers. Bref il y a sur les forums beaucoup d'informations intéressantes mais aussi beaucoup de désinformation.

1.2. La lecture d'un rapport annuel

Passé le stade de l'information générale, arrive celui plus délicat de l'information financière et de la lecture d'un rapport annuel. A priori le sujet n'a rien d'attirant et pourtant, la lecture du rapport d'une entreprise permet de trouver une mine d'or... Le rapport annuel d'une entreprise est une véritable photographie de la société : il permet avec un minimum d'expérience de pouvoir s'informer sur sa solidité financière, sa rentabilité, sa croissance, etc... Mais il existe une limite à son exploitation, il est disponible seulement plusieurs mois après la date de clôture des comptes. Notons que les sociétés adressent généralement sur simple demande leurs rapports annuels à leurs actionnaires et qu'ils sont généralement accessibles sur le site Internet de l'entreprise concernée.

On peut trouver dans un rapport annuel des informations précises sur les emplois et les produits de la société ainsi que ses comptes détaillés. Par souci de simplification, nous n'aborderons que les deux aspects comptables les plus importants, le bilan et le compte de résultat. Commençons par le compte de résultat qui est l'élément comptable le plus facile à comprendre.

Un compte de résultat part des ventes ou du chiffre d'affaires, dont on déduit les différentes charges de l'entreprise pour arriver à un résultat positif (bénéfice) ou négatif (perte), tous ces éléments alors regroupés pour l'analyse fondamentale.

1.3. Les méthodes d'évaluation

La première méthode est l'analyse fondamentale; contrairement à ce que pensent ceux qui débutent en Bourse, une action dont le cours est très élevé pourrait être moins "chère" qu'un titre dont le cours est très faible : ainsi, d'autres facteurs doivent être considérés.

La deuxième méthode est l'analyse technique que nous développerons en détail. On peut adopter la définition de **JOHN J. MURPHY** : " L'analyse technique est l'étude de l'évolution d'un marché, principalement sur la base de graphiques, dans le but de prévoir les futures tendances"⁷⁶. Cette définition est globale et complète.

2- Analyse chartiste (analyse technique traditionnelle)

CHARLES DOW est considéré comme le père de l'analyse technique. Il a été le

⁷⁶ . Ibid.

premier à formaliser les principes de base de l'analyse technique et à envisager une véritable théorie d'analyse des marchés (la théorie de Dow). Il a exposé les grandes lignes de sa théorie dans différents articles publiés dans le *Wall Street Journal* entre 1900 et 1902.

Mais il a fallu attendre 1932 pour que **ROBERT RHEA** (dans son livre *DOW Theory*) exprime une formalisation claire des principes de la théorie de Dow.

Une idée essentielle de Dow repose sur le fait que la majorité des actions suivent, la plupart du temps, la tendance du marché sous-jacent. Fort de cette hypothèse, CHARLES DOW a créé la notion d'indice boursier afin de mesurer justement la tendance du marché. Le fameux indice Dow Jones Industriel, premier indice boursier de référence, a ainsi trouvé naissance en combinant 12 des plus grosses compagnies américaines de l'époque (depuis, ce nombre a été porté à 30).

C'est la composante la plus ancienne, elle est issue de la théorie de **CHARLES DOW**⁷⁷ : le marché suit des tendances. **CHARLES DOW** a passé une grande partie de sa vie au début du siècle dernier à essayer de « canaliser » l'évolution des actions. Ce sont ses travaux qui ont donné naissance à la notion de support et de résistance.

2.1. Lire les graphiques boursiers

Les graphiques boursiers sont partout, dans les journaux comme sur Internet. Il est impossible de les ignorer. Il est vrai que la représentation visuelle de l'historique d'une action est de loin la plus parlante : on peut y lire le passé de la société, avec ses hauts et ses bas. De plus, bien souvent, il est rassurant d'observer la courbe de l'action avant de prendre une décision.

La représentation graphique est également la base de l'analyse technique, méthode de décision boursière utilisée par les analystes quantitatifs. Ils y dressent leurs tendances et tracent leurs indicateurs mathématiques.

Dans ce domaine, plus que dans tout autre, un dessin vaut mieux qu'un long discours.

2.2. La courbe continue

La courbe continue est la façon la plus naturelle et la plus simple de représenter l'évolution des cours. On relie un ensemble de points entre eux, ces points correspondant aux cours de clôture quotidiens de l'action en fonction des dates. Nous pouvons donner un exemple :

⁷⁷ . CEAUX- DUTHEIL S., bourse et analyse technique , Economica, Paris, 2002.

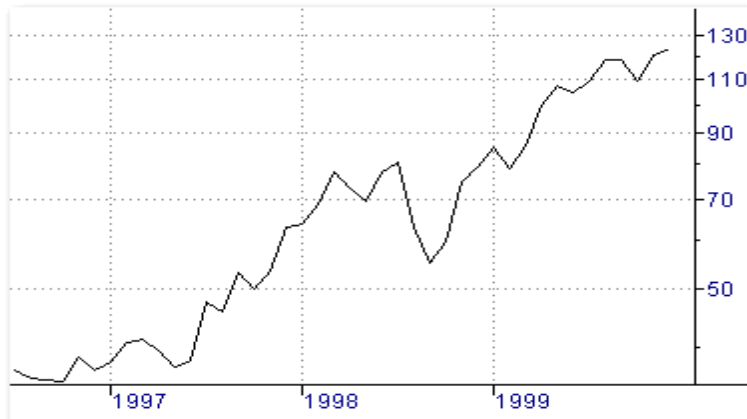


Figure 27 - exemple d'une courbe continue

De tous les types de tracés, la courbe continue est le plus simple. L'axe horizontal représente le temps et l'axe vertical celui des cours (prix).

2.3. Le graphique en barres ou Bar - Chart

Un bar-chart permet d'afficher sur un graphique plusieurs données de cours : le cours d'ouverture, le plus haut et le plus bas de la séance ainsi que le cours de clôture. Ce type de graphique est de loin le plus utilisé en analyse technique.

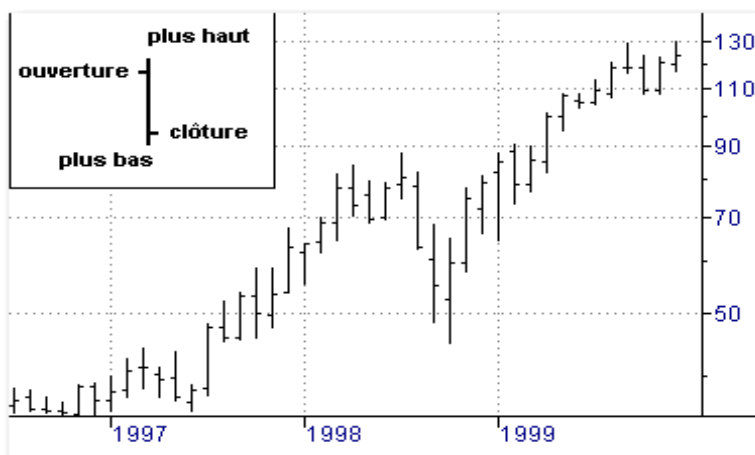
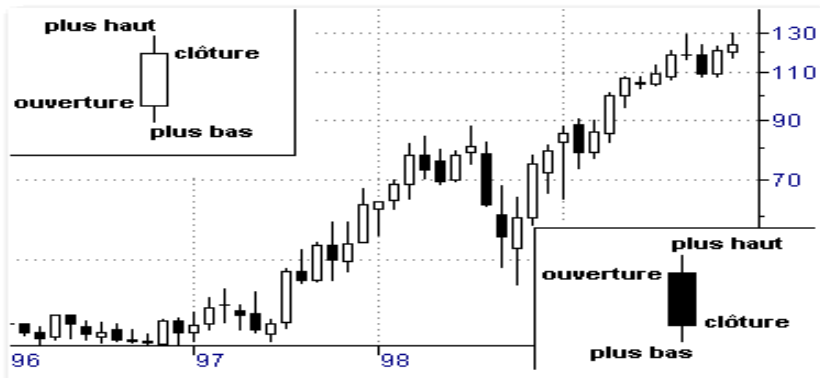


Figure 28- exemple d'un graphique en barres

Comme sur le graphique suivant, les valeurs extrêmes de chaque barre représentent le cours le plus haut et le cours le plus bas atteints pendant la séance. Le cours de clôture est représenté par le petit trait horizontal à droite de la barre, le cours d'ouverture par le petit trait à gauche de la barre.

2.4. Les Chandeliers ou Candlesticks japonais

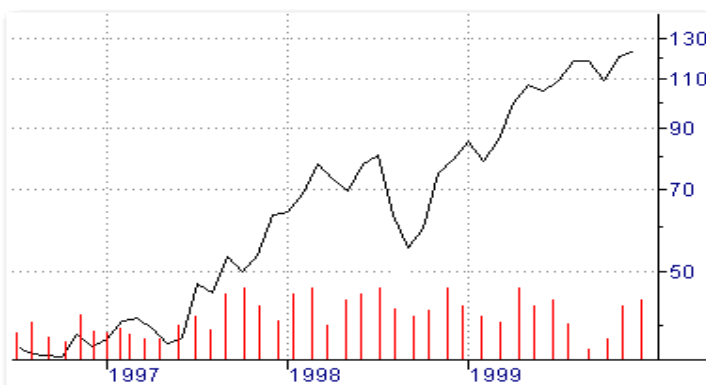
Cette technique vient du Japon. Elle est apparue au 18^{ème} siècle où elle était utilisée pour noter les prix du riz. La méthode a été transposée aux marchés financiers et elle est fréquemment utilisée pour noter les historiques de cours sur un graphique, en lieu et place d'une courbe simple ou de bar charts.



Comme pour les barres, les informations nécessaires à leur tracé sont au nombre de quatre : les cours d'ouverture, de clôture, le plus haut et le plus bas de la séance. En outre, cette technique fait apparaître une notion supplémentaire : si le cours a baissé pendant la période, le chandelier est noir, si le cours a monté, le chandelier est blanc.

2.5. La représentation des volumes

Le volume est représenté sur le graphe du cours par des petits bâtonnets situés sur l'axe horizontal⁷⁸. L'échelle est alors différente des précédents dessins.



2.6. Tendances

⁷⁸ . Site Web: www.abcbourse.com

La première chose à faire en regardant un graphique boursier est de déterminer la tendance générale du titre. Si les sommets et les creux sont de plus en plus hauts, on dira que nous sommes en présence d'une tendance haussière. De même, si les sommets et les creux sont de plus en plus bas, on pourra qualifier la tendance de baissière. Enfin, lorsqu'un graphique n'entre pas dans une de ces deux catégories, on dira qu'il est en zone de congestion (sans tendance). Donc, si un titre connaît une tendance haussière (baissière), il a beaucoup plus de chance de continuer à monter (diminuer). Le fait de connaître la tendance actuelle nous renseigne donc déjà sur l'évolution probable des prix futurs.

Plusieurs négociateurs ne cessent de le répéter : *il faut toujours être dans le sens de la tendance*. Jouer contre la tendance représente un des meilleurs moyens de courir à sa perte. Nous verrons plus loin plusieurs indicateurs permettant d'évaluer la force de la tendance en cours, mais jamais il ne sera recommandé d'aller à contre courant, i.e. d'investir en sens contraire de la tendance.

2.6.1. Lignes de tendance

Une fois la tendance identifiée, il est alors possible de tracer une ligne de tendance.

Une ligne de tendance haussière est obtenue en reliant entre eux les minima ascendants. En revanche, une ligne de tendance baissière reliera les maxima descendants. *Plus une ligne de tendance reliera de maxima ou de minima plus elle sera significative.*

Pour mieux comprendre la confusion possible, on figure le graphique suivant



Figure 31- exemple de tendance.

En avril 1998, le titre de **COREL** se trouve dans une tendance baissière et en même temps dans une tendance haussière. Comment est-ce possible ? Cela semble contradictoire ! En fait

la notion de temps n'a pas été introduite : il serait plus juste de dire que le titre de **COREL** connaît une tendance baissière à long terme mais une tendance haussière à moyen terme (bref, un repli dans la tendance baissière).

Tant que la ligne de la tendance A ne sera pas franchie, **COREL** demeurera dans une tendance baissière à long terme. Comment interpréter une telle situation ? Même si **COREL** est dans une tendance haussière à moyen terme, il serait imprudent d'acheter car le titre va buter contre la tendance baissière à long terme et il ne faut pas agir contre la tendance. Il sera intéressant d'acheter si le titre casse la tendance baissière car celle-ci ne sera plus valide et la tendance haussière deviendra la tendance principale.

Par contre, si **COREL** descend en-dessous de la tendance haussière à moyen terme, il deviendrait intéressant de vendre à découvert, parce que les tendances en vigueur seraient baissières. Encore une fois, c'est suivre le sens de la tendance.

Il est possible de dessiner plusieurs tendances sur un même graphique. En général, les analystes techniques se limitent à trois types de tendance : celles à court terme, à moyen terme et à long terme. Il faut définir ce que l'on entend par tendance à long terme, court terme et moyen terme.

Ça dépend de l'horizon de placement de l'investisseur. Le point de repère initial est l'établissement de la tendance à moyen terme. Par exemple, si son horizon est de 2 ou 3 mois, une tendance à moyen terme durera d'un mois et demi à cinq mois, une tendance à court terme d'une semaine à six semaines et une tendance à long terme de cinq mois à un an.

La cassure d'une ligne de tendance signifie un essoufflement de la tendance en cours. Cette cassure sera d'autant plus grave que la pente de la ligne de tendance est faible. En effet, il est légitime de penser que, par exemple, une ligne de tendance haussière avec une forte pente s'essoufflera plus facilement et finira par monter moins rapidement. Les cours auront besoin de reprendre leur souffle, de se corriger un peu, de former une petite zone de congestion pour se refaire des forces. Donc, la cassure d'une ligne de tendance à très forte pente n'aura pas autant d'impact que la cassure d'une ligne de tendance à pente faible.

Bref, quand la ligne de tendance est traversée, la tendance n'est plus la même (il faut alors l'effacer), cependant, cela ne veut pas dire qu'elle est renversée. Cela peut seulement signifier un ralentissement ou une accélération de la tendance. En fait, un renversement de tendance se fait en trois étapes.

Étapes d'un renversement de tendance

1. Cassure de la ligne de tendance ;
2. Les prix ne réussissent pas à dépasser les maxima antérieurs ;
3. Les prix descendent en-dessous du dernier minimum.

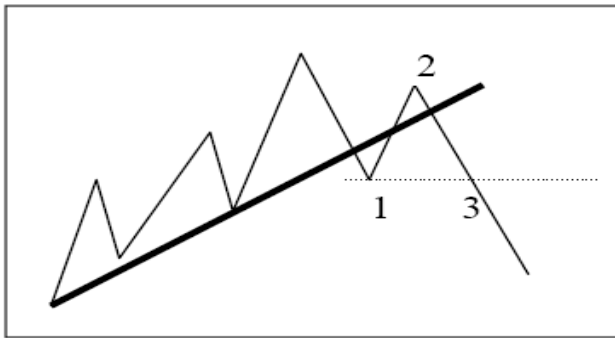


Figure 32- Étapes d'un renversement de tendance

Aussi longtemps que l'étape numéro trois n'a pas été complétée, nous ne pouvons conclure à un renversement de tendance. Il s'agit peut-être seulement d'un affaiblissement de la tendance en cours, ou encore d'une pose dans les prix avant de repartir dans le sens de la tendance.

3 – Analyse fondamentale

Le cours est le résultat de la loi de l'offre et de la demande. Le cours d'équilibre ne correspond pas nécessairement à la valeur fondamentale du titre. Il arrive même qu'une action affiche une sur-ou une sous-valorisation durant plusieurs années.

Mais à long terme, on peut estimer que le cours fluctue autour de sa valeur fondamentale. Il s'agit donc pour tout investisseur qui envisage d'acheter ou de vendre une action, de "tenir compte de ces calculs de financier". Pour cela, il peut recueillir dans la presse financière ou sur Internet des informations à trois niveaux :

- Macro-économique ;
- Sectoriel ;
- Micro-économique (entreprises).

3.1. Le niveau macro- économique

Tout investisseur sérieux suit les évolutions économiques de près. De fait, toute entreprise est influencée, d'une manière ou d'une autre, par le contexte économique dans lequel elle se situe. Actuellement c'est l'économie américaine qui a le plus d'influence sur l'économie mondiale. 'Lorsque les États-Unis éternuent, l'Europe s'enrhume', dit-on parfois.

A l'échelle mondiale, l'économie américaine est la plus importante, et elle entraîne dans son sillage les économies japonaise et européenne. Lors d'une séance boursière ordinaire, les cours des actions européennes peuvent se transformer dans l'après-midi lorsque des statistiques relatives à l'économie américaine sont publiées. Les données macro-économiques sont classées en indicateurs avancés, simultanés et passés.

La Bourse anticipe sur les bonnes comme sur les mauvaises nouvelles. Ce sont les indicateurs avancés qui ont le plus grand impact : entre autres citons la confiance des consommateurs et des producteurs.

Leurs chiffres donnent une indication sur ce que sera l'économie quelques mois plus tard. Pourtant, il ne faut pas sous-estimer l'importance des données macro-économiques européennes. Pour certaines entreprises dont l'activité se restreint à un seul pays, il est utile d'étudier les chiffres relatifs à l'économie de ce pays. L'un des indicateurs européens les plus connus est l'indice IFO qui mesure la confiance des managers allemands.

L'influence des données macro-économiques sur les actions est très variable, car intervient le caractère cyclique de certaines actions. Les actions très cycliques sont généralement celles d'entreprises appartenant à l'industrie de base. Les aciéries, par exemple, peuvent enregistrer des bénéfices énormes lorsque l'économie est florissante, mais aussi des pertes lorsque les temps sont plus durs. C'est le cas en particulier pour Arcelor, Usinor et Aceralia. Les entreprises provenant d'autres secteurs tels que l'ingénierie, la chimie ou le travail intérimaire sont également cycliques, mais leur évolution est moins capricieuse. Les actions les moins exposées aux tribulations économiques sont qualifiées de défensives.

Prenons l'exemple des groupes chimiques Tessenderlo et Solvay. Chaque année, ces entreprises tentent de réaliser un joli bénéfice, et de proposer un dividende tout aussi alléchant, en hausse d'une année sur l'autre. Les actions du secteur des services d'utilité publique appartiennent également à cette catégorie : cela provient du fait que nombre de producteurs d'électricité ou de gaz détiennent toujours une position dominante dans leur région, malgré la libéralisation du marché.

Plus l'activité économique est intense, plus le risque d'inflation est élevé et plus la probabilité d'une hausse des taux à long terme sera grande. Inversement plus l'activité économique est faible, moins la pression inflationniste est menaçante, et plus les taux longs seront faibles.

On dit parfois que la Bourse dépend de deux éléments : les bénéfices des entreprises et les taux. De fait, les taux ont un impact considérable sur le niveau de la Bourse, et ce pour diverses raisons.

D'abord, la valeur actuelle des bénéfices des entreprises diminue à mesure qu'augmentent les taux. Nous y reviendrons plus loin lorsque nous traiterons de la valorisation des actions dans ce chapitre. Ensuite, une hausse des taux rend d'autres placements, tels que les comptes à terme ou les obligations, plus attrayants. Enfin, une hausse des taux représente pour les entreprises des charges de financement supérieures, aspect qui peut affecter leur cours. Une baisse des taux exerce un effet inverse des aspects évoqués et se traduit – en principe – par une hausse des cours. La hausse qu'a connue la Bourse dans les années 90 s'explique en grande partie par la baisse constante des taux d'intérêt au cours de cette période.

3.2. Le niveau sectoriel

Lorsque l'économie générale se porte bien, ce n'est pas nécessairement vrai dans tous les secteurs. Il est donc important de bien suivre l'évolution du secteur auquel appartient l'action concernée. En voici deux exemples : l'évolution du nombre de travailleurs intérimaires est un bon indicateur économique, mais c'est aussi une donnée sectorielle importante pour une action comme celle de la société d'intérim Randstad ; le chiffre mensuel des immatriculations de voitures constitue là encore une donnée à prendre en compte pour l'importateur automobile d'Ieteren. Il est également important de suivre certaines tendances qui se manifestent au sein d'un secteur. La concurrence entre entreprises d'un même secteur peut fluctuer. Plus il y a de concurrents, plus il est difficile pour une entreprise de maintenir ses marges bénéficiaires à un niveau élevé.

Lorsque des exploitants de salles de cinéma annoncent l'implantation d'un nouveau complexe cinématographique en Belgique, la situation de Kinopolis s'en ressentira. L'évolution technologique au sein d'un secteur peut également se révéler lourde de conséquences : le passage de la photographie analogique à la photographie numérique, par exemple, est important pour Spector firme de développement de photos.

3.3. Le niveau micro-économique

La vigilance est de mise lorsque les plans économique du secteur se présentent bien, et cependant que l'entreprise affiche des résultats médiocres. Les facteurs micro-économiques (liés à l'entreprise) conditionnent le comportement à tenir.

L'entreprise est-elle bien gérée ? Ne s'est-elle pas trop endettée ? Est-elle à même de générer suffisamment de bénéfices à partir de ses ventes ? Les ratios financiers apportent une réponse à certaines de ces questions. Avant d'envisager l'achat d'une action, il est intéressant de parcourir ces ratios. On peut recourir aux ratios financiers de deux manières différentes : en les étudiant sur une période déterminée ou en les comparant aux ratios d'autres entreprises appartenant au même secteur.

3.3.1. Liquidité

Les ratios de liquidité révèlent si une entreprise est à même de rembourser ses dettes à court terme. On appelle Current ratio (Liquidité au sens large) le rapport des actifs circulants (actifs réalisables rapidement) aux fonds de tiers à court terme (moins d'un an).

Ce ratio doit être supérieur à 1. Si les actifs circulants de l'entreprise suffisent tout juste à couvrir les dettes à court terme, son "current ratio" sera égal à 1. Plus le current ratio est élevé, plus l'entreprise est "liquide".

Une entreprise qui affiche un curent ratio élevé est à même de respecter ses obligations à court terme en toutes circonstances. On appelle Quick ratio (Liquidité au sens étroit) le rapport des actifs circulants diminués des stocks aux fonds de tiers à court terme.

Le Quick ratio (ou Acid test) est un ratio plus sévère que le curent ratio. Comme il arrive que les stocks soient difficiles à écouler, ceux-ci sont déduits des actifs circulants au numérateur.

3.3.2. Solvabilité

La solvabilité exprime la capacité future d'une entreprise à rembourser ses dettes à long terme et à honorer ses obligations en matière d'intérêts. Ici aussi, on distingue deux ratios différents :

$$\text{Taux d'endettement} = \text{Fonds de tiers} / \text{fonds propres.}$$

Plus ce ratio est élevé, plus la partie des actifs d'une entreprise financée par les créanciers est grande.

$$\text{Ratio de couverture d'intérêt} = \text{Résultat d'exploitation avant amortissements} / \text{charges d'intérêts.}$$

Plus ce deuxième ratio est élevé, plus l'entreprise est à même de rembourser ses charges financières annuelles. Pour une entreprise, le coût des dettes est inférieur au coût des fonds propres (le return exigé par les actionnaires). Par conséquent, une entreprise peut recourir à ce levier financier pour améliorer son bénéfice grâce à des dettes supplémentaires, et relever ainsi son rendement sur fonds propres. Mais cette médaille a son revers : lorsque les dettes s'accumulent, l'entreprise court le risque de ne plus pouvoir rembourser ses charges d'intérêt. Elle risque la faillite, auquel cas il ne restera plus rien pour les actionnaires.

Surtout en période de crise économique, les ratios de liquidité et de solvabilité sont surveillés de près. Si l'endettement est excessif, il se peut que l'entreprise ne soit plus à même d'honorer ses dettes. Ainsi, plusieurs entreprises de télécoms ont fait faillite récemment suite à un endettement excessif. Ces entreprises avaient surestimé leur croissance future et s'étaient endettées en conséquence.

Le ratio de solvabilité 'idéal' dépend beaucoup du secteur dans lequel opère l'entreprise. Dans les secteurs où les entreprises génèrent beaucoup de cash-flow, comme dans l'industrie cimentière par exemple, un ratio de solvabilité moins favorable est plus facilement admis que dans les secteurs où les entreprises 'consomment' beaucoup de cash-flow, comme dans certains secteurs technologiques.

3.3.3. Rentabilité

La rentabilité d'une entreprise peut se calculer de trois manières différentes le bénéfice tiré de chaque euro de chiffre d'affaires généré, soit la rentabilité sur chiffre d'affaires = bénéfice après impôts / chiffre d'affaires le bénéfice généré à partir de chaque euro apporté par les actionnaires, soit la rentabilité sur fonds propres = bénéfice après impôts / fonds propres.

Enfin : le bénéfice réalisé à partir de chaque euro apporté par les actionnaires et les créanciers, soit la rentabilité sur le patrimoine total = bénéfice avant impôts + charges financières / total bilantaire.

3.3.4. Valorisation

Les données fondamentales sont une chose, le cours de l'action en est une autre. Le rapport entre ces deux éléments constitue la valorisation de l'action. Les analystes financiers calculent cette valorisation et l'accompagnent ensuite d'une recommandation d'achat, de vente, ou d'un avis neutre.

Comme cela a déjà été signalé, un investisseur actif doit toujours "faire ses devoirs". D'ailleurs, il n'est pas nécessaire d'avoir la « bosse des maths » pour se former une idée de la valorisation d'une action. Quelques ratios très simples lui seront d'une grande aide.

3.3.4.1. DCF ou DDM

Attardons-nous d'abord à un modèle de valorisation plus sophistiqué auquel ont recours les analystes financiers. La méthode du "*discounted cash-flow*" (DCF) permet de calculer la valeur théorique d'une action : cette valeur est égale à la valeur actuelle des cash-flows futurs.

Les analystes commencent par déterminer une prévision des cash-flows. Ayant choisi une année déterminée, on prévoit généralement pour la suite une croissance constante, souvent inférieure aux prévisions. Puis ces montants sont escomptés selon le rendement exigé par les actionnaires.

Le facteur principal de cette approximation est le niveau des taux. Plus les taux sont élevés, plus la valeur actuelle des montants futurs est faible. Plus les taux sont faibles, plus les montants sont élevés et donc, plus la valeur théorique d'une action l'est également. Au facteur taux s'ajoute une prime de risque, fonction du profil de risque de l'action.

La méthode du DCF est l'instrument de valorisation le plus juste, mais il est difficile à appliquer, parce qu'il est difficile d'obtenir les chiffres exacts. Qui avait prévu la bulle technologique des années 1999-2000 ? Qui avait prévu l'effondrement conjoncturel en 2001 ?

En outre, il est indispensable de très bien connaître l'entreprise pour pouvoir évaluer les facteurs qui lui sont propres et qui sont susceptibles d'influencer le calcul. Le facteur d'escompte est difficile à évaluer lui aussi : aux taux s'ajoute la prime de risque. C'est la prime que les investisseurs exigent d'obtenir en plus du taux d'intérêt sans risque.

La détermination de cette prime de risque est un exercice subjectif. Or, une simple différence d'un pour cent aura une grande répercussion sur la valeur finale du DCF. Une variante importante de la méthode DCF est la méthode des dividendes escomptés. Bien entendu, cette approche ne peut s'appliquer qu'aux entreprises qui distribuent chaque année un dividende. Or, ces dernières années, nombre d'entreprises ont cherché des alternatives à la distribution de dividendes, telles que le rachat d'actions propres. L'application de ce modèle de valorisation s'en trouve dès lors compliquée.

3.3.4.2. PER⁷⁹

⁷⁹ . Price Earning Ratio, rapport du cours boursier au bénéfice par action, expression anglaise, synonyme de coefficient de capitalisation des résultats ou de multiple de capitalisation.

L'investisseur particulier utilisera de préférence certains ratios. Le ratio le plus connu est certainement le rapport du cours au bénéfice par action ou "*price earnings ratio*" (PER). Exemple : l'entreprise X cote 25 euros et a réalisé un bénéfice par action de 2,5 euros au cours du dernier exercice. Le P/E est alors de 10.

Dans ce cas, il s'agit du PER historique. Or, le PER prospectif, qui tient compte du bénéfice attendu, est plus utile. Le bénéfice attendu est le bénéfice moyen que prévoient les analystes. Si cette année, les analystes prévoient un bénéfice par action de 3,12 euros, le PER attendu revient à 8.

Il est important de faire abstraction des coûts et revenus exceptionnels lorsqu'on calcule le bénéfice. Lorsqu'une entreprise vend l'une de ses filiales, elle enregistre un bénéfice exceptionnel, qui a pour effet de comprimer le PER, mais ce chiffre ne reflète pas les performances opérationnelles de cette entreprise.

Plus le PER est bas, plus l'action est intéressante. Notons qu'il s'agit toujours de comparer ce ratio à celui des concurrents au sein du même secteur d'activité. S'il n'y a pas de concurrents comparables, on fera la comparaison avec un échantillonnage d'entreprises de même taille. A côté de la comparaison intra-sectorielle, il est utile aussi de procéder à une comparaison avec la Bourse du marché local de l'entreprise. Certaines Bourses de taille modeste, comme celle de Bruxelles, peuvent se révéler meilleur marché que les grandes Bourses. Ainsi, il vaut mieux comparer le brasseur Duvel-Moortgat avec d'autres *small caps*⁸⁰ issues d'autres secteurs, plutôt qu'avec un brasseur gigantesque comme Inbev (ex Interbrew).

Si nous inversons les termes du ratio PER, on obtient le rendement réel de l'action ou "*earnings yield*". Le rapport entre le rendement bénéficiaire et le taux des emprunts d'État sert souvent de paramètre de valorisation pour la Bourse en général. Plus ce ratio est élevé, moins la Bourse est chère, et vice versa.

3.3.4.3. Rendement du dividende

Le rendement du dividende est le rapport entre le dividende et le cours d'une action. Plus le cours de l'action est faible, plus le rendement de dividende est élevé, et inversement. Ce ratio est intéressant pour juger les entreprises "adultes" qui distribuent une grande partie de leurs bénéfices sous forme de dividendes. Le rapport entre le dividende et le bénéfice est appelé *payout ratio*⁸¹.

Les entreprises tentent de distribuer chaque année un dividende supérieur de quelques pour cent à celui de l'année précédente. Par conséquent, dans une année médiocre, le pay-out ratio augmentera et réciproquement.

⁸⁰ . Acronyme pour "small capitalization". Nom donné à une petite valeur, c'est-à-dire une valeur dont la capitalisation boursière (cours de l'action multiplié par le nombre d'actions) est très faible. Aux États-Unis, une capitalisation boursière normale doit atteindre le cap du milliard de dollars.

⁸¹ Part du bénéfice distribué aux actionnaires sous la forme d'un dividende.

L'investisseur doit s'assurer que le dividende distribué n'est pas un dividende exceptionnel, consécutif à la vente d'une filiale par exemple. Un dividende exceptionnel peut en effet déformer l'image du rendement de dividende annuel que l'investisseur peut attendre de l'action.

Dans les années 1999-2000, l'intérêt en faveur du dividende a sensiblement reculé. Mieux valait, estimait-on, réinvestir cet argent dans la croissance. Cette approche était aussi plus intéressante sur le plan fiscal puisqu'un précompte mobilier de 25 pour cent est dû sur le dividende. Aussi, pour les investisseurs particuliers, est-ce surtout le rendement net qui importe.

Lorsque l'économie a une croissance moindre, la distribution annuelle d'un dividende retrouve tout son intérêt. Il permet aussi d'amortir quelque peu les chutes de cours extrêmes. Lorsque le rendement de dividende des actions approche celui des emprunts d'État, les investisseurs seront tentés d'acheter beaucoup d'actions. Généralement, un rendement de dividende élevé révèle le caractère défensif d'une action.

3.3.4.4. Cours / cash-flow

De récents scandales financiers ont prouvé que certaines entreprises n'hésitaient pas à abuser des amortissements et des réductions de valeur pour pouvoir afficher des résultats supérieurs aux prévisions. Les amortissements d'immobilisations corporelles et de *goodwill*⁸² (montant payé par un repreneur ajouté à la valeur comptable de l'actif repris) sont en effet sujets à manipulations. Lorsque les affaires vont bien, les entreprises sont tentées, pour des raisons fiscales, d'enregistrer davantage d'amortissements, et inversement.

Le cash-flow se prête moins aux manipulations. Il s'agit de la somme d'argent qui entre dans une entreprise durant une période déterminée, diminuée de la somme des dépenses durant cette période. Les charges non décaissées – soit les frais qui ne génèrent pas de sortie de caisse réelle – sont comprises dans ce chiffre.

Le calcul de base du cash-flow est le suivant :

Cash-flow = bénéfice après impôts + charges non décaissées (amortissements, réductions de valeurs, provisions)

Une variante du ratio cours/cash-flow est le rapport de la valeur de l'entreprise (Entreprise Value) au cash-flow d'exploitation, **EBITDA** ou "Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization"⁸³. L'endettement net s'ajoute, au numérateur, à la valeur de l'entreprise sur le marché (la capitalisation boursière). L'endettement net est la différence

⁸² . Survaleur (écart d'acquisition) : lorsqu'une société prend le contrôle d'une autre, elle paye en général un prix supérieur à la seule valeur des capitaux propres. Le Goodwill est l'écart entre le prix payé et les capitaux propres de la société rachetée.

⁸³ . C'est l'équivalent de l'EBE, Excédent Brut d'Exploitation, qui représente la différence entre les produits d'exploitation et les charges d'exploitation consommées.

entre le total des dettes financières à court et long termes parmi les liquidités dont dispose l'entreprise.

Le résultat financier et les impôts sont déduits du numérateur. Le ratio EV/EBITDA s'est rapidement répandu. Les analystes y ont fréquemment recours, surtout pour évaluer les entreprises appartenant à des secteurs où les bénéfices nets réalisés sont faibles, tels que le secteur des télécoms ou des technologies. Pourtant, ici aussi, la vigilance est de mise.

Il convient de s'assurer que les entreprises n'ont pas sciemment omis de tenir compte de certains éléments dans le calcul de leur **EBITDA**. Redisons qu'il est important pour l'investisseur de "faire ses devoirs".

3.3.4.5. Cours/valeur comptable

Le rapport cours/valeur comptable est un ratio fort apprécié des investisseurs amateurs d'actions "de valeur". Ces investisseurs recherchent des actions fondamentalement sous-valorisées et n'hésitent pas à reprendre des titres dont le marché se détourne (temporairement).

Lorsque le cours d'une action est inférieur à sa valeur comptable, la théorie veut que la liquidation de l'entreprise rapporte davantage que le cours actuel. Cette règle appelle cependant certaines nuances. La valeur comptable n'est pas égale par définition à la valeur du marché, surtout par temps de crise économique.

La valeur comptable appelle une vigilance encore plus grande lorsqu'un poste de « goodwill » important figure au bilan. Dans un passé récent, nombre d'entreprises ont dû procéder à d'importants amortissements, tout simplement parce que des reprises trop chères avaient été payées.

Dans ce cas, la valeur comptable se rétrécit comme peau de chagrin. Mieux vaut dès lors limiter l'application de ce ratio aux entreprises des secteurs traditionnels.

3.3.4.6. Cours/valeur intrinsèque

La valeur intrinsèque d'une action est une estimation de sa valeur de marché réelle. Elle est donc comparable à la valeur comptable, qui est une notion purement... comptable. Le rapport cours/valeur intrinsèque est un ratio qui s'applique aux SICAFI⁸⁴ mais aussi aux holdings. Un holding est une société qui exerce le contrôle de plusieurs 'sociétés d'exploitation'. Il n'exerce pas d'activité d'exploitation propre.

Certains holdings sont investis dans plusieurs secteurs différents⁸⁵, tels que GBL et Ackermans & Van Haaren, tandis que d'autres sont spécialisés dans un secteur déterminé,

¹⁰. La Sicafi (société d'investissement à capital fixe immobilière) est un organisme de placement collectif (OPC) dont l'activité est limitée à l'immobilier. Son agrément par la Commission Bancaire, Financière et des Assurances lui procure un statut auquel des avantages fiscaux non négligeables sont attachés.

⁸⁵. Site web: <http://les.investisseurs.net>

comme le holding de distribution Mitiska. D'autres se contentent de contrôler une seule entreprise déterminée.

Ainsi, Tubize contrôle UCB, tandis que Solvac détient le contrôle de Solvay. Si le cours est inférieur à la valeur intrinsèque, on parle de décote. Dans le cas contraire, il s'agit d'une prime.

La plupart des holdings affichent un cours inférieur à leur valeur intrinsèque, et ce pour plusieurs raisons. D'abord s'ils ont un principal actionnaire de référence cela réduit la liquidité de l'action : cet état de fait risque d'hypothéquer le traitement égalitaire de l'ensemble des actionnaires (corporate governance).

Enfin, le marché se montre de moins en moins intéressé par des structures de holding complexes, leur préférant des entreprises qui présentent un axe d'intérêt clair. Les holdings publient régulièrement la valeur intrinsèque de leur portefeuille et l'écart qui existe avec le cours réel.

Une sous-valorisation jusqu'à cinquante pour cent n'est pas exclue. Cela ne signifie pas que l'action affiche directement un potentiel haussier. Une sous-valorisation peut en effet perdurer durant des années. Toutefois, si le holding dispose d'un portefeuille sous-jacent attrayant, la valeur de ce placement sera révélée tôt ou tard et profitera aux investisseurs à long terme.

3.3.4.7. Cours/chiffre d'affaires

Le rapport du cours au chiffre d'affaires est un ratio très utilisé, et ce pour deux raisons. D'abord, le chiffre d'affaires est une donnée comptable difficile à manipuler. Ensuite, ce ratio peut se calculer pour toutes les entreprises, même les déficitaires.

Nombre d'entreprises affichent un cours dont le montant vaut à peu près le chiffre d'affaires. D'où une variante de ce ratio est le rapport de la valeur d'entreprise au chiffre d'affaires. Il indique quel chiffre d'affaires est généré par une entreprise comparé au capital mis en œuvre.

Ce ratio n'a de sens que pour comparer des entreprises de même secteur, et surtout en cas de faible rentabilité. La valeur d'entreprise correspond à la capitalisation boursière de l'entreprise augmentée de toutes les dettes financières.

3.3.4.8. Facteur PEG

Le facteur PEG exprime le ratio PER en fonction de la croissance bénéficiaire attendue. Cette évaluation paraît logique : les actions qui affichent une croissance bénéficiaire élevée peuvent présenter un PER élevé. Celles qui affichent un rapport PER de 30 ne sont pas nécessairement hors de prix si l'entreprise concernée maintient un rythme de croissance annuelle de 35 ou 40%. Ce facteur ne peut donc pas être supérieur à 1.

La difficulté du calcul de ce ratio réside dans l'estimation de la croissance bénéficiaire attendue. Faut-il aligner celle-ci sur la croissance bénéficiaire historique ? Faut-il se baser sur les prévisions bénéficiaires d'un optimisme parfois excessif avancées par la direction de l'entreprise ? De plus, la première année exerce une influence très forte sur la croissance

bénéficiaire. Plus les résultats de la première année sont faibles, plus il est facile pour l'entreprise de faire mieux par la suite, et donc de réaliser une croissance bénéficiaire. Les entreprises vigoureuses qui affichent une croissance forte étant plutôt rares aujourd'hui, le facteur PEG n'est plus guère utilisé.

3.3.5. Autres facteurs influençant le cours

Comme il a été signalé plus haut, il peut arriver que le cours et la valeur fondamentale d'une action divergent pendant une longue durée. La Bourse connaît alternativement des périodes de sous-valorisation fondamentale et de survalorisation fondamentale. Les facteurs dont l'exposé va suivre peuvent également exercer une influence sur les cours.

3.3.5.1. La psychologie du marché

Les marchés ont tendance à exagérer, dans un sens ou dans l'autre, les données fondamentales connues. Au cours de la période 1999-2000, par exemple, les investisseurs ont ignoré les nouvelles négatives émanant du secteur technologique et ainsi les cours ont dépassé nettement les valeurs fondamentales des actions correspondantes.

Une hausse des cours attire de nouveaux intéressés qui n'étaient pas encore actifs en Bourse : ils ont le sentiment d'avoir manqué un 'bénéfice' et achètent des actions ; ces achats stimulent les cours et amplifient la survalorisation des actions. Depuis 2001, les investisseurs accordent davantage d'attention aux nouvelles négatives, et restent prudents devant les échos positifs.

Cette évolution s'est traduite aussi par une baisse de l'intérêt des investisseurs particuliers pour la Bourse. Ils se sont retirés massivement, provoquant du même coup un nouveau repli des cours. Et certains investisseurs ont justement profité de ce repli pour acheter.

3.3.5.2. L'offre

Comme il a été dit, un cours d'équilibre s'obtient par le jeu de l'offre et de la demande. La demande d'actions augmente lorsque les perspectives fondamentales sont positives et que le climat boursier s'améliore.

L'offre d'actions peut aussi varier sensiblement et agit donc aussi sur le cours. Lorsqu'une entreprise rachète des actions propres, l'offre diminue et le cours augmente. Le bénéfice par action augmente également, du moins si les actions rachetées par leur émetteur sont détruites. Lorsqu'un secteur gagne en popularité alors que l'offre d'actions du secteur est limitée, on peut assister à des hausses de cours impressionnantes.

Dans un passé récent, on a constaté ce phénomène dans le secteur Internet ou encore dans le secteur des énergies alternatives. L'offre peut aussi augmenter à la suite d'une introduction boursière ou d'une augmentation de capital ; dans ce cas, le cours est généralement mis sous pression ; le bénéfice par action est dilué car le bénéfice global est réparti entre un plus grand nombre d'actions. L'augmentation de capital se produit généralement lorsque le climat boursier s'améliore.

3.3.5.3. La liquidité

Sur le marché, on trouve de grandes, de moyennes et de petites actions. Dans le jargon boursier, on parlera de *blue chips* (grandes capitalisations)⁸⁶, de *midcaps* (capitalisations moyennes)⁸⁷ et de *small caps* (petites capitalisations). Ces trois catégories ne sont pas déterminées par des critères fixes. L'intérêt accordé aux petites actions varie d'une période à l'autre. En 1998, les valeurs de faible montant faisaient encore l'objet d'un intérêt sain en Belgique et on a assisté à l'arrivée sur le marché de nombreuses entreprises introduites à des cours représentant environ vingt fois leur bénéfice annuel. Aujourd'hui, le statut des *small caps* s'est dégradé : des entreprises qui communiquent peu ou qui affichent un faible flottant (la proportion d'actions librement négociables) ont une faible valorisation. Il est ainsi fréquent que de petites entreprises affichent un cours qui représente moins de dix fois leur bénéfice- à tort, souvent.

⁸⁶ . Valeur vedette d'un marché, jouissant d'une renommée importante et servant de référence au marché.

⁸⁷ . Action d'une société de moyenne capitalisation, catégorie comprise entre les *small caps* et les *blue chips*.

4- L'efficience de marché

Depuis sa première définition par FAMA (1965)⁸⁸ le concept d'efficience a connu plusieurs acceptions qui ont conduit à différentes descriptions des marchés financiers. FAMA (1970) décrit le marché efficient comme celui sur lequel les prix reflètent toute l'information disponible. Il suppose qu'il n'existe pas de coûts d'intervention (coûts de transaction, impôts...), que l'information est immédiatement et gratuitement disponible pour tous les participants et, enfin, que tous les investisseurs mesurent les effets de cette information sur les cours présents ainsi que les distributions de cours futurs pour chaque titre.

En réalité, la théorie des marchés efficients part des cinq hypothèses suivantes :

- il existe un nombre important d'investisseurs rationnels qui participent activement au marché en analysant, évaluant et échangeant les titres ;
- les investisseurs prennent les prix comme une donnée exogène. Ils ont un comportement non concurrentiel ;
- l'information est générée au hasard c'est à dire que les annonces sont fondamentalement indépendantes les unes des autres ;
- l'information n'est pas biaisée, elle est connue de tous les participants sensiblement au même moment ;
- les investisseurs réagissent rapidement et correctement à toute nouvelle information de sorte que les cours s'ajustent.

L'efficience ne peut être testée que pour une seule catégorie d'information à la fois. A la suite de **FAMA**, on répartit l'information en trois catégories, correspondant à trois formes de tests et donc à trois niveaux d'efficience informationnelle. La première catégorie se limite à l'historique des cours passés et donne lieu à des tests d'efficience faible. La deuxième englobe toutes les données publiques (bilans, comptes de résultats, PER) susceptibles d'influencer le cours des titres et permet de tester l'efficience semi-forte. Enfin, la dernière catégorie englobe toute l'information disponible y compris celle qui n'est accessible qu'aux seuls initiés et se prête aux tests d'efficience forte. **FAMA** (1991) renomme les trois formes de l'efficience. L'efficience de forme faible devient la prévisibilité des rentabilités, dont les tests sont définis par les rentabilités passées et aussi des variables telles que les dividendes ou les taux d'intérêt. Ceux de la forme semi-forte regroupent les études d'événement et ceux de la forme forte concernent l'information privée.

La modélisation et le concept d'efficience proposés par **FAMA** ont nourri la réflexion scientifique. **BEAVER** (1981) affine le concept et considère «qu'un marché est efficient par rapport à un signal y_t si et seulement si la configuration des prix des titres $\{P_{jt}\}$ est la même que celle obtenue dans une économie analogue où de plus chaque individu recevrait à la fois

⁸⁸ . GILLET P., (2006), L'efficience des marchés financiers, Economica, Paris.

y'_t et des informations privilégiées »⁸⁹. Sur un tel marché, les prix se comportent comme si l'information y'_t était connue de tous. Il définit l'efficacité par rapport au système qui produit le signal observé, donc par rapport à un ensemble de signaux possibles. Il distingue l'efficacité de l'information de l'efficacité du système d'information.

LATHAM (1986) précise que les marchés sont efficaces par rapport à une information donnée si le fait de révéler cette information à tous les agents ne modifie ni l'équilibre des prix, ni celui des portefeuilles.

STIGLITZ (1981) rompt avec la notion d'efficacité des marchés relativement à l'information. Il considère que c'est l'efficacité économique et plus précisément la qualité de l'allocation des ressources du pays considéré qui détermine celle des marchés financiers; plus elle est importante, plus on peut s'attendre à ce que les marchés soient concurrentiels. Cette approche a conduit à considérer que les caractéristiques des marchés financiers dans les pays en voie de développement (taille, réglementation, coûts de transaction et nature des investisseurs) constituent un obstacle à l'efficacité.

SAMUELS (1981) affirme que la nature des marchés émergents est telle que les prix ne peuvent pas refléter toute l'information disponible. Par conséquent, on ne peut pas s'attendre à ce que les investisseurs interprètent correctement l'information annoncée dès lors que les grandes sociétés ont toute latitude pour influencer le cours de leur titre en le faisant varier d'une amplitude non justifiée par l'information disponible.

Dans cette analyse la relation qui existe entre l'information et le prix des titres passe au second plan. Or, c'est précisément l'efficacité informationnelle qui intéresse les gérants de portefeuilles, car elle leur donne des indications sur leur capacité et celle de leurs pairs à agir sur le marché.

En outre **FAMA**⁹⁰ a défini la distinction entre un marché efficace et un marché parfait. Un marché parfait est de type Walrasien, c'est-à-dire un marché où les prix déterminés par les lois de l'offre et de la demande sont des prix d'équilibre.

Les conditions nécessaires à l'existence d'un marché parfait sont les suivantes :

- atomicité du marché, c'est-à-dire, multiplicité des acheteurs et des vendeurs, sans qu'aucun d'entre eux n'ait une position dominante ; ils sont considérés comme "price-takers";
- libre entrée sur le marché, ce qui suppose une liquidité et des frais de transaction réduits ;

⁸⁹ . BEAVER W H., (1981), "Market Efficiency," *The Accounting Review*, v56 (1), pp23-37.

⁹⁰ . JAFFEUX C., (1991), « Signal et Efficacité des Marchés Impact d'une Notation Lors de l'Emission de Billets de Trésorerie sur le Marché à Règlement Mensuel », *AFIR Colloquium*, Université de Paris: Panthéon-Sorbonne, UFR Gestion3, pp 387-412.

- transparence totale du marché, les informations sont accessibles à tous et sans coût ;
- divisibilité parfaite du capital.

Ces hypothèses seraient suffisantes, mais non nécessaires à la définition d'un marché efficient.

Pour conclure, de nombreux acteurs du marché pratiquent l'analyse technique conjointement avec l'analyse fondamentale pour déterminer leur stratégie de trading (transaction).

L'un des principaux avantages de l'analyse technique est la possibilité pour les analystes expérimentés de suivre plusieurs marchés et instruments de marché, alors que l'analyse fondamentale suppose la connaissance approfondie d'un marché en particulier.

Principales différences entre les deux types d'analyse:

| Analyse fondamentale | Analyse technique |
|---|--|
| Se fixe sur ce qui devrait se passer sur un marché | Se fixe sur ce qui se passe réellement sur un marché |
| Facteurs impliqués dans l'analyse de prix : 1. Offre et demande 2. Cycles saisonniers 3. Temps 4. Politique gouvernementale | Graphiques fondés sur l'action du marché impliquée : 1. Prix 2. Volume 3. Intérêt ouvert (contrat à terme seulement). |

Le fondamentaliste étudie les causes des mouvements du marché alors que le technicien en étudie les effets.

L'analyste fondamental identifie et mesure les facteurs qui déterminent la valeur intrinsèque d'un instrument financier : entre autres, le contexte général politique et économique, parmi eux les facteurs qui affectent l'offre et la demande des produits et services en dépendant. Si l'offre décroît mais que le niveau de la demande reste inchangé, les prix du marché vont alors augmenter. Une croissance de l'offre produit l'effet inverse.

Chapitre 6

MÉTHODES DE PRÉVISION

La prévision est un outil très utile pour l'aide qu'elle apporte à tout gestionnaire. Elle joue un rôle important dans le processus de planification des actions futures en avenir incertain.

Le domaine des méthodes de prévision est assez différent du domaine de la finance tant par les informations requises que par les objectifs visés : cependant on peut s'interroger sur les liens qui existent entre la prévision (ses méthodes) et la connaissance des marchés financiers. En effet, les marchés financiers constituent des outils de mesure extrêmement intéressants du fait qu'ils permettent d'effectuer en même temps des comparaisons et offrent une gamme étendue d'informations sur les perceptions qu'en ont les opérateurs.

La caractéristique principale distinguant le monde financier d'aujourd'hui de celui d'hier est certainement celle de l'efficacité des marchés au niveau international. En effet, les méthodes statistiques et informatiques auxquelles on a recours dans les opérations boursières sont devenues disponibles dans la plupart des grandes institutions financières du monde entier (RUGGIERO 1994)⁹¹. Grâce à ces méthodes le marché mondial connaît actuellement une efficacité fortement accrue.

Nous allons exposer quelques concepts liés à la théorie de la prévision et donner les explications de techniques de prévision parmi les plus utilisées.

Dans ce chapitre, nous définirons certaines notions importantes dans le domaine de la prévision des marchés financiers. Nous traiterons d'abord les généralités sur des méthodes

⁹¹ . RUGGIERO M-A.,(Sept 1994), “ How to build an artificial trader”, *Futures Cedar Falls, Iowa*, v.23 p.56-58.

statistiques traditionnelles de prévision de marchés (la méthode **ARIMA**⁹² : Moyenne Mobile Intégrée Auto-régressive).

Puis grâce au développement des technologies informatiques appliquées aux nouvelles méthodes de prévision, nous présenterons la méthode de réseaux de neurones artificiels **ANN**⁹³ pour prévoir l'indice du marché boursier Egyptien (**Chapitre 8**).

1. La méthode ARIMA (moyenne mobile intégrée auto-régressive)

La méthode ARIMA (moyenne mobile intégrée auto-régressive) développée par **BOX** et **JENKINS** (1976) s'est rapidement généralisée et a été utilisée dans de nombreux domaines, en particulier dans celui de notre recherche. Elle consiste à sélectionner un modèle de prévision parmi une classe de modèles stochastiques. Elle s'applique à des séries longues dont la structure est suffisamment stable. Voici quelques définitions utiles :

Les processus auto-régressifs supposent que chaque point peut être prédit par la somme pondérée d'un ensemble de points précédents, plus un terme aléatoire d'erreur.

- Le processus d'intégration suppose que chaque point présente une différence constante avec le point précédent ;
- Les processus de moyenne mobile supposent que chaque point est fonction des erreurs entachant les points précédents, plus sa propre erreur.

1.1. Typologie du modèle

Un modèle ARIMA est étiqueté comme modèle ARIMA (p,d,q), dans lequel :

p est le nombre de termes auto- régressifs ;

d est le nombre de différences ;

⁹² . Auto-Regressive Integrated Moving Average en anglais.

⁹³ .Artificial Neural Network ANN en anglais.

q est le nombre de moyennes mobiles.

1.1.1. Premier critère : la différenciation

L'estimation des modèles ARIMA⁹⁴ suppose que l'on travaille sur une série stationnaire. Ceci signifie que la moyenne de la série est constante dans le temps, ainsi que la variance. La meilleure méthode pour éliminer toute fluctuation est de différencier, c'est-à-dire de remplacer la série originale par la série des différences adjacentes. Une série temporelle qui a besoin d'être différenciée pour atteindre la stationnarité est considérée comme une version intégrée d'une série stationnaire (d'où le terme *Integrated*).

La correction d'une non-stationnarité en termes de variance peut être réalisée par des transformations de type logarithmique (si la variance croît avec le temps) ou à l'inverse exponentielle. Ces transformations doivent être réalisées avant la différenciation. Une différenciation d'ordre 1 suppose que la différence entre deux valeurs successives de y est constante.

$$y_t - y_{t-1} = \mu + \varepsilon_t$$

μ est la constante du modèle, et représente la différence moyenne en y. Un tel modèle est un ARIMA (0,1,0). Il est représenté comme un accroissement linéaire en fonction du temps.

Si μ est égal à 0, la série est stationnaire.

Les modèles d'ordre 2 travaillent non plus sur les différences brutes, mais sur les différences de différence. La seconde différence de y au moment t est égale à

$$(y_t - y_{t-1}) - (y_{t-1} - y_{t-2}), \text{ c'est-à-dire à } y_t - 2y_{t-1} + y_{t-2}.$$

Un modèle ARIMA (0,2,0) obéira à l'équation de prédiction suivante :

⁹⁴ . BOX G.E.P. & JENKINS G.M., (1976), Time series analysis : Forecasting and control. Oakland, CA : Holden-Day.

$$y_t - 2y_{t-1} + y_{t-2} = \mu + \varepsilon_t \quad \text{ou encore} \quad y_t = \mu + 2y_{t-1} - y_{t-2} + \varepsilon_t$$

1.1.2. Deuxième critère : l'auto-régression

Les modèles autorégressifs supposent que y_t est une fonction linéaire des valeurs précédentes :

$$y_t = \mu + \varphi_1 y_{(t-1)} + \varphi_2 y_{(t-2)} + \varphi_3 y_{(t-3)} + \varepsilon_t.$$

Chaque observation est constituée d'une composante aléatoire (choc aléatoire, ε) et d'une combinaison linéaire des observations précédentes, dans laquelle les constantes φ_1 , φ_2 et φ_3 sont les coefficients d'auto-régression.

Notons que cette équation porte soit sur les données brutes, soit sur les données différenciées si une différenciation a été nécessaire.

Pour un modèle ARIMA (1, 1,0) on aura :

$$y_t - y_{t-1} = \mu + \varphi.(y_{t-1} - y_{t-2}) + \varepsilon_t,$$

Ce qui peut également s'écrire :

$$y_t = \mu + y_{t-1} + \varphi.(y_{t-1} - y_{t-2}) + \varepsilon_t,$$

Un processus auto-régressif ne sera stable que si les paramètres sont compris dans un certain intervalle ; par exemple, s'il n'y a qu'un paramètre auto-régressif φ_1 , il doit se trouver dans l'intervalle $]-1 ; +1[$. Dans les autres cas, les effets passés s'accumuleraient et les valeurs successives des y_t se déplaceraient indéfiniment vers l'avant, ce qui signifie que la série ne serait pas stationnaire.

S'il y a plus d'un paramètre auto-régressif, des restrictions similaires (générales) sur les valeurs des paramètres doivent être imposées.

1.1.3. Troisième critère : la moyenne mobile

Les modèles à moyenne mobile suggèrent que la série présente des fluctuations autour d'une valeur moyenne. On considère alors que la meilleure estimation est représentée par la moyenne pondérée d'un certain nombre de valeurs antérieures (ce qui est le principe des procédures de moyennes mobiles utilisées pour le lissage des données). Ceci revient en fait à considérer que l'estimation est égale à la moyenne vraie, à laquelle on ajoute une somme pondérée des erreurs ayant entaché les valeurs précédentes :

$$y_t = \mu - \theta_1 \varepsilon_{(t-1)} - \theta_2 \varepsilon_{(t-2)} - \theta_3 \varepsilon_{(t-3)} + \varepsilon_t.$$

Chaque observation est composée d'une composante d'erreur aléatoire (choc aléatoire, ε) et d'une combinaison linéaire des erreurs aléatoires passées, dans laquelle les constantes θ_1 , θ_2 et θ_3 sont les coefficients de moyenne mobile du modèle.

Comme précédemment cette équation porte soit sur les données brutes, soit sur les données différenciées si une différenciation a été nécessaire.

Pour un modèle ARIMA (0, 1,1) on aura :

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

ce qui peut également s'écrire :

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

Un modèle de moyenne mobile correspond à des séries avec des fluctuations aléatoires autour d'une moyenne variant lentement. Plutôt que de prendre comme avant la valeur précédente comme prédicateur, on utilise une moyenne de quelques observations antérieures, de manière à éliminer le bruit, et estimer plus précisément la moyenne locale.

Cette logique correspond au **lissage exponentiel simple**, qui considère chaque observation comme la résultante d'une constante (b) et d'un terme d'erreur ε , soit :

$$y_t = b + \varepsilon_t$$

La constante b est relativement stable sur chaque segment de la série, mais peut se modifier lentement au cours du temps.

Si ce modèle est approprié, l'une des manières d'isoler la valeur réelle de b - et donc la partie systématique ou prévisible de la série-consiste à calculer une sorte de moyenne mobile, où les observations courantes et immédiatement précédentes ("les plus récentes") ont une pondération plus forte que les observations plus anciennes.

C'est exactement ce que fait un lissage exponentiel simple, où les pondérations les plus faibles sont affectées exponentiellement aux observations les plus anciennes. La formule spécifique de lissage exponentiel simple est :

$$y_t = \alpha \hat{y}_t + (1-\alpha) y_{t-1}.$$

Lorsqu'on l'applique de façon récurrente à chaque observation successive de la série, chaque nouvelle valeur prédite est calculée comme la moyenne pondérée de l'observation courante et de l'observation précédente prédite ; la précédente observation prédite était elle-même calculée à partir de la valeur (précédente) observée et de la valeur prédite avant cette valeur (précédente), et ainsi de suite.

Par conséquent, chaque valeur prédite est une moyenne pondérée des observations précédentes, où les poids décroissent exponentiellement selon la valeur du paramètre α . Si α est égal à 1 les observations précédentes sont complètement ignorées ; si α est égal à 0, l'observation courante est totalement ignorée, et la valeur prédite ne porte que sur les valeurs prédites précédentes (qui est calculée à partir de l'observation lissée qui lui précède, et ainsi de

suite ; c'est pourquoi toutes les valeurs prédites auront la même valeur que la valeur initiale \hat{y}_0). Les valeurs intermédiaires de α produiront des résultats intermédiaires (noter que la valeur $(1-\alpha)$ correspond au θ des équations précédentes).

On peut également envisager des modèles mixtes : par exemple un modèle ARIMA(1,1,1) aura l'équation de prédiction suivante :

$$y_t = \mu + y_{t-1} + \varphi \cdot (y_{t-1} - y_{t-2}) - \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \varepsilon_t.$$

Néanmoins on préfère généralement utiliser de manière exclusive les termes AR ou MA.

1.2. Signification des paramètres des modèles ARIMA

L'objectif essentiel des modèles ARIMA est de permettre une prédiction de l'évolution future d'un phénomène. Son développement dans le domaine de l'économétrie est fondé sur ce principe.

Un autre intérêt, peut-être plus essentiel en ce qui concerne la recherche scientifique, est de comprendre la signification théorique de ces différents processus.

Il est clair cependant que l'interprétation dépend de la nature du phénomène étudié, et des modèles dont le chercheur dispose pour en rendre compte.

Un **processus non différencié à bruit blanc** {ARIMA (0,0,0)} suggère des fluctuations aléatoires autour d'une valeur de référence. Cette valeur de référence peut être considérée comme une caractéristique stable du système étudié (trait de personnalité, mémoire, capacité stabilisée, etc.)

Un **processus de moyenne mobile** suggère que la valeur de référence évolue d'une mesure à l'autre. Plus précisément, la valeur de référence est fonction de la valeur de référence précédente et de l'erreur ayant entaché la mesure précédente.

Un **processus auto-régressif** suggère que le phénomène étudié n'est pas déterminé par une valeur de référence. C'est la performance précédente (ou les performances précédentes) qui détermine entièrement la performance présente.

Les séries sans connaissance des résultats (ou les portions de série sans connaissance des résultats) sont quant à elles modélisées selon un ARIMA (0,1,1) selon la formule :

$$y_t = \mu - \theta_1 \varepsilon_{(t-1)} + \varepsilon_t \quad \text{ou} \quad y_t = r_t + \varepsilon_t,$$

r_t représentant la valeur de référence, qui cette fois change à chaque essai. On peut déduire du modèle que :

$$r_t = r_{t-1} - \theta_1 \varepsilon_{(t-1)},$$

c'est-à-dire que la référence est une combinaison de la référence précédente et de l'erreur ayant entaché l'essai précédent. Ce modèle indique clairement que l'essai en cours est influencé par l'essai précédent, ce qui n'était pas le cas dans les essais avec connaissance des résultats.

Ce modèle peut également être écrit sous la forme d'une interpolation pondérée entre la performance au temps t et la référence au temps $t-1$:

$$r_t = -\theta_1 y_t + (1+\theta_1)r_{t-1}.$$

L'analyse des données de **DIGGLES** (1977) suggère que la référence précédente est plus importante que la performance actuelle.

1.3. Les différentes étapes

1.3.1. Détermination de l'ordre de différenciation

Une série stationnaire fluctue autour d'une valeur moyenne et sa fonction d'auto-corrélation décroît rapidement vers zéro. Donc si une série présente des auto-corrélations positives pour un grand nombre de décalages (par exemple 10 ou plus), alors il est nécessaire de la différencier; la différenciation tend à introduire des auto-corrélations négatives.

Si l'auto-corrélation de décalage 1 est égale à 0 ou négative, la série n'a pas besoin d'être différenciée. Si l'auto-corrélation de décalage 1 est inférieure à $-0,5$, la série est sur-différenciée.

L'ordre optimal de différenciation est souvent celui pour lequel l'écart-type est minimal. Un accroissement de l'écart-type doit donc être considéré comme un symptôme de sur-différenciation.

Un troisième symptôme de sur-différenciation est un changement systématique de signe d'une observation à l'autre.

Un modèle sans différenciation suppose que la série originale est stationnaire. Un modèle avec une différenciation d'ordre 1 suppose que la série originale présente une tendance constante. Un modèle avec une différenciation d'ordre 2 suppose que la série originale présente une tendance variant dans le temps.

Les modèles ARIMA peuvent inclure une constante ou non (sans constante veut dire que la constante est égale à 0). L'interprétation de la constante (signification statistique) dépend du modèle.

Un modèle sans différenciation possède généralement une constante qui représente alors la moyenne de la série.

Si la série est différenciée, la constante représente la moyenne ou l'ordonnée à l'origine de la série différenciée ; par exemple, si la **série est différenciée une fois**, et qu'il n'y a pas de paramètre autorégressif dans le modèle, la constante représentera la moyenne de la série différenciée, et donc le sens de variation de la tendance de la série non différenciée.

Dans le cas **des modèles avec un ordre de différenciation égal à 2**, la constante représente la tendance moyenne de la tendance.

Dans la mesure où en général on ne suppose pas l'existence de telles tendances, la constante est généralement omise.

S'il n'y a **pas de paramètre autorégressif** dans le modèle, l'espérance mathématique de la constante est m , la moyenne de la série.

S'il y a des **paramètres autorégressifs dans la série**, la constante représente l'ordonnée à l'origine.

A noter que la moyenne, dans les modèles ARIMA, renvoie à la moyenne des séries différenciées, alors que la constante est un facteur qui apparaît dans la partie droite des équations de prédiction. Moyenne et constante sont liées par l'équation suivante :

$$\mu = \text{moyenne} \times (1 - \sum \text{AR}(p))$$

La constante est égale à la moyenne multipliée par [1 moins la somme des coefficients des termes auto-régressifs].

1.3.2. Identification des termes AR (p: Auto-régressifs)

Après que la série a été rendue stationnaire, l'étape suivante consiste à identifier les termes **AR** et **MA** nécessaires pour corriger les auto-corrélations résiduelles. Cette analyse est basée sur l'examen des fonctions d'auto-corrélation et d'auto-corrélation partielle. Rappelons que l'auto-corrélation est la corrélation d'une série avec elle-même, selon un décalage défini. L'auto-corrélation de décalage 0 est par définition égale à 1. La fonction d'auto-corrélation fait correspondre à chaque décalage l'auto-corrélation correspondante.

D'une manière générale, une corrélation partielle entre deux variables est la quantité de corrélations qui ne tient pas compte des relations de ces variables avec un ensemble d'autres variables. Supposons par exemple que l'on réalise la régression de Y sur trois

variables X_1 , X_2 et X_3 : la corrélation partielle entre Y et X_3 contrôlant X_1 et X_2 est la quantité de corrélation entre Y et X_3 sans expliciter leurs relations communes avec X_1 et X_2 . Elle peut être calculée comme la racine carrée du gain de variance explicitée, obtenu en ajoutant X_3 à la régression de Y sur X_1 et X_2 .

Dans le cas des séries temporelles, la corrélation partielle de décalage k est la corrélation entre y_t et y_{t-k} , contrôlant l'influence des $k-1$ valeurs intermédiaires. L'auto-corrélation de décalage 1 est la corrélation entre y_t et y_{t-1} .

On suppose que c'est également la corrélation entre y_{t-1} et y_{t-2} . Si y_t et y_{t-1} sont corrélés, et si y_{t-1} et y_{t-2} le sont également, on peut supposer qu'il existera une corrélation entre y_t et y_{t-2} , c'est-à-dire que la corrélation de décalage 1 se propage au décalage 2 et aux décalages d'ordre supérieur. Plus précisément, la corrélation attendue au décalage 2 est le carré de la corrélation observée au décalage 1.

L'auto-corrélation *partielle* de décalage 2 est la différence entre l'auto-corrélation de décalage 2 et la corrélation attendue due à la propagation de la corrélation de décalage 1.

1.3.3. Identification des termes MA (q : Moyennes mobiles)

La fonction d'auto-corrélation joue le même rôle pour les processus de moyenne mobile que la fonction d'auto-corrélation partielle pour les processus auto-régressifs. Si l'auto-corrélation est significative au décalage k mais ne l'est plus au décalage $k+1$, alors k termes de moyenne mobile doivent être ajoutés au modèle.

A noter que si les coefficients **AR** peuvent être estimés par une analyse en régression multiple, une telle démarche est impossible pour les coefficients **MA**. D'une part, parce que l'équation de prédiction est non-linéaire, et d'autre part, parce que les erreurs ne peuvent être définies comme variables indépendantes. Les erreurs doivent être calculées pas à pas en fonction des estimations courantes des paramètres.

Une signature MA est généralement associée à une auto-corrélation négative au décalage 1, signe que la série est sur-différenciée. Une légère sur-différenciation peut donc être compensée par l'ajout d'un terme de moyenne mobile.

Toutefois, les composantes des séries chronologiques empiriques peuvent souvent être assez bien approchées en utilisant l'un des 5 modèles de base suivants, identifiables par la forme de l'auto-corrélogramme (FAC) et de l'auto-corrélogramme partiel (FACP).

- **Un paramètre autorégressif (p)** : FAC - décomposition exponentielle ; FACP - pic à la période 1, pas de corrélation pour les autres périodes ;
- **Deux paramètres autorégressifs (p)** : FAC - une composante de forme sinusoïdale ou un ensemble de décompositions exponentielles ; FACP - pics aux périodes 1 et 2, aucune corrélation pour les autres périodes ;
- **Un paramètre de moyenne mobile (q)** : FAC - pic à la période 1, aucune corrélation pour les autres périodes ; FACP - exponentielle amortie ;
- **Deux paramètres de moyenne mobile (q)** : FAC - pics aux périodes 1 et 2, aucune corrélation pour les autres périodes ; FACP - une composante de forme sinusoïdale ou un ensemble de décompositions exponentielles ;
- **Un paramètre auto-régressif (p) et un de moyenne mobile (q)** : FAC – décomposition exponentielle commençant à la période 1 ; FACP - décomposition exponentielle commençant à la période 1.

1.3.4. Estimation des paramètres

L'estimation des paramètres est obtenue selon la méthode des moindres carrés ordinaire. Cependant, la présence de termes **MA** fait apparaître des non-linéarités ce qui implique l'utilisation de la méthode du maximum de vraisemblance⁹⁵.

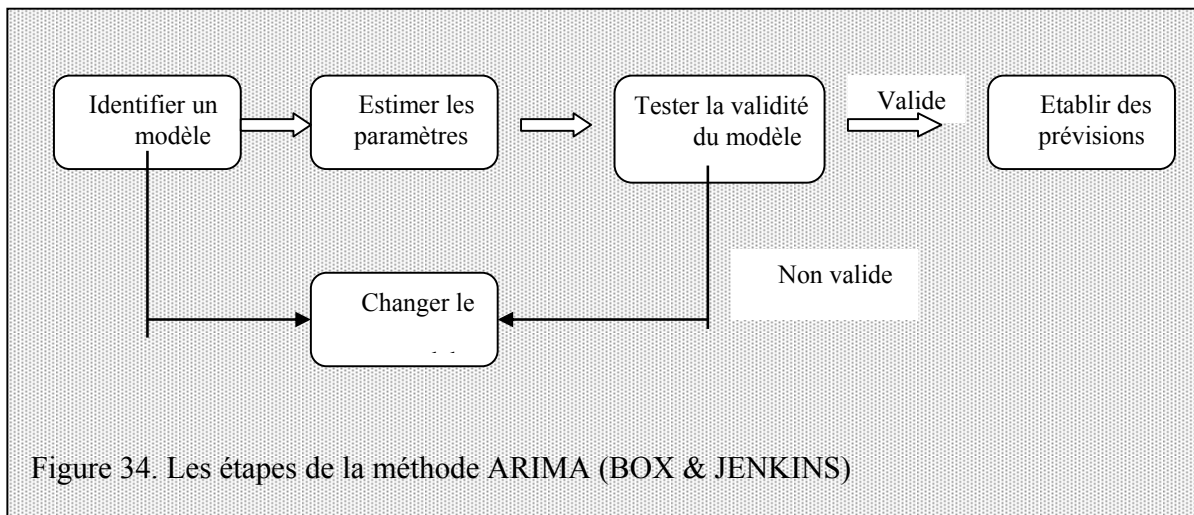
1.3.5. Validation

Cette étape vise essentiellement à examiner les erreurs et à s'assurer que les coefficients ε_t suivent un bruit blanc. Pour cela on effectue une analyse des corrélogramme et corrélogramme partiel des erreurs et on vérifie qu'on ne détecte aucune corrélation significative dans les erreurs.

1.3.6. Préviation

A la suite des étapes précédentes nous pouvons alors passer à l'application du modèle et estimer la prévision des variables souhaitées.

Donc, nous pouvons établir la figure suivante qui résume toutes les étapes de la méthode ARIMA (BOX & JENKINS)⁹⁶.



Toutefois, un bon modèle ne doit pas seulement produire des prévisions suffisamment précises, il doit également faire des choix raisonnables et produire des résidus statistiquement

⁹⁵.Nous ne détaillons pas ces points mais pour plus d'explication (ouvrages tels MELARD G, Méthodes de prévision à court terme, 2^{ème} édition, Bruxelles, Paris, Editions de l'Université de Bruxelles, Ellipses, 1995).

⁹⁶DAYAN A., (1999), Manuel de gestion, vol 2, universités francophones, Ellipses/AUF.

indépendants, ne contenant que du bruit, sans aucune composante régulière (par exemple, le corrélogramme des résidus ne doit pas révéler d'auto- corrélations). Un bon test du modèle consiste (a) à tracer les résidus et à les examiner pour voir s'il existe des tendances systématiques, et (b) à étudier l'auto-corrélogramme des résidus (il ne doit pas y avoir d'auto-corrélations entre les résidus).

L'analyse des résidus de l'ARIMA constitue un test important du modèle. La procédure d'estimation postule que les résidus ne sont pas auto-corrélés et qu'ils sont distribués normalement.

La méthode ARIMA n'est appropriée que lorsque la série chronologique est stationnaire, c'est-à-dire que les moyennes, variances, et auto- corrélations doivent être sensiblement constantes au cours du temps). Il est également recommandé d'avoir au moins 50 observations dans le fichier des données. Les paramètres estimés sont considérés constants dans toute la série.

Enfin, parmi les logiciels informatiques statistiques performants qui facilitent le traitement de cette méthode, nous allons prendre le logiciel Statgraphics Centurion XV qui est capable de traiter et de choisir automatiquement le modèle adéquat de prévision selon les observations. Il sera présenté au **chapitre 8**.

2- Méthode des réseaux de neurones artificiels ANN

Ces dernières années, de nouvelles approches quantitatives ont été proposées dans le domaine de la prévision sous les vocables "réseaux neuronaux", "algorithmes génétiques", "apprentissage adaptatif", ... Parmi celles-ci, les approches neuronales semblent avoir été plus spécifiquement utilisées dans le domaine de la prévision de séries chronologiques⁹⁷.

⁹⁷. Kouam A , Badran F , Thiria S., (1992), "Approche méthodologique pour l'étude de la prévision à l'aide des réseaux de neurones", *Neuro-Nîmes*, , Actes de la Conférence.

Ces techniques peuvent être classées dans le domaine de **l'intelligence artificielle** du fait de leur comportement très lié aux **techniques d'apprentissage**. A cette fin, on doit penser qu'ils peuvent s'adapter plus facilement aux techniques de prévision, où les modèles en prévision sont réajustés de façon constante.

2.1. *Présentation historique*⁹⁸

Bien que les réseaux neuronaux aient été introduits il y a longtemps dans les travaux pionniers de **McCULLOCH** et **PITTS** (1943), on leur accorda peu d'attention dans la communauté scientifique jusqu'à une époque récente.

Cependant, un nouvel intérêt pour les réseaux neuronaux est apparu avec les découvertes de deux équipes de recherche indépendantes (**LECUN** (1985), **RUMELHART**, **MCCLELLAND** (1986)) qui proposèrent de nouveaux algorithmes d'optimisation. Leurs recherches relèvent du domaine d'intelligence artificielle caractérisées par deux objectifs principaux (**HERTZ**, **KROGH**, **PALMER**, 1991) :

- créer de nouveaux modèles pour une meilleure représentation des problèmes dans le monde réel ;
- intégrer la possibilité d'apprentissage automatique et d'auto-amélioration dans les modèles.

L'idée principale de ces modèles neuronaux tient à une représentation graphique spéciale s'apparentant à la complexité des éléments du cerveau (cf. **KOHONEN** et al. (1991)). Ces techniques sont très utiles pour des extensions de modèles mathématiques à un contexte non-linéaire où il devient possible de traiter de nouvelles données et effectuer des modifications de données en temps réel (cf. **GOLDEN** (1986)).

⁹⁸.Pour plus de détaille voir l'annexe.

Les applications principales se trouvent dans l'élaboration de modèles théoriques d'aide à la décision, à la prévision, à la robotique, à la biologie, ainsi que dans plusieurs domaines médicaux (KOHONEN T 1995). De telles applications intègrent souvent des modèles de type de régression améliorés par les méthodes neuronales (WASSERMAN 1989).

Il faut par ailleurs noter que dès l'aube de l'ère informatique, certains scientifiques ont tenté de reproduire ou d'imiter ce que l'on pouvait savoir du fonctionnement du cerveau et en particulier des circuits mentaux du fait de la puissance des outils mis alors à leur disposition. De nombreux scientifiques considéraient l'ordinateur comme une machine pensante et ils avaient conçu beaucoup de programmes informatiques utilisant l'intelligence artificielle pour résoudre les problèmes selon le mode de fonctionnement de la pensée humaine. Ces concepts furent rapidement rejetés par les penseurs traditionnels qui accusèrent les scientifiques de l'informatique de s'étendre beaucoup trop sur l'obscurantisme informatique et pas assez sur l'authentique connaissance et l'étude du cerveau humain, comme par exemple sur les neurosciences (KOCH, DAVIS (1994).

A ce propos il convient de citer les efforts des médecins et des neurologues pour modéliser le cerveau. Par exemple, dans les années 80, des modèles en intelligence artificielle utilisés dans des automates tels le 'DARWIN' d'EDELMAN ont permis aux machines d'effectuer des tâches complexes comme la reconnaissance d'objets tridimensionnels et certaines fonctions tactiles telles la manipulation de ces objets et leur classement (RENAUD, 1989).

2.2. Définitions

"Les réseaux de neurones apparaissent comme des logiciels capables de reproduire des comportements sub-cognitifs et de résolution de problèmes pour lesquels on dispose de connaissances factuelle (données, résultats) mais dont on ignore les lois ou relations permettant de passer, par un enchaînement logique, des données à une solution."⁹⁹

⁹⁹ . D'après REIX R, (2004), *Systèmes d'information et management des organisations*, Vuibert gestion.

Un réseau de neurones artificiels cherche à reproduire le fonctionnement élémentaire du cerveau humain par une modélisation de son élément de base, le neurone, et de sa structure, l'interconnexion entre ces neurones.

Le terme «réseaux de neurones artificiels» désigne des circuits composés de petites unités de calcul interconnectées, dont le fonctionnement est inspiré de celui du système nerveux humain. On a conçu une grande variété de tels systèmes pour traiter diverses applications en intelligence artificielle et en traitement de l'information.

Un réseau de neurones est un outil de modélisation puissant qui peut capter et représenter des rapports complexes entre des entrées et une sortie. L'origine du développement de la technologie des réseaux de neurones provient du désir de développer un système artificiel capable d'accomplir des tâches "intelligentes" similaires à celles exécutées par le cerveau humain.

Les réseaux de neurones sont semblables au cerveau humain si on considère les deux propriétés suivantes :

Un réseau de neurones acquiert la connaissance par l'apprentissage. La connaissance d'un réseau de neurones est stockée dans des forces de connexion inter-neuronales connues sous le nom de "poids synaptiques".

Le véritable avantage des réseaux de neurones réside dans leur puissance, leur faculté à représenter à la fois des rapports linéaires et non-linéaires, et dans leur capacité d'apprentissage de ces rapports directement à partir de la série de données modélisée.

2.3. Composants de réseau neurones

Des entrées (synapses) : lui permettant de recevoir des influences externes, chaque entrée est caractérisée par un coefficient spécifique de pondération (son poids synaptique **W**) qui varie au cours du temps, en fonction des entrées présentées (**E**). Une difficulté apparaît

alors : savoir comment modifier ces poids. Un noyau cellulaire dont l'état ou potentiel est déterminé par la valeur des stimuli reçus en entrée pondérée par \mathbf{W} . Une sortie (axone \mathbf{S}) qui traduit l'influence du neurone sur l'extérieur, sa valeur dépendant de l'état du noyau cellulaire ; elle lui est liée par une fonction (filtre) qui est en général non linéaire¹⁰⁰ et donnée par la formule suivante :

$$S = f(A) = \frac{1}{1 + e^{-A}},$$

où $A = \sum_{i=0}^n W_i Y_i,$

W_i : Poids synaptiques,

Y_i : Sorties des prédécesseurs du neurone.

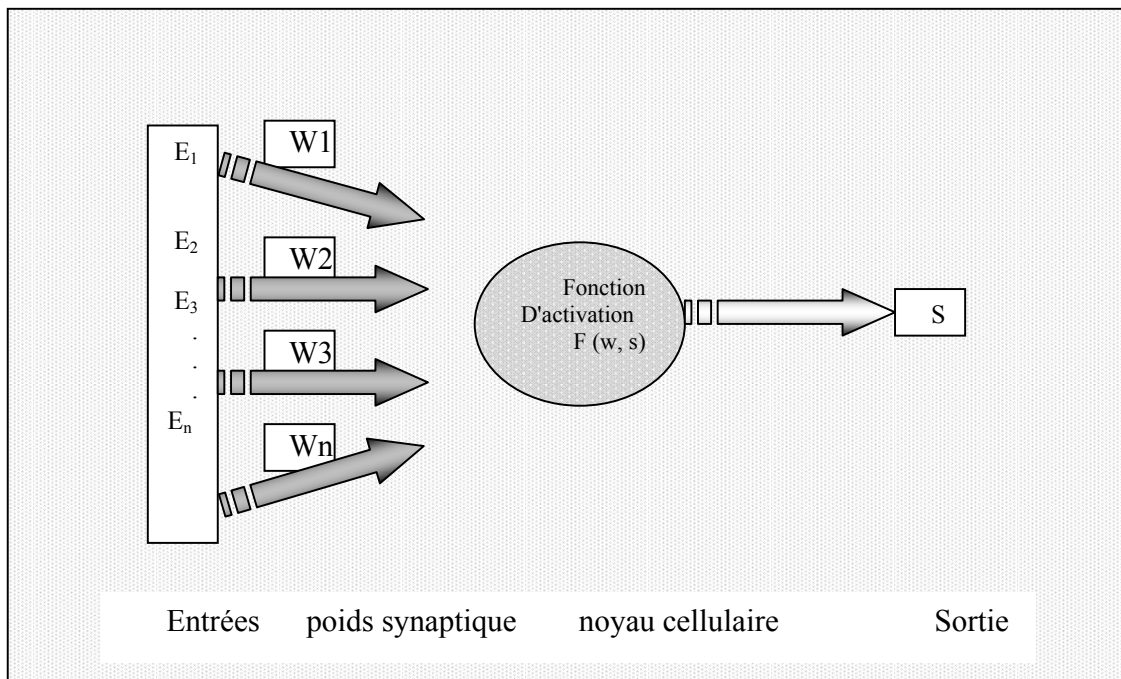


Figure 35- un neurone artificiel¹⁰¹

2.4. Les étapes de la construction d'un réseau

¹⁰⁰ . Cette fonction est pour une sortie non linéaire, mais en générale la fonction est $Y = f(w,s)$ où cette fonction f peut être une sigmoïde(exponentielle ou tangentielle), ou bien une fonction gaussienne (Radial Basis appelée aussi RBF).

¹⁰¹ . Auteur.

Pour construire un réseau de neurones, la première chose à faire est de bien choisir ses échantillons de données d'apprentissage, de tests et validation. C'est seulement après cela qu'on déterminera le type de réseau convenant à la résolution de son problème.

Afin de rendre les idées plus claires, voici chronologiquement les quatre grandes étapes par lesquelles passe la création d'un réseau de neurones :

2.4.1. Choix et préparation des échantillons

Le processus d'élaboration d'un réseau de neurones commence toujours par le choix et la préparation des échantillons de données. Comme dans les cas d'analyse de données, cette étape est primordiale car elle va permettre au concepteur de déterminer le type de réseau le mieux approprié à son problème. La façon dont se présente l'échantillon conditionne le type de réseau, le nombre de cellules d'entrée, le nombre de cellules de sortie et la façon dont il faudra mener l'apprentissage, les tests et la validation.

2.4.2. Elaboration de la structure du réseau

La structure du réseau dépend étroitement du type des échantillons. Il faut d'abord choisir le type de réseau : un perceptron standard, ou un réseau de **HOPFIELD**, ou un réseau à décalage temporel (TDNN), ou un réseau de **KOHONEN**, ou un **ARTMAP** etc... Dans le cas du perceptron, par exemple, il faudra aussi choisir le nombre de neurones dans la couche cachée ; plusieurs méthodes existent et on peut, entre autres, prendre la moyenne du nombre de neurones d'entrée et de sortie ; mais rien ne vaut après l'examen de toutes les possibilités le choix de celle qui offre les meilleurs résultats.

2.4.3. Apprentissage

L'apprentissage consiste tout d'abord à calculer les pondérations optimales des différentes liaisons, en utilisant un échantillon. La méthode la plus utilisée est la *rétropropagation* : on entre des valeurs des cellules d'entrée et en fonction de l'erreur obtenue à la sortie, on corrige les poids accordés aux pondérations. On réitère le processus jusqu'à ce que la courbe d'erreurs du réseau ne soit plus croissante (il faut bien prendre garde ne pas sur-entraîner un réseau de neurones qui deviendra alors moins performant). Il existe d'autres méthodes d'apprentissage telles que le *quickprop* par exemple.

Nous pouvons distinguer trois types de réseaux selon leurs méthodes d'apprentissage :

- les réseaux à apprentissage supervisé (supervised learning) dans lesquels le système apprend à reconnaître des formes à partir d'un échantillon d'apprentissage qui

- associe les modalités portées par des variables censées caractériser une forme, et la forme elle-même. Sur cet échantillon les résultats correspondant aux divers ensembles d'informations données au système sont connus. C'est à partir de là que le système se paramètre ; par exemple on lui présente en entrée une lettre " a " manuscrite et en sortie un code correspondant à la lettre " a " ;
- les réseaux à apprentissage non supervisé (unsupervised learning), qui sont utilisés lorsque l'utilisateur du réseau n'est pas en mesure de présenter au système un échantillon mettant en regard une somme d'informations et la forme qu'elle est censée représenter. Le réseau s'auto-organise de façon à découvrir des formes récurrentes dans les informations qu'il reçoit, mais il le fait sans aide extérieure, contrairement aux réseaux à apprentissage supervisé. Le plus connu de cette catégorie de réseaux est celui de KOHONEN (1984) ;
 - Il existe aussi des réseaux à apprentissage dit semi-supervisés (reinforcement learning) qui ne tiennent compte que d'une évaluation partielle ou qualitative des sorties.

2.4.4. Validation et Tests

Alors que les tests concernent la vérification des performances d'un réseau de neurones hors échantillon et sa capacité de généralisation, la validation est parfois utilisée lors de l'apprentissage. Une fois le réseau calculé, il faut toujours procéder à des tests afin de vérifier qu'il réagit correctement. Il y a plusieurs méthodes pour effectuer une validation : la cross-validation, le bootstrapping. Mais pour les tests, dans le cas général, une partie de l'échantillon est simplement écarté de l'échantillon d'apprentissage et conservé pour les tests hors échantillon. On peut par exemple utiliser 60% de l'échantillon pour l'apprentissage, 20% pour la validation et 20% pour les tests. Dans les cas de petits échantillons, on ne peut pas toujours utiliser une telle distinction, simplement parce qu'il n'est pas toujours possible d'avoir suffisamment de données dans chacun des groupes ainsi créés. On a alors parfois recours à des procédures comme la cross-validation pour établir la structure optimale du réseau.

2.5. Quelques types de réseaux connus

2.5.1. Le Perceptron

C'est un des premiers réseaux de neurones, conçu en 1958 par ROSENBLATT. Il est linéaire et monocouche. Il est inspiré du système visuel. La première couche (d'entrée) représente la rétine. Les neurones de la couche suivante sont les cellules d'association, et la couche finale les cellules de décision.

Les sorties des neurones ne peuvent prendre que deux états (-1 et 1 ou 0 et 1). Seuls les poids des liaisons entre la couche d'association et la couche finale peuvent être modifiés.

La règle de modification des poids utilisée est la règle de **WIDROW-HOFF** : si la sortie (celle d'une cellule de décision donc) est égale à la sortie désirée, le poids de la connexion entre ce neurone et le neurone d'association qui lui est connecté n'est pas modifié. Dans le cas contraire le poids est modifié en fonction de l'entrée :

$w_i \leftarrow w_i + k(d - s)$ avec k : constante positive,
 s : sortie et d : sortie désirée.

En 1969, PAPERTE et MINSKY (un des pères des systèmes experts) démontrent les limites du perceptron classique, incapable par exemple de simuler la fonction ou exclusif (xor).

2.5.2. Les perceptrons multicouches (PMC)

Ils représentent une amélioration du perceptron simple. Ils comprennent une ou plusieurs couches intermédiaires dites couches cachées : ils utilisent pour modifier leurs poids un algorithme de rétropropagation du gradient, qui est une généralisation de la règle de **WIDROW-Hoff** ; on veut toujours minimiser l'erreur quadratique, ce qui s'effectue assez simplement si on utilise une fonction f dérivable (la sigmoïde par exemple) ; on propage ensuite la modification des poids de la couche de sortie jusqu'à la couche d'entrée.

Les PMC agissent comme un séparateur non-linéaire et peuvent être utilisés pour la classification, le traitement de l'image ou l'aide à la décision.

2.5.3. Les réseaux de HOPFIELD

Un réseau de HOPFIELD réalise une mémoire adressable par son contenu. Il s'agit d'un réseau constitué de neurones de MACCULLOCH et PITTS (à deux états, -1 et 1 ou 0 et 1), dont la loi d'apprentissage est la règle de HEBB (1949), qui veut qu'une synapse améliore son activité si et seulement si l'activité de ses deux neurones est corrélée (C'est-à-dire que le poids w_{ij} d'une connexion entre un neurone i et un neurone j augmente quand les deux neurones sont activés au même temps).

2.5.4. Les réseaux de KOHONEN

Contrairement aux réseaux de HOPFIELD où les neurones sont modélisés de la façon la plus simple possible, on recherche ici un modèle de neurone plus proche de la réalité. Ces réseaux sont inspirés des observations biologiques du fonctionnement des systèmes nerveux de perception des mammifères.

Une loi de HEBB modifiée (tenant compte de l'oubli) est utilisée pour l'apprentissage. La connexion est renforcée dans le cas où les neurones reliés ont une activité simultanée, et diminuée dans le cas contraire.

$$d w_i / dt = k S e_i - B(S) w_i,$$

avec $B(S)$ la fonction d'oubli,

S : sortie (toujours positive).

Une loi d'interaction latérale (observée biologiquement) est aussi modélisée. Il y a une interaction positive entre les neurones très proches physiquement (le poids des connexions est augmenté quand une synapse est activée), négative entre les neurones un peu plus éloignés, et aucune entre les neurones éloignés.

On utilise aussi parfois des lois de concurrence entre les neurones (création et destruction de neurones selon certains critères, exemple : la règle du "winner-take-all" « le gagnant prend toute la mise »). Ceci permet de résoudre certains problèmes, dits NP-complets, tels le problème du voyageur de commerce.

Les réseaux de KOHONEN ont des applications dans la classification, le traitement de l'image, l'aide à la décision et l'optimisation.

2.6. Applications des réseaux neurones artificiels

L'étude des réseaux de neurones est une voie prometteuse de l'Intelligence Artificielle, qui a des applications dans de nombreux domaines :

- Industrie : contrôle qualité, diagnostic de panne, corrélation entre les données fournies par différents capteurs, analyse de signature ou d'écriture manuscrite ;
- Finance : prévision et modélisation du marché, sélection d'investissements, attribution de crédits, détection de la défaillance des entreprises, et détection de fraudes de traitement de la carte bancaire ;
- Comptabilité : analyse des opérations comptables, préparation des enregistrements, détections des erreurs et des fraudes, diagnostic comptable, sélection des échantillons de circularisation ;
- Télécommunications et informatique : analyse du signal, élimination du bruit, reconnaissance de formes (bruits, images, paroles), compression de données ;
- Environnement : évaluation des risques, analyse chimique, prévision et modélisation météorologiques, gestion des ressources.

Notre intérêt étant tourné vers la finance, nous allons préciser les applications dans ce qui suit.

2.6.1. Réseaux neuronaux artificiels dans les marchés financiers

Les réseaux neuronaux artificiels sont d'utilisation courante dans le champ de la finance. Comme une ANN est le mieux adaptée aux problèmes non structurés avec les modèles et données altérées, les réseaux neuronaux sont utilisés par les financiers d'entreprise pour créer des simulations financières (c'est-à-dire touchant la gestion, l'évaluation d'investissements capitaux, les atouts et risques du personnel, etc), mais pas pour certaines entreprises particulières en ce qui concerne le facteur temps, et le financement ou non par rapport à leurs positions dans l'environnement externe (TURBAN, 1996).

Comme les réseaux neuronaux artificiels sont capables de développer des règles de données historiques, ils demandent davantage de ces données que l'analyse technique. Et aussi la technologie ANN est un outil bien adapté aux investisseurs comme méthode pour l'analyse technique. Une approche de la prévision boursière a été l'utilisation de plusieurs types de variables - quantitatives et qualitatives (TURBAN, 1996).

D'ailleurs récemment, les réseaux de neurones sont devenus une technologie fréquemment employée en analyse technique. Un réseau de neurones est une "formule" très puissante et très flexible dont les résultats fournis à la sortie peuvent être utilisés directement pour prendre des décisions boursières (achat / vente des actions).

Le réseau de neurones surclasse de loin un indicateur habituel, parce qu'il possède une capacité d'apprentissage à partir de la série de données elle-même. Il peut trouver des rapports et des tendances dans les données qui sont souvent trop complexes à identifier à la simple lecture d'un graphique ou à définir avec un ensemble de règles mathématiques.

L'utilisation la plus répandue des réseaux de neurones pour l'analyse technique¹⁰² est celle qui consiste à créer un modèle de façon à prédire le prix futur d'un actif financier, étant donné les prix actuels et antérieurs et toute autre information technique et/ou fondamentale. Le prix prédit peut alors être pris en considération afin de produire un signal indicateur d'achat ou de vente. Le système le plus simple sera : achat si le prix prédit est plus élevé que

¹⁰².Site internet: <http://www.tradingsolutions.com>

le prix courant, vente dans le cas contraire. Il suffit que le réseau fasse son apprentissage en utilisant plusieurs années de données, après lui avoir donné comme entrée la valeur quotidienne du prix de clôture de l'action et de l'indice et comme sortie désirée le prix de clôture de l'action du jour suivant.

2.7. Les avantages de ANN

Par rapport aux modèles classiques d'analyse statistique, les réseaux de neurones artificiels possèdent plusieurs avantages¹⁰³:

- ils permettent, comme cela a déjà été signalé, de traiter des problèmes non structurés, c'est-à-dire des problèmes sur lesquels on ne dispose d'aucune information a priori. En particulier, on notera qu'il n'est pas nécessaire de connaître la distribution de probabilité des variables, ce qui n'est pas le cas dans la plupart des modèles d'analyse statistique sauf s'il s'agit d'analyses non paramétriques ;
- en découvrant eux-mêmes les relations entre les variables, ils sont tout à fait adaptés pour traiter des problèmes non linéaires éminemment complexes. Cet aspect est tout à fait intéressant car il n'oblige pas à s'interroger sur la forme de la fonction à estimer ;
- ils peuvent travailler sur des données incomplètes ou des données bruitées. L'incomplétude des données peut être prise en compte par l'ajout de neurones supplémentaires. CASTA et PRAT (1994) ont montré que des architectures spécifiquement réfléchies pour traiter les problèmes d'incomplétude des données peuvent améliorer sensiblement les résultats obtenus sur un modèle de détection préventive d'entreprises en difficulté ;
- l'arrêt du processus itératif lorsque le réseau produit les meilleurs résultats sur l'échantillon de validation lui confère une certaine robustesse. On peut en effet considérer que de cette manière, seule l'information pertinente est intégrée dans le

¹⁰³ . PAQUET P., (1997), « L'utilisation des réseaux de neurones artificiels en finance », *document de recherche* n° 1-1997, Laboratoire Orléanais de Gestion.

système. Les bruits qui pourraient concourir à la spécialisation du réseau ne sont pas intégrés ;

- ils permettent la prise en compte de variables qualitatives à travers des neurones recevant des valeurs binaires.

On peut aussi ajouter quelques propriétés remarquables des réseaux neuronaux:

- ils ne sont pas programmés ;
- ce sont des systèmes dynamiques ;
- ce sont des boîtes noires très évolutives ;
- ils sont capables de raisonner de manière globale ;
- ils sont capables de filtrer les bruits et d'isoler l'information utile ;
- ils sont capables d'abstraction en inférant un ensemble.

En conclusion, nous pouvons compter sur les réseaux neurones artificiels pour résoudre beaucoup de problèmes-entre autre notre problème de prévision de l'indice du marché boursier (marché faiblement efficace) en utilisant le logiciel **Neuro Solution 5** qui est capable de construire automatiquement le réseau adéquat selon les données, ce que nous allons montrer au **chapitre 8**.

Chapitre 7

IDIOSYNCRASIE DU MARCHÉ BOURSIER ÉGYPTIEN

La réforme et la revitalisation de la Bourse du Caire et d'Alexandrie (CASE) sont au cœur du train de réformes économiques que l'Égypte poursuit pour encourager les investisseurs égyptiens à investir, pour attirer des investisseurs étrangers et pour rester compétitive.

En 1997, la CASE lançait une campagne de modernisation, laquelle prévoyait la mise en place en 2001 d'un nouveau système de cotation et de transaction, l'établissement de nouvelles règles axées sur la transparence, la divulgation et la gouvernance, ainsi que la tenue de consultations entre la CASE et d'autres places boursières en vue d'accroître la collaboration.

La CASE est membre de la Federation of Euro-Asian Exchanges (Fédération des Bourses d'Echanges Euro-Asiatiques), de l'Association des bourses africaines et de l'Union des bourses arabes. De plus, en octobre 2001, la World Federation of Exchanges (Fédération mondiale des Bourses d'Echanges) élevait l'Égypte du statut de correspondant à celui de membre affilié. La CASE a également signé des protocoles d'entente avec d'autres bourses internationales.

Dans ce chapitre nous allons présenter le marché boursier de l'Égypte et les conséquences qui découlent de son existence sans entrer dans le débat déjà traité par plusieurs chercheurs et écrivains égyptiens, à savoir : approuver l'hypothèse de l'efficacité du marché boursier en Égypte.

1- Introduction historique

Au cours d'une de leurs réunions informelles au Café New Bar, le leader des commerçants et des courtiers du Caire a attiré une fois de plus l'attention sur le fait que les temps étaient propices à la création d'une Bourse au Caire, suivant l'exemple d'Alexandrie. Il était devenu difficile pour les Responsables des sociétés étrangères de passer des accords dans les rues du Caire, dans les cafés ou les hôtels, lorsque leurs gouvernements projetaient de provisionner des projets dans leur propre intérêt ou au bénéfice de particuliers. Il existait alors 79 sociétés à responsabilité limitée capitalisant au total 29 millions de livres égyptiennes. C'est ainsi qu'est née la Bourse du Caire. C'était le jeudi 21 mai 1903 ; le comité spécial présidé par le Bey Maurice Qattawy a choisi les anciens bâtiments de la Banque Ottomane (aujourd'hui la Branche de Groppi-Adly) dans la Rue Maghraby comme siège social officiel, mais temporaire, de la Compagnie Bancaire et de la Bourse de l'Égypte, nouvellement fondée, compagnie à responsabilité limitée.

1.1. Les membres fondateurs de la Bourse en 1903

Nous citons parmi ces membres : M. Maurice Katawie Baigue, le président Arbibe, M. Kaukssein, Jnarpolo Osiol, M. Makleivrie, M. Odolph Katawaie (représentant de la société "Courtiers en Commerce"), M. Ride (représentant de la société "Courtiers en Valeurs"). Il faut y adjoindre un représentant du Crédit Lyonnais, de la Banque Misr, de la Banque Impériale Ottomane, de la Banque Britannique d'Egypte, de la Banque Nationale d'Egypte.

En 1903, M. Boutiny fut nommé premier Secrétaire Général de la Bourse. Avec des projets ambitieux, la nouvelle institution a loué les locaux pour un bail non renouvelable de six ans pour un loyer annuel de 400 livres égyptiennes. En même temps, un concours international d'architecture a été ouvert pour la construction d'une bourse au centre du district européen du Caire, Ismaïlia, non loin de la Banque nationale de l'Egypte (aujourd'hui la Banque centrale).

En avril 1907 le prix du meilleur projet a été décerné à l'architecte français Raoul Brandon (l'architecte des Grands Magasins Orosdi-Back). Tous s'accordaient à penser qu'on ne pouvait pas choisir de meilleur moment. Les promoteurs de la construction étaient enthousiastes et désiraient la meilleure réalisation possible. On pouvait estimer que l'ensemble de la Bourse de Caire et de la Bourse d'Alexandrie se classait parmi les cinq premières Bourses du monde. L'économie de l'Egypte était à son point culminant et le nombre de compagnies seulement cotées à la Bourse de Caire seulement atteignait le chiffre de 228 avec un capital estimé à 91 millions de Livres. Soixante-treize courtiers et intermédiaires s'occuperaient du commerce des actions à tendance déflationniste.

La modestie des lieux dans la Rue Maghraby contrastait avec l'ambition de la construction. C'était le temps de la gloire. Mais dans un mouvement de pendule, l'euphorie initiale céda la place à une réserve prudente. En effet prudence et patience s'installèrent devant le risque causé par la concurrence. Tout finit aussi vite que cela avait commencé. Ces événements ont laissé une trace dans les annales de l'histoire boursière de 1907.

Des historiens considèrent que la panique boursière de 1907 a commencé à Alexandrie (Egypte), avec la faillite en juillet d'une grande banque - di Cassa Sconto. Par la suite, le Japon a été frappé, puis l'Allemagne, enfin le Chili. En Octobre, la panique a atteint l'Europe et les États-Unis. En Egypte, les banques qui s'étaient considérablement développées se replièrent l'une après l'autre, au fur et à mesure que les prix de l'action plongeaient. Le courtier au chômage, M. Alfred Nahman, a été nommé liquidateur principal de la Bourse et de la Banque d'Egypte.

Dix-huit mois après l'attribution du prix du meilleur projet de Bourse, qui ne vit jamais le jour, la Corporation des agents de change a chargé l'entreprise égyptienne d'Edward Matasek et Maurice Qattawy avec la participation d'Ernest Jaspar de construire un nouveau Bâtiment de Bourse.

L'édifice alors édifié était le bâtiment le plus beau de la ville. Enfin, après une longue période d'attente, le Caire avait (une vraie « corbeille ») une véritable enceinte boursière, entourée d'une haute galerie d'où le public intéressé pouvait observer les transactions. Le bâtiment, en face du consulat français, a été construit avec le concours de la Lloyds Bank, de

la chambre de commerce britannique, et de la Banque Nationale d’Egypte. Cette dernière est maintenant la Banque Nationale du Développement.

L’activité de la nouvelle Bourse avait à peine commencé, quand le 30 avril 1909 le leader de la politique de laisser-faire, le banquier et industriel Raphael Suares mourut. La clôture de la bourse fut décrétée ce jour-là : c’était en grande partie grâce à ses efforts que la bourse du Caire avait été créée. Par sa mort prématurée, Suares a manqué à quelques mois près l’application des premiers règlements de bourse.

C’est en 1928, une année avant l’effondrement de Wall Street, que la bourse du Caire fut déplacée dans son lieu actuel, rue de Sherifein. Le nouveau bâtiment avec ses vestibules multiples a été conçu par l’architecte français George Parcq, concepteur de nombreux édifices élégants du Caire, dont le grand magasin de Sednaoui place Khazindar. Par un hasard surprenant, le magasin Sednaoui a été construit à l’endroit même où s’était tenue la première réunion des négociants du Caire avant la fondation de la première Bourse du Caire.

Monsieur Cattai, fondateur de la bourse du Caire, est mort en 1924, et donc n’a pu prévoir que quatre ans après son décès la bourse allait être resituée sur une partie de la rue jusqu’à la place de Soliman Pasha (maintenant Talaat Harb). A ce jour, la Bourse du Caire se trouve bordée par deux rues dont l’une porte le nom de Moussa Cattai Pasha, en hommage à sa mémoire.

Avant la chute de la Bourse en juillet 1961 et après la nationalisation du secteur privé de l’Egypte, les bourses du Caire et d’Alexandrie (elles avaient déjà fusionné) occupaient la quatrième place dans le monde. Presque trente-six ans après, dans une nouvelle ère de restructuration économique, les Tigres du Nil doivent remettre la bourse du Caire à son ancien rang.

Les Membres fondateurs de la bourse en 1903 étaient : le Président Maurice Cattai Bey, Arbib, Cookson, Gennaropoulo, Oziol, McGillivray, Adolphe Cattai (courtier représentant en Commerce) et A.K. Reid (courtier représentant en Valeurs) ; et aussi des représentants du Crédit Lyonnais, de la banque d’Egypte, de la banque Impériale du Divan, de la banque Anglo-Égyptienne et de la banque fédérale d’Egypte. Boutigny avait été nommé Secrétaire.

1.2. Brève histoire de la Bourse des valeurs d’Alexandrie

Au 19^{ème} siècle, le marché à terme d’Alexandrie était déjà un des plus vieux au monde. La première transaction du coton enregistrée se tint en 1885 au Café Europa à Alexandrie, place des Consuls, plus tard nommée place Mohamed Ali. Là les négociants en coton se réunissaient, effectuant leurs affaires selon la loi de l’offre et de la demande- tantôt du coton à fibres longues (Karnak et Menouf), tantôt du coton à fibres moyennes Ashmouni, Giza et Zagora. Au fil des ans, les affaires se sont étendues aux variétés de graines de coton telles que la coque, l’afifi et le sakellaridis.

Les premiers fabricants de coton attendaient impatiemment l’arrivée hebdomadaire des revues européennes pour les guider dans leurs opérations futures. La réputation a compté

pour tout : les cultivateurs de coton qui effectuaient leurs livraisons à l'heure étaient recherchés par les exportateurs et recevaient des commandes importantes la saison suivante, le respect des rendez-vous et la fiabilité étaient essentiels si on voulait réaliser des bénéfices.

Les fabricants de coton ont quitté le Café Européen à Alexandrie pour un bâtiment voisin. Ainsi, pendant que les affaires se développaient, la Société de coton d'Alexandrie (plus tard la Société Alexandrine Générale pour les graines ou l'AGPA) a été créée pour le commerce du coton, des graines de coton sur les marchés à contrats à terme.

En 1899, à l'époque du Khédivé Abbas Hilmi II, l'AGPA a été déplacée vers un nouveau bâtiment, appelé depuis lors la bourse, sur la place de Mohamed Ali. La bourse d'Alexandrie était devenue le symbole de la ville et figurait sur les cartes postales, les livres et les guides de la ville. Par bien des côtés, la bourse était devenue le point central de la communauté financière de la ville. Les anciens lieux de l'association furent alors transformés en banque, et plus tard en night club Top Hat.

Les contrats à terme de la vente de coton ont été légalisés en 1909 pour coïncider avec le rétablissement de l'Égypte après la chute économique massive causée par l'effondrement financier de 1907 qui a amené la ruine des établissements bancaires et immobiliers due à la spéculation excessive. Jusqu'alors, l'intervention du gouvernement ne s'était pas manifestée. Jusqu'en 1931, le marché au comptant du coton de Minet Al-Bassal (le Quai aux Oignons) était pratiquement le seul.

Sur trente-cinq courtiers en coton enregistrés en 1950, deux seulement étaient Égyptiens. De même, à la tête de la bourse d'Alexandrie se trouvaient à côté des Égyptiens, des Levantins et des Juifs. Le président de cette bourse était un syrien, Jules Klat Bey. En dépit de cette mixité, AGPA a réussi à progresser, après le long contrôle Britannique, grâce à deux grands exportateurs de coton d'Alexandrie, la famille KFROU et la famille MÖESSE. Quand un fils de la première famille épousa l'héritière de MÖESSE, d'une poigne encore plus ferme ils régnèrent sur ce lucratif marché d'exportation. La plupart des moulins d'égrenage du coton ont été commandés par des Étrangers : au siècle dernier les principaux étaient Selig Kusel de Manchester, le Plantas de Liverpool, le Lindemann de Prague et de Dresde, et le Choremi-Benachi-Savagos représentant le groupe grec.

Jusqu'aux années 50 du XXème siècle, la plus grande part du commerce se faisait avec la Bourse de Liverpool, démontrant ainsi les liens forts de l'Égypte avec l'empire britannique. Contrairement au commerce du pétrole aujourd'hui, celui du coton égyptien pendant la période entre les deux guerres fut constamment lié à la politique, figurant dans des clauses de la plupart des accords internationaux de l'Égypte. C'était un outil de négociation important aussi bien qu'une garantie pour la devise de l'Égypte. La richesse commerciale de Manchester s'est établie sur cette fibre qui a permis la constitution de fortunes colossales au Royaume-Uni.

Il existait également le Comité commun du coton égyptien et l'Institut du coton, deux établissements importants, filiales du congrès (confédération) international de coton. Avec le temps on vit augmenter le nombre des exportateurs inscrits au registre du commerce autrefois jalousement gardé (du Finneys, du Rheinharts, du Rolos, du Cicurels et des Pintos). Parmi les

nouveaux venus il faut compter Talaat Harb Pasha, un des fondateurs du groupe de la Banque Misr, et Mohamed Farghaly Pasha, président de l'association des exportateurs de coton d'Alexandrie. Parmi les nouveaux experts, il y avait Ahmed Abdel Wahab Pasha, un ancien ministre des finances, et Fouad Abaza Pasha, le directeur de la société agricole royale.

Comme l'intelligentsia du Pays devait avoir son mot à dire dans les décisions prises, le commerce agricole passa sous la protection de l'état par une série de lois agraires, lors de la réforme des années 50. Alors, le secteur agricole subit une mutation et désormais fut placé aux mains de petites possessions peu lucratives et d'associations coopératives bureaucratiques.

2 - L'indice du marché Egyptien CASE¹⁰⁴

2.1. Qu'est-ce qu'un Indice ?

Un indice est une valeur numérique employée pour mesurer les changements des marchés financiers. L'indice est fixé à une valeur numérique sur la période fondamentale, c'est le point de départ auquel un pourcentage de changement peut être comparé à n'importe quel moment particulier. L'indice mesure les mouvements ascendants et descendants des actions ou des obligations, situe le prix du marché et reflète sa tendance, etc...

Un indice des actions indiquera la tendance globale sur la bourse des valeurs mobilières des valeurs à revenu variable. En d'autres termes, comment d'une façon générale opère l'indice ? C'est la mesure des tendances du marché, l'indicateur des mouvements généraux des prix du marché boursier. Ainsi, l'indice donnera la mesure du niveau du marché boursier entier à l'investisseur, ou d'un certain groupe d'action, par rapport auxquels les performances de différents capitaux mis sur le marché peuvent être mesurées ou jugées. Les indices sont les instruments mondiaux employés par des investisseurs aussi bien dans les marchés développés que dans les marchés en développement.

2.2. Avantages présentés par la notion d'indice

Elle récapitule le marché entier : un indice tient compte des compagnies de tous les secteurs de l'économie, ainsi il fournit une manière facile de mesurer les réalisations de l'économie aussi bien que le marché dans l'ensemble. Par conséquent, les indices agissent en tant qu'indicateurs des conjonctures économiques puisque les marchés boursiers sont sensibles aux conjonctures économiques. Un indice peut également être créé pour mesurer les performances d'un secteur particulier.

Elle permet une auto-régulation du marché : les arbitres peuvent facilement identifier des anomalies sur le marché et corriger le marché pour s'assurer que les prix sont précis.

¹⁰⁴. CASE : Cairo & Alexandria Stock Exchanges.

Principal indicateur : les cotes des sociétés représentées dans l'indice sont équivalents à la valeur actuelle des futurs cash flows. Si on pense que de futurs cash flows vont changer (augmenter ou diminuer), l'indice reflétera ces attentes.

Instrument de vente : les investisseurs internationaux peuvent comparer l'indice du pays à d'autres indices dans le monde. Un retour fort augmentera l'information du public et l'investissement étranger sur ce marché

2.3. La méthode communément utilisée pour le calcul de l'indice

La méthode la plus généralement utilisée est la méthode de capitalisation boursière, dans laquelle chaque action représentée contribue à l'indice proportionnellement à sa capitalisation boursière.

2.4. Les indices mondiaux

Parmi les indices mondiaux les plus communs et les mieux connus on trouve Standard & Poor's, Financial Times, Dow Jones, Morgan Stanley, etc.

Il faut noter que ces indices largement utilisés sont calculés par des entreprises privées anonymes, et non par la bourse des valeurs. Ces indices sont surveillés et suivis de près par les gestionnaires de portefeuilles et de fonds, par les analystes, et aussi par les investisseurs, parce qu'ils peuvent mesurer l'évolution de leur situation contrairement aux mesures généralement utilisées au sein du marché boursier. Il faut ajouter que les Bourses de valeurs, dans les marchés développés ou en développement, calculent aussi leurs propres indices. Certains des indices les plus célèbres des bourses de valeurs sont le NYSE, le DAX, le CAC, le Nikkei, le Hang Seng, l'ISE, le BOVESPA, le WIG, etc...

2.5. Les indices flottants libres

Le flottant libre est le capital en actions d'une compagnie, qui est librement disponible pour être négocié sur le marché. Les flottants libres limités posent souvent des problèmes de liquidité avec les investisseurs et les négociants qui trouvent insuffisantes les actions alors disponibles pour satisfaire leurs demandes. Dans des cas extrêmes, ceci peut entraîner des distorsions des prix. Beaucoup de gestionnaires de fonds, aussi bien que des utilisateurs d'indice, sont d'avis qu'inclure de telles compagnies avec leur capitalisation intégrale peut faire de l'indice un repère peu réaliste pour mesurer l'évolution des tendances. En conséquence, ces dernières années, les instituts bien connus qui fournissent les indices, tels que le FTSE, le Morgan Stanley et d'autres, se tournent vers des calculs qui ajustent les indices librement flottants.

Plus précisément, Morgan Stanley Capital International a commencé l'ajustement de l'indice flottant libre d'Egypte à la fois comme indice libre des marchés en voie de développement (EMF) et comme indice libre des marchés mondiaux (ACWIF) à partir de la date de 31 mai 2002. Ainsi, actuellement les bourses de valeurs, ou bien étudient la mise en service d'indices librement flottants afin d'attirer davantage d'investisseurs étrangers à leurs

marchés, ou bien ont déjà commencé à employer des indices libres, comme la bourse des valeurs de Johannesburg. Afin de rester au niveau des normes internationales, le CASE a entrepris une démarche exemplaire et innovante pour la région du Moyen-Orient et du Nord de l'Afrique, en étant la première bourse à changer sa méthode de calcul de l'indice et tenir compte du flottant libre dans son nouvel indice de CASE 30. Ainsi, le CASE 30 reflétera les occasions d'investissement possible pour les investisseurs mondiaux en tenant compte de toute restriction du marché pour la possession d'actions.

Ces restrictions peuvent prendre plusieurs formes : des compagnies particulières peuvent limiter les investisseurs au delà d'un pourcentage donné ; des industries particulières peuvent restreindre les investisseurs au delà d'un pourcentage donné, comme les avoirs de l'état ou les avoirs en actions de certains groupes.

2.6. Les indices en Egypte

Il y a un certain nombre d'indices qui servent de repères au marché égyptien. Pour les investisseurs locaux, les indices suivants sont habituellement considérés :

- L'indice d'autorité de marché financier (CMAI) : Introduit le 2 janvier 1992, l'indice inclut tous les titres et actions ayant du poids dans la capitalisation du marché. Il peut être considéré comme un indice All-Share (Tout-Actions) Tout-Part qui recouvre la plus grande partie des actions. (Mecagni et Sourial, 1999) ;
- L'indice 50 des bourses du Caire et d'Alexandrie (CASE50): Introduit le 2 janvier 2000, l'indice suit l'évolution des 50 actions les plus placées. Actuellement il y a deux versions de cet indice : l'indice des prix CASE50, qui mesure le retour sur investissement du change en valeurs des actions et l'indice total de retour CASE50, qui mesure le retour sur investissement à la fois du revenu provenant du dividende et des bénéfices provenant du capital. Les deux indices sont tributaires du marché de capitalisation et leurs constituants sont revus tous les six mois (CASEFB, 2001).

En outre, un certain nombre de compagnies calculent leurs propres indices et ceux incluent :

- Indice financier HERMES, (HFI) : introduit le 2 janvier 1993, l'indice s'attache à l'analyse d'un certain nombre de compagnies actives mises sur le marché depuis au moins trois mois. Cet indice est la capitalisation du marché

évaluée et mise à jour tous les trimestres. (Mecagni et Sourial, 1999). En juin 2001, l'indice incluait 48 compagnies ;

- Indice des 20 Sociétés égyptiennes les plus importantes de la Bourse des Valeurs du Caire et d'Alexandrie de Dow Jones.

2.6.1. Univers de l'indice

L'indice est défini à partir de l'ensemble de tous les titres mis sur le marché des bourses des valeurs du Caire et d'Alexandrie (CASE) et domiciliés en Egypte, à l'exclusion des valeurs qui sont restées hors marché pendant trente jours ou plus au cours des trois mois précédant le choix. Si une compagnie a plus d'une classe d'actions dans la détermination de l'indice, alors seule la classe la plus importante est choisie.

2.6.2. Liste de choix

La liste de choix comprend vingt compagnies détentrices de titres « composants », et trente compagnies détentrices des plus grands titres « non composants » après ajustement de leur flottant lors de la capitalisation boursière.

2.6.3. Choix courant

Toutes les compagnies sur la liste de choix sont rangées en tenant compte :

- Du revenu net flottant-ajusté ;
- De la capitalisation boursière Ventes/Revenu pour chaque compagnie.

Le rang final est calculé en affectant chacun des trois rangs suivants d'une pondération :

- Le rang flottant- ajusté de capitalisation boursière à 60% ;
- Le rang de ventes/revenus à 20% ;
- Le rang de bénéfice net à 20%.

Les vingt actions ayant le meilleur rang final sont choisies comme composants de l'indice.

2.6.4. Règles d'assouplissement

La liste des éléments est complètement achevée en observant les règles suivantes d'assouplissement :

- Si un non-composant est rangé parmi les dix actions ayant le meilleur rang

- final, alors il remplace le composant ayant le dernier rang dans l'indice ;
- Si un composant n'est pas rangé parmi les trente actions ayant le meilleur rang final, alors il est remplacé par le meilleur non- composant placé dans la liste.

2.6.5. Fréquence de révision

La composition de l'indice est révisée annuellement en juin. Les chiffres des flottants sont mis à jour deux fois par an et par conséquent le CASE également.

2.6.6. Pondération

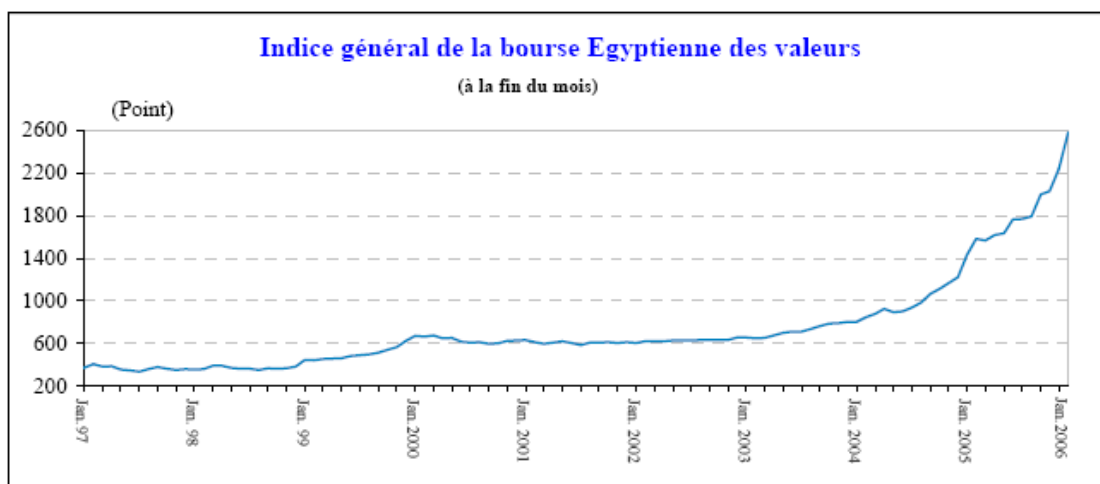
L'indice est pondéré par capitalisation boursière ajustée au flottant. Les coefficients des composants sont déterminés de sorte qu'un composant puisse atteindre un « poids » de 35%, et les autres composants des « poids » de 20%. Les coefficients sont revus chaque trimestre.

L'indice financier égyptien (EFGI). Il a été établi pour la première fois le 2 janvier 1993. L'indice suit de près les performances d'un sous-ensemble de groupes financiers intervenant dans le calcul de l'indice HERMES (HFI). L'indice est déterminé à partir d'une liste de Grands Capitaux dont les titres ont sur le marché une valeur supérieure à trois cents millions de livres égyptiennes. Les constituants de cette listes sont mis à jour chaque trimestre. (Mecagni et Sourial, 1999). En juin 2001, l'indice concernait vingt-trois compagnies. (CASEFB, 2001).

D'autres compagnies calculent également leurs propres indices « Prime » comprenant (Prime Initial Public Offerings-PIPO), (Prime Asset Management Index- PAMI), (Prime General Index-PGI).

A côté des indices locaux, en raison de l'intérêt porté à l'étranger pour les actions boursières égyptiennes, l'Egypte a été admise dans la Société de finance internationale pour le calcul des indices (IFCG et IFCI) en 1996. L'Egypte a été associée à l'indice Morgan Stanley sur une base particulière en 1997. Depuis mai 2001, l'Egypte fait partie des marchés libres émergents de Morgan Stanley (EMF), (EMEA, à l'exclusion de l'Afrique Du sud) et de l'indice mondial (All Country World Index ACWIF) respectivement dans les proportions de 0,28%, de 2,12% et de 0,14% (CASEFB, 2001).

Mais pour mieux comprendre la tendance générale de la bourse, nous préférons prendre l'indice général de la bourse Egyptienne CASE parce qu'il représente l'ensemble des mouvements du marché financier égyptien ; en outre c'est historiquement le plus ancien parmi tous ces indices. La figure suivante montre l'évolution de cet indice



urce site Web¹⁰⁵

Figure 36- L'indice général de la Bourse Egyptienne

So

3- Analyse de l'indice CASE 30

3.1. Présentation

L'indice des prix CASE 30 est conçu et calculé par le CASE qui a rendu publique ce nouvel indice le 2 février 2003 par l'intermédiaire des fournisseurs de données, de ses publications, du site Web, des journaux etc. La date de départ du calcul a été fixée au 1^{er} janvier 2000 et la valeur de base à 1000 points. L'indice des prix CASE 30 inclut les trente premières compagnies égyptiennes en termes de liquidité et d'activité.

CASE 30 est un indice des prix (des valeurs) c'est-à-dire qu'il mesure le retour sur l'investissement du change des valeurs sur le marché des actions (augmentation/diminution du capital) seulement. Une compagnie qui répond aux critères du CASE 30 mais ne fournit pas en temps voulu les chiffres de son flottant au Service de divulgation de l'indice serait exclue du CASE 30, selon le règlement établi. Par ailleurs le flottant de toute compagnie comptée dans l'indice doit être au moins de 15%. Ceci assure les participants du marché que les constituants de l'indice représentent les compagnies commerciales véritablement actives et donc que l'indice est un bon baromètre fiable du marché égyptien.

3.2. Création de l'indice CASE 30

Les bourses des valeurs du Caire et d'Alexandrie (CASE) ont arrêté "les indices des prix et indices de retour CASE 50 " le 31 janvier 2003. Les indices CASE 50 avaient été calculés au cours de la période 1/1/2000-31/01/2003.

Un Comité des Anciens du CASE fut nommé responsable de l'élaboration du CASE 30, ce Comité étant par la suite responsable de la surveillance du CASE 30 et des futurs indices éventuellement créés par CASE.

¹⁰⁵ . www.egyptse.com

L'indice des valeurs de CASE 30 inclut les 30 compagnies principales en termes de liquidité et activité.

L'indice des valeurs CASE 30 est pondéré par la capitalisation boursière ajustée par le flottant. La capitalisation boursière ajustée d'une compagnie figurant dans l'indice est le nombre de ses actions prises en compte multiplié par le prix de fermeture de cette compagnie encore multiplié par le pourcentage d'actions du flottant.

Une compagnie qui adapte les critères de CASE 30, mais ne fournit pas son floteur libre au département de révélation du CASE les dates priées, comme indiqué dans les règles de liste du CASE, sera exclu de l'indice de CASE 30.

Les points ci-dessus indiquent clairement que le CASE souligne l'importance du flottant comme critère principal pour l'introduction d'une compagnie dans le CASE 30, et pour le calcul de son « poids » dans l'indice.

Ce sont des règles strictes qui assureraient les participants du marché que les constituants d'indice représentent vraiment les compagnies activement commercées et que l'indice est un bon et honorable baromètre pour le marché égyptien.

3.3. Méthodologie CASE 30

La liquidité est le critère le plus important pour le choix des compagnies comptées dans le CASE 30, et non la rentabilité. Ainsi une compagnie réalisant des pertes peut être admise, surtout si les valeurs émises correspondent à un marché nouveau nécessitant une période plus longue pour réaliser des profits.

Cette partie est subjective et repose sur la sagesse du comité du CASE responsable de la détermination de l'indice. Toute décision prise par ce comité est communiquée à l'avance via Internet, les publications du CASE, etc... pour que ceux qui suivent l'indice soient au courant des changements et des ajustements qui ont eu lieu.

Le CASE 30, pour éviter la concentration sur une industrie, a une juste représentation des industries/secteurs différents de l'économie. Le CASE 30 est pondéré par la capitalisation ajustée du marché de chaque compagnie (actions comptées dans l'indice ajustées sur le flottant).

Les entreprises qui font faillite, ou fusionnent avec d'autres compagnies, ou sont acquises par d'autres compagnies sont exclues du CASE 30.

- Seules les actions intégralement payées sont comprises dans le CASE 30 ;
- Seules les actions libellées en Livres égyptiennes sont comprises dans le CASE 30 ;

- Seules les actions ordinaires sont comptées dans le CASE 30. Les actions privilégiées, les actions convertibles, les obligations et les fonds mutuels sont exclus ;
- L'indice CASE 30 n'inclut pas les holdings croisés.

Dans le cas où une société mère (holding) possède plusieurs filiales, ou la société mère (le holding) est incluse et ses filiales exclues, ou inversement. Ainsi, les holdings possédés par des familles ou des individus sont soigneusement reconsidérées avant l'inclusion dans l'indice.

Holdings croisés signifie qu'une compagnie détient une part importante d'une autre compagnie, ou bien contrôle une compagnie par l'intermédiaire d'une autre. S'agissant d'indices, ceci pourrait créer une forme de comptage double : si les deux compagnies étaient incluses dans le même indice, de cette façon la valeur du holding influencerait sur le cours des actions de l'autre. Ainsi, la pratique d'inclure les deux compagnies dans l'indice est évitée parce qu'elle pourrait fausser les poids des industries, créer des distorsions dans les rapports d'évaluation et exagérer la véritable importance du marché.

Par conséquent, un holding croisé possédant une part significative (s'élevant à 30% ou davantage) dans une autre compagnie est exclu du CASE 30.

Par exemple si la compagnie A possède 30% de la compagnie B et la compagnie A est déjà incluse dans l'indice, alors la compagnie B serait exclue de l'indice. Un autre exemple est celui d'une société mère possédant diverses filiales. Chaque fois que les filiales sont de meilleurs représentants des industries que la société mère, elles seront éventuellement incluses et la société mère sera exclue, pour éviter le double comptage. Choisir d'inclure la société mère ou ses filiales dépend de laquelle d'entre elles est la plus active et la plus solvable et c'est une décision qui incombe au Comité d'indice du CASE.

Le flottant de n'importe quelle compagnie incluse dans l'indice doit être au moins de 15% ou plus à considérer pour l'inclusion dans l'indice. Le flottant est l'ensemble des actions librement flottantes qui sont échangées et détenues par le public en général. L'avoir stratégique appartenant à un individu ou une entité, qu'il soit public ou privé est exclu.

Ainsi les actionnaires, sociétés privées ou publiques, banques, entités ou individus (investisseurs privés ou initiés en gestion), possédant plus de 5% d'une compagnie sont considérés comme propriétaires stratégiques et sont exclus du flottant. Les entités suivantes sont également exclues du flottant : les banques du secteur public, les compagnies d'assurance publiques, et tout autre établissement public, les holdings, et les associations de plan d'actionnariat des salariés (ESAs).

Egalement, les fondateurs de toute société cotée, indépendamment de la taille de leur avoir, sont exclus du flotteur libre pendant les deux premières années d'activité de leur compagnie, puisque selon la loi on ne leur permet pas alors de vendre leurs actions.

Enfin, la possession par les fonds communs de placement mutualistes du secteur public de moins de 5% d'une compagnie cotée, est considérée comme partie du flottant, puisque les fonds communs de placement mutualistes du secteur public (banques ou compagnies d'assurance) sont soit privés, soit contrôlés par des sociétés de gestion de fonds privées.

Parmi les indicateurs utilisés pour choisir les constituants de CASE 30, le principal est le suivant : le classement de toutes les compagnies de commerce pendant les six derniers mois selon les valeurs totales mises sur le marché ou leur chiffre d'affaires.

Les trente mieux placées sont les compagnies les plus actives.

Les compagnies disposant de liquidités ou les plus actives choisies comme il est dit ci-dessus d'après les valeurs échangées ont du commercer pendant au moins 50% des jours d'ouverture de la bourse durant les six mois. Par exemple si le nombre total de jours d'activités boursières pendant les six derniers mois est 120 (5 x 4 x 6), alors pour faire partie de l'indice, la compagnie doit avoir commercé pendant au moins 60 jours. Par conséquent, si une compagnie est parmi les plus actives en termes de valeurs échangées mais n'a pas effectué d'opérations pendant au moins soixante jours dans la période des six derniers mois elle sera exclue de l'indice.

En évitant les holdings croisés dans le choix des trente compagnies. Le CASE 30 est pondéré par la capitalisation boursière ajustée par le flottant.

Les constituants de CASE 30 sont revus et corrigés deux fois par an (fin janvier et fin juillet) par le Comité de CASE qui peut éventuellement ajouter ou supprimer des constituants sur la base des critères mentionnés ci-dessus.

CASE 30 a été calculé au départ sur la base du 1/1/1998 avec une valeur de 1000 points.

3.4. Calcul détaillé de l'indice CASE 30

Méthode de la pondération ajustée à la capitalisation boursière pour le calcul de l'indice des prix CASE 30.

La formule utilisée pour le calcul de CASE 30 est nette. La valeur de l'indice quotidien est calculée en divisant la valeur de toutes les compagnies constituant l'indice sur le marché ajusté (dernier prix de clôture X (multiplié par) nombre d'actions cotées X(multiplié par) pourcentage du flottant) par un diviseur. La valeur du marché ajustée est synonyme de la capitalisation boursière ajustée.

Valeur de l'indice = Valeur du marché ajustée de toutes les compagnies/diviseur.

3.4.1. Le diviseur

Le diviseur est un facteur qui amène la capitalisation boursière ajustée des compagnies constituant l'indice au niveau de l'indice. Il est obtenu à partir du point de départ de l'indice (date de référence) en divisant la capitalisation boursière ajustée par un nombre arbitraire, le Multiplicateur. Par exemple, si on voulait que le point de départ de l'indice soit 1, on diviserait la capitalisation boursière ajustée par lui-même. Pour le CASE 30, l'indice ayant été fixé à 1000 au début, on donnerait alors comme valeur au diviseur $1/1000$ de la capitalisation boursière ajustée.

3.4.2. Étapes du calcul du diviseur à la date de la base

Étape 1 : Calculer la capitalisation boursière ajustée des compagnies incluses dans l'indice à la date de départ t_0 . Elle est égale au montant du prix de clôture multiplié par les actions cotées des compagnies constitutives multipliées par le pourcentage du flottant libre à la date de départ.

Étape 2 : Admettons que la valeur initiale de l'indice soit 1000.

Étape 3 : Calculer le diviseur de l'indice à la date initiale t_0 comme suit :

Diviseur de l'indice à t_0 = Valeur du marché Ajustée à t_0 / valeur de l'indice à $t_0=1000$

Afin de calculer la valeur d'indice à n'importe quelle autre date t_n , calculer la capitalisation boursière ajustée des compagnies constitutives à la date indiquée t_n , puis appliquer la relation suivante :

Valeur de l'indice à t_n = Valeur du marché Ajustée à t_n / diviseur à t_0 .

3.4.3. Pondérations du Diviseur

Quand une compagnie est ajoutée ou supprimée de l'indice, sa capitalisation boursière ajustée est alors ajoutée ou supprimée, et la capitalisation boursière totale augmentera ou diminuera en conséquence : cela affectera le niveau de l'indice. Puisque les indices doivent seulement refléter les forces du marché qui ont changé la valeur de la compagnie, le diviseur de l'indice sera calculé de façon à maintenir l'indice constant. Ces ajustements sont faits en début de journée avant que les échanges commerciaux ne commencent, comme il sera exposé brièvement plus loin.

3.4.3.1. Ajustements de capitalisation boursière

La capitalisation boursière d'une compagnie peut changer de deux manières :

- par l'entraînement du marché faisant monter ou baisser le prix des actions.

Quand ceci se produit, l'indice étant conçu pour refléter ces forces du marché,

aucun ajustement du diviseur n'est nécessaire ;

- par des opérations de la compagnie lorsqu'elle émet de nouvelles actions ou droits de titres, ce qui affecte sa valeur sur le marché.

Quand de telles opérations se produisent affectant la capitalisation boursière du marché, cela n'influe pas sur la valeur de l'indice. Celles qui affectent la capitalisation boursière de l'indice demandent une correction par un ajustement du diviseur afin d'empêcher le changement de valeur de l'indice dû à un tel événement. En ajustant le diviseur, la valeur de l'indice doit rester inchangée avant et après l'événement

Voici les étapes suivies pour calculer l'indice quand un ajustement du diviseur est jugé nécessaire :

3.4.3.2. Calcul du nouveau diviseur

Le nouveau diviseur = le diviseur précédent X (capitalisation ajustée du marché)/(capitalisation ajustée du marché précédent). Le nouveau diviseur est simplement le coefficient qui maintient l'indice au niveau qu'il avait avant le changement de la capitalisation ajustée du marché précédent c'est-à-dire le nouveau diviseur peut être calculé aussi comme suit :

Diviseur = capitalisation ajustée du marché / Niveau d'indice précédent

3.4.3.3. Calcul de la capitalisation boursière ajustée

Elle est égale au prix de clôture multiplié par le nombre d'actions de chacune des actions cotées multiplié par le pourcentage du flottant libre.

3.4.3.4. Calcul de la valeur de l'indice

On divise la capitalisation boursière ajustée par le diviseur.

4- Le cadre de normalisation

Le marché boursier égyptien est soumis à un règlement satisfaisant car un certain nombre de dispositions législatives réglementent de façon courante l'établissement et les opérations des compagnies sur le marché.

Les lois qui régissent les opérations du Marché Egyptien des Valeurs sont les suivantes :

4.1. La loi du Marché des Capitaux (loi 95/1992)

Elle remplace la loi 161/1957 et est entrée en vigueur en 1992. Cette loi a fourni le cadre principal de normalisation pour les activités du marché des valeurs en définissant les marchés primaires et secondaires, l'organisation des participants du marché, les compagnies

cotées et les courtiers en bourse habilités, la mise à la disposition d'un mécanisme moderne pour négocier et investir grâce au marché, les exemptions et les incitations pour propulser le marché et pour assurer son emprise. Un des avantages principaux de la loi était l'identification du rôle central de l'Autorité du Marché des Capitaux (CMA) et des pouvoirs que fournit la loi pour organiser et contrôler le marché. Après l'établissement de la loi, l'Autorité du Marché des Capitaux a joué un rôle important en modernisant le marché par l'autorisation des Sociétés cotées et des entreprises de courtage, en surveillant et orientant les opérations d'échange vers plus de transparence et d'honnêteté dans les négociations.

4.2. La loi du dépôt central (loi 93/2000)

Cette loi vise à fournir le cadre juridique pour le DEPOT CENTRAL en Egypte. La loi précise les droits des actionnaires et leur propriété légale par des textes réglant le passage du vendeur à l'acheteur des valeurs quand la transaction est effectivement terminée et enregistrée à la bourse des valeurs à la date du règlement. La loi reconnaît également les droits de propriété d'origine étrangère identiques à ceux des actionnaires égyptiens, et fournit une procédure pour l'adhésion et la gestion des organismes chargés des activités de comptabilité pour eux-mêmes ou au nom de leurs clients.

La loi a également introduit la reconnaissance légale du concept d' "Activité boursière de personne désignée" et de l'obligation du dépositaire pour créer et contrôler un "Fond de Garantie" qui assurent le règlement à temps des opérations commerciales pour mener sans heurt à son terme la gestion du marché.

4.3. La loi des sociétés (loi 159/1981)

Cette loi fournit le cadre pour l'établissement et l'activité des Sociétés dans la République arabe de l'Egypte. La loi couvre les procédures principales d'établissement, les responsabilités de gestion et de commande, le domaine de la responsabilité des propriétaires, la comptabilité exigée, les procédures financières et tous les autres aspects qu'une compagnie peut rencontrer au cours de ses affaires.

4.4. La loi de privatisation (loi 203/1991)

Cette loi est la législation de base pour le développement du programme de privatisation et l'encouragement de la réforme économique. Le but principal de la loi était de transférer les pouvoirs des Sociétés propriétés de l'Etat, à des compagnies holdings autonomes dans le cadre desquelles les sociétés du secteur public pouvaient avoir une plus grande flexibilité d'action dans le domaine de l'économie indépendamment du contrôle du gouvernement central. (Selon l'exposé des motifs attaché à la loi par le Premier Ministre) la loi est à prendre comme phase transitoire vers une restructuration des sociétés de secteur public afin qu'elles deviennent des candidats intéressants à la privatisation.

Cette loi régleme les sociétés dans lesquelles l'état possède 51% ou plus d'actions. Quand la part du gouvernement dans les actions de la société tombe à moins de 51%, le règlement de cette compagnie est alors régi par la loi 159 et non plus par la loi 203.

4.5. La loi d'investissement (loi du 8/1997)

Cette loi a été promulguée pour encourager l'investissement direct et indirect dans certaines industries et des secteurs de l'économie. La loi prévoit des exonérations d'impôt, des garanties contre l'expropriation de capitaux, des tarifs douaniers attractifs et une absence de contrôle des prix.

En plus de la législation exposée ci-dessus, les bourses du Caire et d'Alexandrie (CASE), en liaison avec l'Autorité du Marché Financier, ont fixé un certain nombre de Règles de Cotation pour les compagnies désirant être cotées en bourse et participer au commerce boursier. L'annexe A détaille les règles de cotation déjà existantes ainsi que les nouvelles règles proposées qui doivent entrer en vigueur après 2002, pour davantage de transparence, d'efficacité dans la diffusion de l'information et la gestion commune des sociétés cotées.

5- La Bourse des valeurs de l’Egypte

La bourse d’Egypte a deux sites : le site principal se trouve au Caire et le deuxième à Alexandrie. Les deux marchés d’échanges sont contrôlés par un seul Président et un seul Conseil d'Administration : on les désigne habituellement sous le nom de Bourses du Caire et d'Alexandrie. Le Président est nommé par le gouvernement. Le Conseil d'Administration est composé de directeurs élus parmi les participants du marché boursier ainsi que des représentants nommés issus de l'Autorité du marché financier (CMA), de la Banque Centrale d'Egypte (CBE) et du Secteur Bancaire. Il faut y ajouter trois membres non-électeurs.

| Indicateurs | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 |
|-------------|------|------|------|------|------|
|-------------|------|------|------|------|------|

Le système de ventes et achats en bourse a évolué du système ouvert de criée jusqu’en 1992 vers un système entièrement automatisé de transmission des ordres. Le système actuel regroupe commerce, compensation et décisions concernant le commerce grâce à une liaison automatisée avec le Dépôt Central. Il fournit également un mécanisme automatique de surveillance du marché pour une meilleure exécution de celui-ci (CASEFB, 2001).

Le commerce est régi par la Loi du Marché financier (loi 95/1992) et établit, en coopération avec l'Autorité du Marché Financier (CMA), les règles de cotation des sociétés. Actuellement, des compagnies peuvent être cotées soit sur la liste officielle soit sur les listes officieuses (1) et (2). Bien que les conditions d’inscription sur la Liste officielle et sur la Liste officieuse (1) soient proches, les premières conditions sont plus rigoureuses. Pour être inscrites sur la Liste officielle, les compagnies doivent avoir au moins cent cinquante actionnaires et offrir plus de 30% de leurs actions au public, ou faire partie des compagnies régies par la loi 203.

Ainsi des compagnies non qualifiées pour la Liste officielle peuvent-elles être classées sur la Liste officieuse (1). La Liste officieuse (2) a été introduite en février 1998 pour s’occuper de nouvelles compagnies, qui à leur début ne peuvent pas répondre aux exigences plus rigoureuses de la Liste officielle et de la Liste officieuse (1).

Le tableau suivant met en évidence les indicateurs principaux du marché boursier Egyptien de 2002 à juillet 2006.

Le rapport chiffre d'affaire / valeurs incluant les titres boursiers et la capitalisation boursière de fonds communs de placement mutualistes est annuellement calculé.

| | | | | | du Janvier à Juillet |
|--|---------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Volume de titres inscrits | 707.2 | 1,201.6 | 1,786.3 | 4,198.9 | 3,952.0 |
| Volume de titres non inscrits | 196.9 | 220.7 | 648.4 | 1,111.6 | 679.4 |
| Volume total (million) | 904.1 | 1,422.3 | 2,434.7 | 5,310.4 | 4,631.4 |
| Valeur de titres inscrits | 25,799 | 23,000 | 36,141.7 | 150,924.0 | 165,235.3 |
| Valeur de titres non inscrits | 8,377 | 4,764 | 6,232.6 | 9,710.7 | 8,633.1 |
| Valeur totale (million) | 34,176 | 27,764 | 42,374.3 | 160,634.7 | 173,868.4 |
| Moyenne la valeur mensuelle de titres inscrits | 2,150 | 1,917 | 3,011.8 | 12,577.0 | 23,605.0 |
| Moyenne la valeur mensuelle de titres non inscrits | 698 | 397 | 519.4 | 809.2 | 1,233.3 |
| Total (million) | 2,848 | 2,314 | 3,531.2 | 13,386.2 | 24,838.3 |
| Nombre de transactions (titres inscrits) | 739,649 | 1,205,775 | 1,675,277 | 3,922,301 | 3,778,526 |
| Nombre de transactions (titres non inscrits) | 94,055 | 23,602 | 68,287 | 217,791 | 117,821 |
| nombre de transactions Total | 833,704 | 1,229,377 | 1,743,564 | 4,210,092 | 3,896,347 |
| Nombre de société cotée | 1,151 | 978 | 795 | 744 | 649 |
| Nombre de société non cotée | 671 | 540 | 503 | 441 | 349 |
| Moyenne de sociétés commercialisées mensuellement | 237 | 206 | 200 | 186 | 183 |
| capitalisation boursière à la fin de l'année (billion) | 122.04 | 171.92 | 233.89 | 456.3 | 426.6 |
| Ratio de la rotation (%) | 21.14 | 13.38 | 15.45 | 31.1 | N/A |

Figure 37- Tableau des indicateurs principaux du marché Egyptien
Source le site Web de la bourse Egyptienne ¹⁰⁶

De plus, nous pouvons donner quelques exemples de l'évolution de l'indicateur du marché primaire et secondaire pour les deux dernières années.

¹⁰⁶. www.egyptse.com/index.asp?CurPage=main_market_indicators.asp

Marché primaire

| Élément | Jan. 2005 | Jan. 2006 | Change de l'année précédente(%) |
|--|--------------|--------------|---------------------------------------|
| Valeur totale de la souscription en actions (Milliards LE) | 1.4 | 2.5 | 78.6 |
| % des actions souscrits pour la fondation de nouvelles sociétés par rapport à la valeur totale | 44.9 | 20.6 | -24.3 |
| % des actions souscrits pour l'accroissement de capital des sociétés existantes par rapport à la valeur totale | 55.1 | 79.4 | 24.3 |

Source : Centre d'Information et d'Aide à la Décision en Egypte¹⁰⁷.

Marché secondaire

| Élément | Unité | Déc. 2005 | Jan. 2006 | Change du mois précédent |
|---|-------------|--------------|--------------|--------------------------------|
| Indice de la bourse des valeurs | Points | 2238.93 | 2581.30 | 342.37 |
| Valeurs négociées (registrées et non registrées) | Millions LE | 28168 | 34387 | 22.1% |
| | Millions \$ | 41.6 | 258.6 | 521.5% |
| Indice des sociétés de l'industrie manufacturière | Points | 2344.30 | 2619.06 | 274.76 |

Source : Centre d'Information et d'Aide à la Décision en Egypte.

¹⁰⁷ . www.idsc.gov.eg

6- Efficience du marché Egyptien

La méthode adoptée pour tester l'efficience du marché des changes égyptien est « Event studies-études des événements » suggérée par FAMA, FISHER, JENSEN et ROLL (1969). Dans cette approche, on examine les retours de stocks dans la période voisine de la date où est annoncée une information nouvelle sur les performances (ou les perspectives) d'une société. La vitesse de la réponse des retours de provisions à la nouvelle information publiquement disponible indique le degré d'efficience.

Ainsi, si les retours de valeurs s'ajustent immédiatement sur la nouvelle information, ce sera l'indication d'un marché global "semi-fort, efficient". Si, au contraire, les retours de valeurs sont lents, permettant alors à l'investisseur inexpérimenté de réaliser des rendements exceptionnels en observant simplement le comportement des prix sans aucune analyse fondamentale supplémentaire, ce sera l'indication d'un marché « semi faible, inefficent ». Les essais ont été effectués en utilisant la droite de régression par la méthode des moindres carrés (OLS) pour définir les retours normaux à prévoir et, par conséquent repérer toute déviation des retours réels par rapport aux retours prévus, due à des retours exceptionnels inattendus.

Depuis quelques années plusieurs chercheurs Egyptiens¹⁰⁸ utilisent d'autres méthodes statistiques (les tests d'auto-corrélation, les tests des changements de signe, etc.) à différentes périodes.

Selon eux, on peut tirer la conclusion suivante : le marché boursier égyptien a montré clairement au départ qu'il se classait parmi les marchés inefficients. Cet inconvénient a aidé les investisseurs inexpérimentés à réaliser assez facilement des rendements exceptionnels en observant simplement le comportement des prix des valeurs sans aucune analyse.

Les résultats de ces calculs d'étude de la bourse égyptienne ont permis d'estimer si les gestionnaires de fonds égyptiens réussiraient leurs placements et en tireraient bénéfice, en profitant d'occasions exploitables par eux mais négligées par d'autres acteurs du marché. Pour cela, d'abord des « études d'événements » ont été utilisés pour examiner le comportement autour de la date fixée des retours répondant à certaines actions corporatives comprenant des distributions et des acquisitions de dividende dans la période 2000/2001. Puis, des mesures de performances (par CAPM) ont été utilisées afin d'évaluer l'exécution d'un échantillon de fonds communs de placement mutualistes sur le marché égyptien pendant la période allant du début 1998 jusqu'à la fin 2001.

Mais il faut émettre quelques réserves en ce qui concerne ces études, pour les raisons suivantes :

- L'importance dans les bilans du marché égyptien de la concentration de l'activité commerciale entre un nombre relativement petit de valeurs

¹⁰⁸ . EBEID S T., Le degré de l'efficience du marché boursier et la possibilité de développement " Etude pratique sur la Bourse Egyptienne", *Revue de la comptabilité, la gestion, et l'assurance*, Université Aïn-Shamis, Faculté de commerce, Vol 38, 1989, pp 171; 211.

activement commercialisées. (Par exemple en juin 2001 les 30 titres le plus activement négociés ont représenté 82.26% de la valeur totale des échanges) ;

- Une autre difficulté réside dans le fait que plusieurs des sociétés actives ont été récemment cotées en bourse ou n'ont eu aucune action corporative pendant la période d'étude fixée. Ces deux facteurs ont pour effet de limiter le nombre de valeurs analysées ;
- Il s'avère difficile de recueillir les données historiques relatives aux valeurs quotidiennes de l'indice et aux prix des valeurs mobilières puisque la majeure partie de la cotation quotidienne part du 1er janvier 2000. Pour la période précédant cette date, les cotations étaient hebdomadaires. En conséquence, le β -calcul pour les valeurs analysées a été effectué sur un échantillon relativement court de données hebdomadaires étalé sur la période allant du 2 janvier 1998 au 24 décembre 1999.

De plus, il faut tenir compte d'une fuite possible de l'information avant la date de notification des diverses actions commerciales, et par des règlements se donner les moyens de lutter contre le délit d'initié de façon efficace ; il semblerait que la limitation quotidienne des prix imposée par la bourse des valeurs a eu un effet significatif sur la vitesse de l'ajustement des prix des valeurs mobilières à leurs nouvelles valeurs exactes et, par conséquent, et a raréfié les occasions où les investisseurs mal informés tiraient des profits en observant simplement le comportement des prix sans effort d'analyse sérieuse ; cette limitation devrait donc avoir pour effet de réduire la spéculation non informée du marché, qui a eu lieu plusieurs fois dans le passé à la suite d'un gonflement des prix sans appui rationnel.

D'autres résultats ont également donné des indications sur l'effet induit par le taux d'intérêt librement risqué élevé sur l'exécution des investisseurs institutionnels ; bien que beaucoup de fonds communs de placement mutualistes aient pu rapporter davantage que le repère ne le prévoyait, le taux d'intérêt librement risqué élevé rend difficile ce fait pour tout fonds dépassant le repère prend un risque. Par conséquent, si les investisseurs professionnels doivent continuer à attirer des investissements et des fonds, il semblerait nécessaire de réévaluer le niveau du taux d'intérêt librement risqué élevé, pour une réduction possible. Cette mesure a aussi d'autres avantages pour l'économie dans son ensemble, mais ceci ne concerne pas notre étude.

Chapitre 8

PERTINENCE DES APPLICATIONS PRATIQUES

Après avoir présenté les généralités concernant la phase théorique de cette étude, nous allons exposer l'application pratique de deux différentes méthodes. Dans ce chapitre nous présentons d'abord en bref notre échantillon, puis nous appliquerons le test de l'auto-corrélation afin de vérifier l'efficience du marché boursier Egyptien (hypothèse H3), ensuite nous appliquerons les deux méthodes (ARIMA vs Réseaux neurones artificiel), enfin nous conclurons par l'évaluation comparée des deux méthodes.

1- Présentation des données de l'échantillon

La méthodologie proposée dans cette recherche est testée sur l'indice du marché Egyptien. La période couverte va du 1^{er} janvier 1992 au 5 mai 2005, soit 3 311 observations journalières de prix des actions de l'indice général du marché boursier de l'Egypte CASE.

Par ailleurs, les bases de données pour notre échantillon sont collectées auprès de plusieurs directions en Egypte, comme l'indique le tableau suivant :

| La direction | Les données collectées |
|---|--|
| Centre des informations-l'autorité générale du marché financier Egyptien (CMA). | L'indice du marché CASE + les rapports annuels concernant le marché (les circulants des actions, bilans des sociétés les plus performantes et plus actives dans le marché) |
| Centre des informations de la Bourse Egyptienne. | les prix des actions (ouverture et clôture) quotidiennes concernant la période de l'échantillon. |
| La bibliothèque de l'autorité générale du marché Financier Egyptien (CMA) | Des rapports et des études annuels, Mensuels, et quotidiens. |
| La bibliothèque de la Banque Centrale de | Des rapports et des études annuels, |

| | |
|--------------|--------------------------|
| l'Egypte CBE | Mensuels, et quotidiens. |
|--------------|--------------------------|

Les données utilisées (l'échantillon) sont présentées à la figure 39. Le choix de l'indice CASE est motivé essentiellement par deux considérations : d'une part, l'indice Egyptien n'a pas fait jusqu'à présent l'objet de nombreuses études soit en arabe soit en d'autres langues, d'autre part, le marché boursier Egyptien a un niveau d'efficience moins haut (forme efficience faible) que celui des marchés boursiers les plus importants de notre planète et ainsi il offre davantage l'opportunité d'utiliser des approches qui relèvent de l'analyse technique.

De plus, l'indice du marché CASE d'Egypte est un bon exemple à suivre pour le futur indice de Syrie, qui crée actuellement sa Bourse dans un grand projet de marché financier (actions, obligations) après avoir promulgué de nouvelles lois pertinentes.

Figure 40- L'évolution de l'indice du marché boursier Egyptien



2- Le test de l'efficace du marché boursier Egyptien

L'efficace informationnelle des marchés stipule que le prix des actifs doit à tout moment refléter instantanément l'ensemble des informations disponibles. La forme dite faible de ce concept réduit l'ensemble informationnel à l'historique des cours et suppose qu'il n'existe pas de lien entre le cours présent d'un titre et les cours passés.

Si de plus, on suppose que les variations de prix sont des variables aléatoires identiquement distribuées et disposant d'une variance, le théorème central limite permet d'aboutir au modèle de "marche au hasard" gaussien, caractérisé par une distribution normale des rendements.

Le test d'auto-corrélation est le test statistique le plus simple qui permette de mettre en évidence une éventuelle dépendance entre les variances des actions pour une période donnée ; nous avons besoin de créer d'autre séries chronologiques (série chronologique des différenciés d'ordre 1) puis nous pouvons appliquer ce test en utilisant le logiciel Statgraphics Centurion XV.

Les résultats¹⁰⁹

Trois essais ont été exécutés pour déterminer si le différencié dépend de façon aléatoire des nombres. Une série chronologique de nombres aléatoires est généralement appelée « le bruit blanc », car elle est constituée de nombreux termes de fréquences différentes. Le premier essai compte le nombre de fois où l'ordre se trouve au-dessus ou au-dessous de la médiane.

Le nombre ainsi obtenu est égal à 1300, par rapport à une valeur prévue de 1644,99 si l'ordre était aléatoire. Puisque la P-valeur pour cet essai est moins de 0,05, nous pouvons rejeter l'hypothèse que la série est aléatoire avec un degré de confiance de 95,0%. Le deuxième essai compte le nombre de fois où il y a progression ou régression.

Le nombre calculé est égal à 2013, par rapport à une valeur prévue de 2205,67 si l'ordre était aléatoire. Puisque la P-valeur pour cet essai est moins de 0,05, nous pouvons rejeter l'hypothèse que la série est aléatoire avec un degré de confiance de 95,0%.

Le troisième essai est fondé sur la somme des 24 premiers coefficients d'auto-corrélation. Puisque la P-valeur pour cet essai est moins de 0,05, nous pouvons rejeter l'hypothèse que la série est aléatoire toujours avec une confiance de 95,0%. Puisque les trois essais à partir de calculs différents répondent de la même manière au comportement aléatoire, cela suggère que tout autre essai indiquera aussi que la série chronologique n'est pas complètement aléatoire.

Donc, le marché boursier Egyptien est clairement classé dans la catégorie de **marché inefficent (forme efficence faible)**.

3- Application de la méthode ARIMA

Nous avons utilisé le logiciel **Statgraphics Version Centurion XV**¹¹⁰ avec l'option «Prévision automatique» du menu «Analyse de séries temporelles» : le logiciel sélectionne automatiquement le meilleur modèle pour la série chronologique à prévoir.

¹⁰⁹ . Voir les tableaux dans l'annexe.

Les résultats :

Prévision automatique - indice

Variable des données : indice

Nombre d'observations = 3300

Indice de départ = 1,0

Intervalle d'échantillonnage = 1,0

Résumé de la prévision

Différenciation non saisonnière d'ordre : 1

Modèle sélectionné pour les prévisions : ARIMA(1,1,0) avec constante

Nombre de prévisions générées : 11

Nombre de périodes utilisées pour la validation: 1650

| Statistique | Période d'estimation | Période de validation |
|-------------|-------------------------|--------------------------|
| RMSE | 1,76411 | 6,12609 |
| MAE | 0,899845 | 3,22531 |
| MAPE | 0,377498 | 0,412565 |
| ME | -0,00287117 | 0,374017 |
| MPE | -0,00841505 | 0,0407083 |

3.1. Prévision automatique de l'indice du marché Egyptien

Variable des données : Indice de marché

Nombre d'observations = 3300

Indice de départ = 1,0

Intervalle d'échantillonnage = 1,0

Résumé de la prévision

Différenciation non-saisonnière d'ordre : 1

Modèle sélectionné pour les prévisions : ARIMA (1,1,0) avec constante

Nombre de prévisions générées : 11

Nombre de périodes utilisées pour la validation : 1650

Résumé pour la méthode ARIMA

| Paramètre | Estimation | Erreur-type | t | Proba. |
|-----------|------------|-------------|---------|----------|
| AR(1) | 0,37795 | 0,0228051 | 16,5731 | 0,000000 |
| Moyenne | 0,157879 | 0,0684515 | 2,30643 | 0,021086 |

¹¹⁰ . Logiciel démo a été téléchargé par le site Web:www.sigmaplus.fr

| | | | | |
|-----------|-----------|--|--|--|
| Constante | 0,0982084 | | | |
|-----------|-----------|--|--|--|

Prévision arrière : oui

Variance estimée du bruit blanc = 3,11209 avec 3297 degrés de liberté

Ecart-type estimé du bruit blanc = 1,76411

Nombre d'itérations : 3

Synthèse

Cette procédure calcule des prévisions pour l'Indice du marché Egyptien. Les données couvrent 3300 périodes (observations). Un modèle de type auto-régressif à moyenne mobile (ARIMA) a été choisi ; cela suppose que la meilleure prévision pour de nouvelles valeurs est fournie par un modèle paramétrique reliant la plus récente des données aux données et résidus précédents.

Ce rapport résume la signification statistique des termes du modèle de prévision. Les termes dont la probabilité est inférieure à 0,05 sont, en statistique, significativement différents de zéro avec un degré de confiance de 95. La valeur de la probabilité pour le terme AR(1) est inférieure à 0,05, la valeur de la probabilité pour le terme constant est inférieure à 0,05, donc ils sont significativement différents de 0. L'écart-type estimé du bruit blanc est égal à 1,76411.

Le tableau résume également les résultats du modèle actuellement sélectionné dans l'ajustement des données précédentes. Il affiche :

- (1) la racine carrée de l'erreur résiduelle (RMSE)
- (2) l'erreur absolue moyenne (MAE)
- (3) le pourcentage moyen d'erreur absolue (MAPE)
- (4) l'erreur moyenne (ME)
- (5) le pourcentage moyen d'erreur (MPE)

Chacune des statistiques est basée sur les erreurs des prévisions à court-terme, qui sont les différences entre les données au temps t et les prévisions de ces données faites au temps $t-1$. Les trois premières statistiques mesurent l'importance des erreurs. Le meilleur

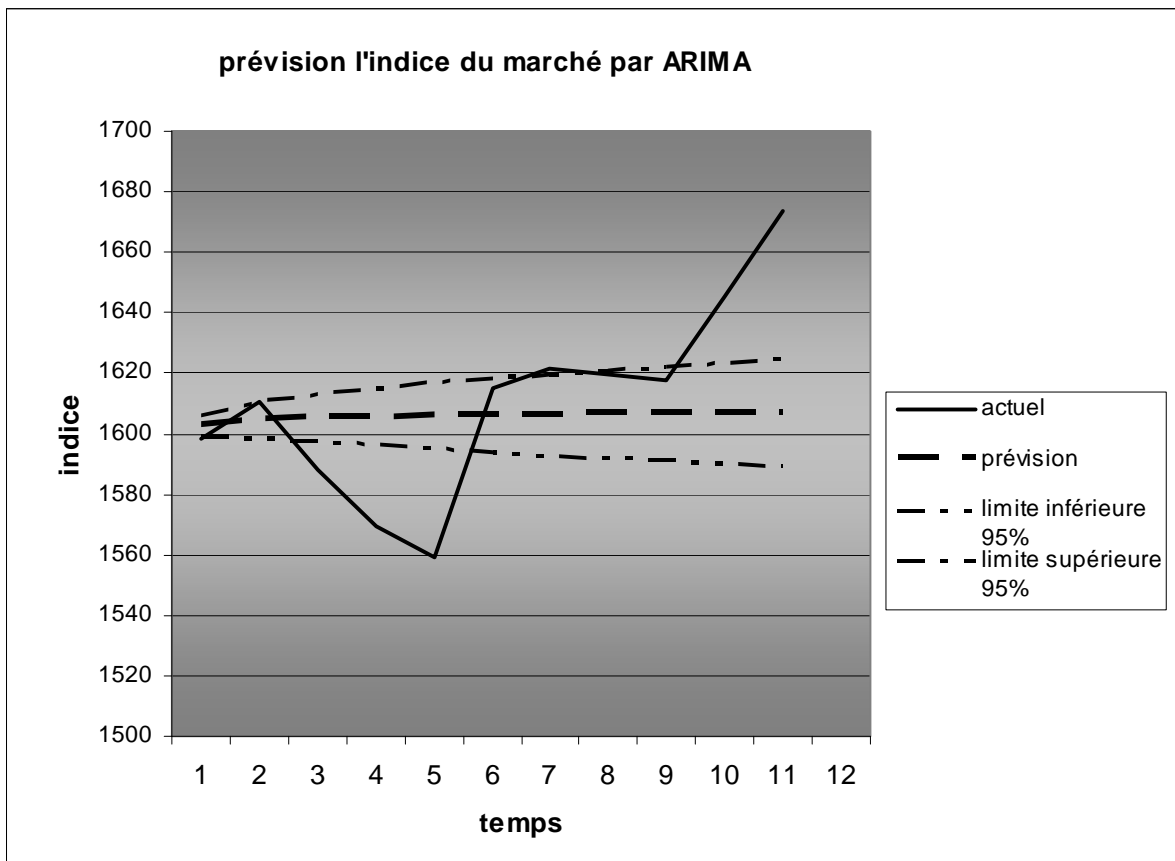
modèle donne la valeur la plus faible. Les deux dernières statistiques mesurent l'écart. Le meilleur modèle donne une valeur proche de 0.

Dans ce cas, le modèle a été estimé à partir des 1650 premières données. Les 1650 données à la fin de la série temporelle ont été retirées du modèle pour être utilisées pour valider le modèle. Le tableau affiche les statistiques des erreurs pour les périodes d'estimation et de validation. Si les résultats sont considérablement plus mauvais pour la période de validation, cela indique que le modèle n'est pas un bon modèle pour faire des prévisions.

3.2. Tableau des prévisions pour l'indice de marché Egyptien

Modèle : ARIMA(1,1,0) avec constante
 V = utilisé pour la validation

| | | Limite inférieure à 95,0% | Limite supérieure à 95,0% |
|---------|-----------|---------------------------|---------------------------|
| Période | Prévision | inférieure | supérieure |
| 3301,0 | 1602,72 | 1599,27 | 1606,18 |
| 3302,0 | 1604,57 | 1598,68 | 1610,45 |
| 3303,0 | 1605,36 | 1597,47 | 1613,25 |
| 3304,0 | 1605,76 | 1596,17 | 1615,35 |
| 3305,0 | 1606,01 | 1594,95 | 1617,07 |
| 3306,0 | 1606,2 | 1593,83 | 1618,57 |
| 3307,0 | 1606,37 | 1592,81 | 1619,93 |
| 3308,0 | 1606,53 | 1591,88 | 1621,19 |
| 3309,0 | 1606,69 | 1591,02 | 1622,37 |
| 3310,0 | 1606,85 | 1590,22 | 1623,48 |
| 3311,0 | 1607,01 | 1589,48 | 1624,55 |



Synthèse

Ce tableau affiche les valeurs prévues de l'Indice du marché. Pour les périodes pour lesquelles on dispose de données, il affiche également les valeurs prévues par le modèle ajusté et les résidus (données-prévisions). Pour les périodes au-delà de la fin de la série, il affiche les limites des prévisions à 95,0% pour les valeurs prévues. Ces limites montrent où se trouve la vraie valeur pour une période donnée avec un niveau de confiance de 95,0%, en supposant que le modèle ajusté est approprié pour les données.

Nous pouvons visualiser les prévisions en sélectionnant « Graphique des prévisions » dans la liste des options pour les graphiques. Aussi nous pouvons modifier le niveau de confiance à partir du graphique en cliquant sur le bouton droit de la souris et en sélectionnant

les options pour la fenêtre. Pour tester si le modèle ajuste convenablement les données, sélectionner « Comparaison des modèles » dans la liste des options pour les tableaux.

Comparaison des modèles

Variable des données : Indice de marché

Nombre d'observations = 3300

Indice de départ = 1,0

Intervalle d'échantillonnage = 1,0

Nombre de périodes utilisées pour la validation : 1650.

Modèles

(A) Cheminement aléatoire avec dérive = 0,153918

(B) Moyenne constante = 220,613

(C) Tendence linéaire = 66,0895 + 0,187188 t

(H) Lissage exponentiel simple avec alpha = 0,9999

(I) Lissage exponentiel linéaire de Brown avec alpha = 0,7268

(J) Lissage exponentiel linéaire de Holt avec alpha = 0,9999 et bêta = 0,016

(M) ARIMA(1,1,0) avec constante

(N) ARIMA(1,1,0)

(O) ARIMA(2,1,0) avec constante

(P) ARIMA(1,1,1) avec constante

(Q) ARIMA(1,2,1)

Période d'estimation

| Modèle | RMSE | MAE | MAPE | ME | MPE | AIC |
|--------|---------|----------|----------|--------------|-------------|---------|
| (A) | 1,90549 | 0,986775 | 0,396978 | -2,55089E-15 | -0,0112752 | 1,28948 |
| (B) | 95,3608 | 78,0358 | 43,4984 | 4,50854E-13 | -21,3696 | 9,11533 |
| (C) | 33,8356 | 26,0602 | 12,4971 | 4,77726E-13 | -1,09043 | 7,04424 |
| (H) | 1,91119 | 0,973509 | 0,389054 | 0,15384 | 0,073323 | 1,29545 |
| (I) | 1,94833 | 0,978797 | 0,406302 | -0,00110186 | 0,000500572 | 1,33395 |
| (J) | 1,89066 | 0,962955 | 0,384728 | -0,0104789 | 0,00394426 | 1,27506 |
| (M) | 1,76411 | 0,899845 | 0,377498 | -0,00287117 | -0,00841505 | 1,13772 |
| (N) | 1,76612 | 0,896146 | 0,374678 | 0,0947589 | 0,045325 | 1,13878 |
| (O) | 1,76418 | 0,899 | 0,376387 | -0,00244876 | -0,00798315 | 1,139 |
| (P) | 1,76422 | 0,898693 | 0,376394 | 0,0000439801 | -0,00665591 | 1,13906 |
| (Q) | 1,76591 | 0,895132 | 0,373342 | -0,00639264 | 0,00253569 | 1,13976 |
| | | | | | | |

| Modèle | RMSE | SEQ | SEQM | AUTO | MOY | VAR |
|--------|---------|-----|------|------|-----|-----|
| (A) | 1,90549 | *** | *** | *** | OK | *** |
| (B) | 95,3608 | *** | *** | *** | *** | *** |
| (C) | 33,8356 | *** | *** | *** | *** | *** |
| (H) | 1,91119 | *** | *** | *** | OK | *** |
| (I) | 1,94833 | *** | OK | *** | OK | *** |
| (J) | 1,89066 | *** | *** | *** | OK | *** |
| (M) | 1,76411 | * | OK | *** | OK | *** |
| (N) | 1,76612 | * | * | *** | OK | *** |
| (O) | 1,76418 | OK | OK | *** | OK | *** |
| (P) | 1,76422 | * | OK | *** | OK | *** |
| (Q) | 1,76591 | * | OK | ** | OK | *** |

Période de validation

| Modèle | RMSE | MAE | MAPE | ME | MPE |
|--------|---------|---------|----------|------------|------------|
| (A) | 6,00858 | 3,23351 | 0,418506 | 0,600204 | 0,0650819 |
| (B) | 530,203 | 471,97 | 65,0476 | 471,97 | 65,0476 |
| (C) | 240,455 | 165,173 | 20,2702 | 163,111 | 19,7051 |
| (H) | 6,02598 | 3,25064 | 0,421056 | 0,754196 | 0,0894763 |
| (I) | 6,5491 | 3,45665 | 0,446543 | 0,00250631 | 0,00146714 |
| (J) | 5,92099 | 3,18295 | 0,414567 | 0,134225 | 0,0178605 |
| (M) | 6,12609 | 3,22531 | 0,412565 | 0,374017 | 0,0407083 |
| (N) | 6,13833 | 3,23393 | 0,413798 | 0,469333 | 0,0559271 |
| (O) | 6,11121 | 3,22563 | 0,412956 | 0,365009 | 0,0397791 |
| (P) | 6,11667 | 3,22569 | 0,412837 | 0,369542 | 0,0403888 |
| (Q) | 6,09419 | 3,20461 | 0,411599 | 0,0670994 | 0,00986249 |

3.3. Définitions

RMSE = Racine carrée de l'erreur quadratique moyenne

SEQ = Test sur les séquences longues ascendantes ou descendantes

SEQM = Tests séquences longues au-dessus ou au-dessous de la médiane

AUTO = Test de Box-Pierce pour les fortes auto-corrélations

MOY = Test sur la différence des moyennes des 1ère et 2ème moitiés des données

VAR = Test sur la différence des variances des 1ère et 2ème moitiés des données

OK = non significatif ($p \geq 0,05$)

* = peu significatif ($0,01 < p \leq 0,05$)

** = significatif ($0,001 < p \leq 0,01$)

*** = très significatif ($p \leq 0,001$)

Synthèse

Ce tableau compare les résultats des ajustements de différents modèles aux données. Le modèle qui a la valeur la plus faible du critère d'information d'Akaike (AIC) est le modèle M qui a été utilisé pour calculer les prévisions.

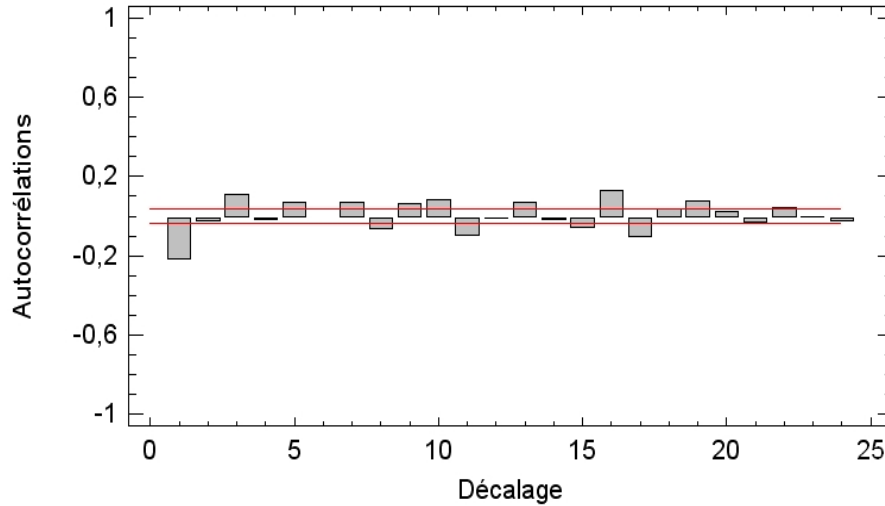
Ce tableau résume également les résultats de cinq tests sur les résidus pour déterminer si chaque modèle est approprié pour les données. Un OK indique que le modèle satisfait au test. Une * indique qu'il ne satisfait pas au test avec un degré de confiance de 95%. Deux * indiquent qu'il ne satisfait pas au test avec un degré de confiance de 99%. Trois * indiquent qu'il ne satisfait pas au test avec une confiance de 99,9%. A noter que le modèle actuellement sélectionné, le modèle M, satisfait à deux tests. Puisque un ou plusieurs tests sont statistiquement significatifs avec un niveau de confiance de 95% ou plus, nous devons sérieusement envisager de sélectionner un autre modèle.

3.4. Auto- corrélations estimées pour résidus

Variable des données : Indice de marché

Modèle : ARIMA(1,1,0) avec constante

Autocorrélations résiduelles pour Indice de marché
ARIMA(1,1,0) avec constante



| Décalage | Autocorrélation | Erreur-type | Limite inférieure à 95,0% inférieure | Limite supérieure à 95,0% supérieure |
|----------|-----------------|-------------|---|---|
| 1 | -0,221741 | 0,0174104 | -0,0341238 | 0,0341238 |
| 2 | -0,0296265 | 0,0182464 | -0,0357623 | 0,0357623 |
| 3 | 0,109838 | 0,018261 | -0,0357909 | 0,0357909 |
| 4 | -0,0227178 | 0,0184601 | -0,0361813 | 0,0361813 |
| 5 | 0,070028 | 0,0184686 | -0,0361979 | 0,0361979 |
| 6 | -0,0106978 | 0,0185489 | -0,0363553 | 0,0363553 |
| 7 | 0,0677547 | 0,0185508 | -0,036359 | 0,036359 |
| 8 | -0,0730931 | 0,0186257 | -0,0365057 | 0,0365057 |
| 9 | 0,0633802 | 0,0187124 | -0,0366757 | 0,0366757 |
| 10 | 0,0852603 | 0,0187774 | -0,036803 | 0,036803 |
| 11 | -0,10197 | 0,0188943 | -0,0370323 | 0,0370323 |
| 12 | -0,0136157 | 0,0190604 | -0,0373578 | 0,0373578 |
| 13 | 0,0677244 | 0,0190634 | -0,0373636 | 0,0373636 |
| 14 | -0,0248846 | 0,0191362 | -0,0375063 | 0,0375063 |
| 15 | -0,0603859 | 0,019146 | -0,0375255 | 0,0375255 |
| 16 | 0,128902 | 0,0192036 | -0,0376385 | 0,0376385 |
| 17 | -0,107297 | 0,0194641 | -0,0381491 | 0,0381491 |
| 18 | 0,0339783 | 0,0196426 | -0,0384989 | 0,0384989 |
| 19 | 0,073825 | 0,0196604 | -0,0385338 | 0,0385338 |
| 20 | 0,0213844 | 0,0197443 | -0,0386981 | 0,0386981 |
| 21 | -0,037724 | 0,0197513 | -0,0387119 | 0,0387119 |
| 22 | 0,0431763 | 0,0197731 | -0,0387546 | 0,0387546 |
| 23 | -0,00505271 | 0,0198017 | -0,0388106 | 0,0388106 |
| 24 | -0,0301911 | 0,0198021 | -0,0388114 | 0,0388114 |

Commentaire

Ce tableau affiche les auto-corrélations estimées entre les résidus pour différents décalages. Le coefficient d'auto-corrélation d'ordre k mesure la corrélation entre les résidus au temps t et au temps $t-k$. Les limites à 95,0% autour de 0 sont également affichées. Si la limite de probabilité pour un décalage donné ne contient pas le coefficient estimé, il y a une corrélation statistiquement significative pour ce décalage au niveau de confiance de 95,0%.

Dans ce cas, 14 des 24 coefficients d'auto-corrélations sont statistiquement significatifs avec un degré de confiance de 95,0%, ce qui implique que les résidus ne sont pas complètement aléatoires (bruit blanc).

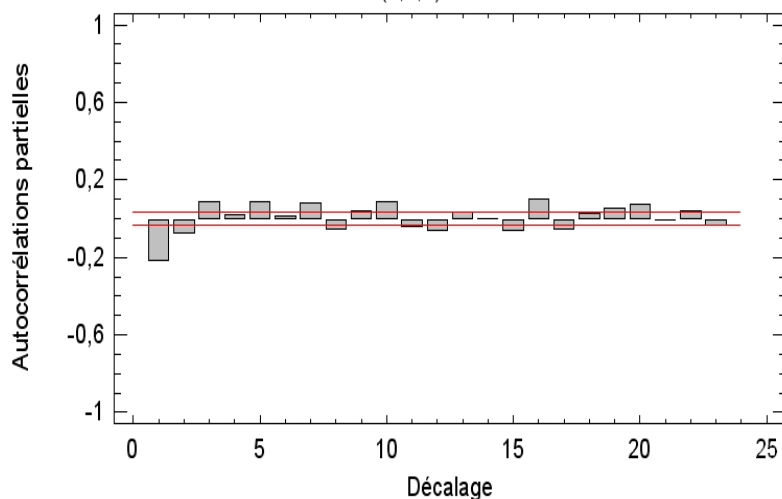
Il est possible de visualiser les coefficients d'auto-corrélations en sélectionnant « Fonction d'auto-corrélation des résidus » dans la liste des options pour les graphiques.

3.5. Auto-corrélations partielles estimées pour résidus

Variable des données: Indice de marché

Modèle: ARIMA (1,1,0) avec constante

Autocorrélations partielles résiduelles pour Indice de marché
ARIMA(1,1,0) avec constante



| Décalage | Autocorrélation | Erreur-type | Limite inférieure à 95,0% inférieure | Limite supérieure à 95,0% supérieure |
|----------|-----------------|-------------|---|---|
| 1 | -0,221741 | 0,0174104 | -0,0341238 | 0,0341238 |
| 2 | -0,0828702 | 0,0174104 | -0,0341238 | 0,0341238 |
| 3 | 0,0893237 | 0,0174104 | -0,0341238 | 0,0341238 |
| 4 | 0,0222362 | 0,0174104 | -0,0341238 | 0,0341238 |
| 5 | 0,0843988 | 0,0174104 | -0,0341238 | 0,0341238 |
| 6 | 0,0143581 | 0,0174104 | -0,0341238 | 0,0341238 |
| 7 | 0,0788712 | 0,0174104 | -0,0341238 | 0,0341238 |
| 8 | -0,0598862 | 0,0174104 | -0,0341238 | 0,0341238 |
| 9 | 0,0406821 | 0,0174104 | -0,0341238 | 0,0341238 |
| 10 | 0,0890976 | 0,0174104 | -0,0341238 | 0,0341238 |
| 11 | -0,0499444 | 0,0174104 | -0,0341238 | 0,0341238 |
| 12 | -0,0666679 | 0,0174104 | -0,0341238 | 0,0341238 |
| 13 | 0,0364216 | 0,0174104 | -0,0341238 | 0,0341238 |
| 14 | -0,00185258 | 0,0174104 | -0,0341238 | 0,0341238 |
| 15 | -0,064767 | 0,0174104 | -0,0341238 | 0,0341238 |
| 16 | 0,0999963 | 0,0174104 | -0,0341238 | 0,0341238 |
| 17 | -0,0624561 | 0,0174104 | -0,0341238 | 0,0341238 |
| 18 | 0,0270072 | 0,0174104 | -0,0341238 | 0,0341238 |
| 19 | 0,0533542 | 0,0174104 | -0,0341238 | 0,0341238 |
| 20 | 0,0764347 | 0,0174104 | -0,0341238 | 0,0341238 |
| 21 | -0,013274 | 0,0174104 | -0,0341238 | 0,0341238 |
| 22 | 0,0396575 | 0,0174104 | -0,0341238 | 0,0341238 |
| 23 | -0,0402034 | 0,0174104 | -0,0341238 | 0,0341238 |
| 24 | -0,00882835 | 0,0174104 | -0,0341238 | 0,0341238 |

Commentaire

Ce tableau affiche les auto- corrélations partielles estimées entre les résidus pour différents décalages. Le coefficient d'auto-corrélation d'ordre k mesure la corrélation entre les résidus au temps t et au temps $t+k$ après avoir pris en compte les corrélations pour tous les décalages inférieurs. Il peut être utilisé pour décider de l'ordre du modèle autorégressif nécessaire pour ajuster les données.

Les limites à 95,0% autour de 0 sont également affichées. Si la limite de probabilité pour un décalage donné ne contient pas le coefficient estimé, il y a une corrélation statistiquement significative pour ce décalage (degré de confiance de 95,0%).

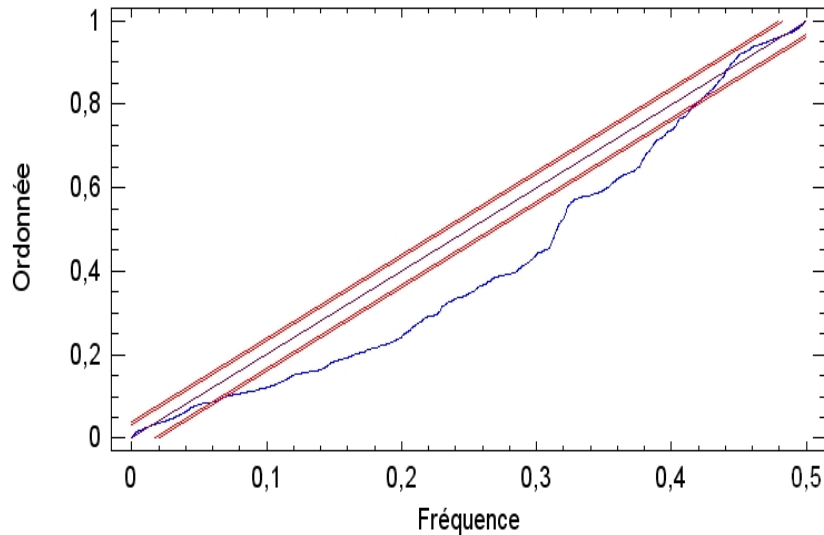
Dans ce cas, dix-huit des vingt-quatre coefficients d'auto- corrélations partielles sont statistiquement significatifs (avec une confiance de 95,0%). On peut afficher un graphique des coefficients d'auto- corrélations partielles en sélectionnant « Fonction d'auto-corrélation partielle » dans la liste des options pour les graphiques.

3.6. Périodogramme pour résidus

Variable des données : Indice de marché Egyptien

Modèle : ARIMA(1,1,0) avec constante

Périodogramme pour Résidus



Synthèse

Ce tableau affiche les ordonnées du périodogramme des résidus. Il est fréquemment utilisé pour identifier les cycles de fréquences fixes dans les données. Le périodogramme est construit en ajustant une série des fonctions sinusoïdales à chacune des 1650 fréquences. Les ordonnées sont égales aux carrés des amplitudes des fonctions sinusoïdales.

Le périodogramme peut être vu comme une analyse de la variance par fréquences, puisque la somme des ordonnées est égale au total corrigé des sommes des carrés du tableau de l'ANOVA. Il est possible d'afficher un graphique des ordonnées du périodogramme en sélectionnant « Périodogramme » dans la liste des options pour les graphiques.

3.7. Tests du caractère aléatoire de la série-résidus

Variable des données : Indice de marché

Modèle : ARIMA(1,1,0) avec constante

(1) Données au-dessus et au-dessous de la médiane

Médiane = -0,0426189

Nombre de données au-dessus et au-dessous de la médiane = 1710

Nombre attendu de données = 1650,0

Test sur la statistique z pour de larges échantillons = 2,07247

Probabilité = 0,0382217

(2) Données ascendantes et descendantes

Nombre de données ascendantes et descendantes = 2247

Nombre attendu de données = 2199,0

Test sur la statistique z pour de larges échantillons = 1,96193

Probabilité = 0,0497706

(3) Test de Box-Pierce

Test basé sur les 24 premières auto-corrélations

Test de la statistique pour de larges échantillons = 487,313

Probabilité = 0,0

Commentaire

Trois tests ont été effectués pour déterminer si les résidus forment une séquence de nombres aléatoires ou non. Rappelons qu'une séquence de nombres aléatoires est fréquemment appelée bruit blanc. Le premier test compte le nombre de fois où la séquence a été au-dessus ou au-dessous de la médiane. Ce nombre égal à 1710 est à comparer au nombre attendu de 1650,0 si la séquence était aléatoire. Comme la valeur de la probabilité pour ce test est inférieure à 0,05, on peut rejeter l'hypothèse que les résidus sont aléatoires, avec un niveau de confiance de 95,0%.

Le deuxième test compte le nombre de fois où la séquence a augmenté ou diminué. Ce nombre égal à 2247 est à comparer au nombre attendu de 2199,0 si la séquence était aléatoire. Comme la valeur de la probabilité pour ce test est inférieure à 0,05, on peut rejeter l'hypothèse que la série est aléatoire, avec un niveau de confiance de 95,0%.

Le troisième test est basé sur la somme des carrés des 24 premiers coefficients d'auto-corrélation. Comme la valeur de la probabilité pour ce test est inférieure à 0,05, on peut rejeter l'hypothèse que la série est aléatoire, avec un niveau de confiance de 95,0%. Puisque les trois tests donnent la même conclusion concernant le caractère aléatoire des données, le fait de ne pas satisfaire à ces tests indique que les résidus ne sont sans doute pas complètement aléatoires et que le modèle sélectionné ne prend pas en compte toute la structure dynamique des données.

Corrélations croisées estimées : résidus

Variable des données : Indice de marché

Modèle : ARIMA (1, 1,0) avec constante.

4- Application de la méthode de réseaux neurones artificiels ANN

Pour cette application nous avons utilisé le logiciel **Neuro Solution version 5**¹¹¹ qui est capable de construire automatiquement le réseau correspondant aux données.

Comme nous avons vu dans le chapitre 6 nous avons décomposé l'échantillon en trois séries chronologiques comme suit :

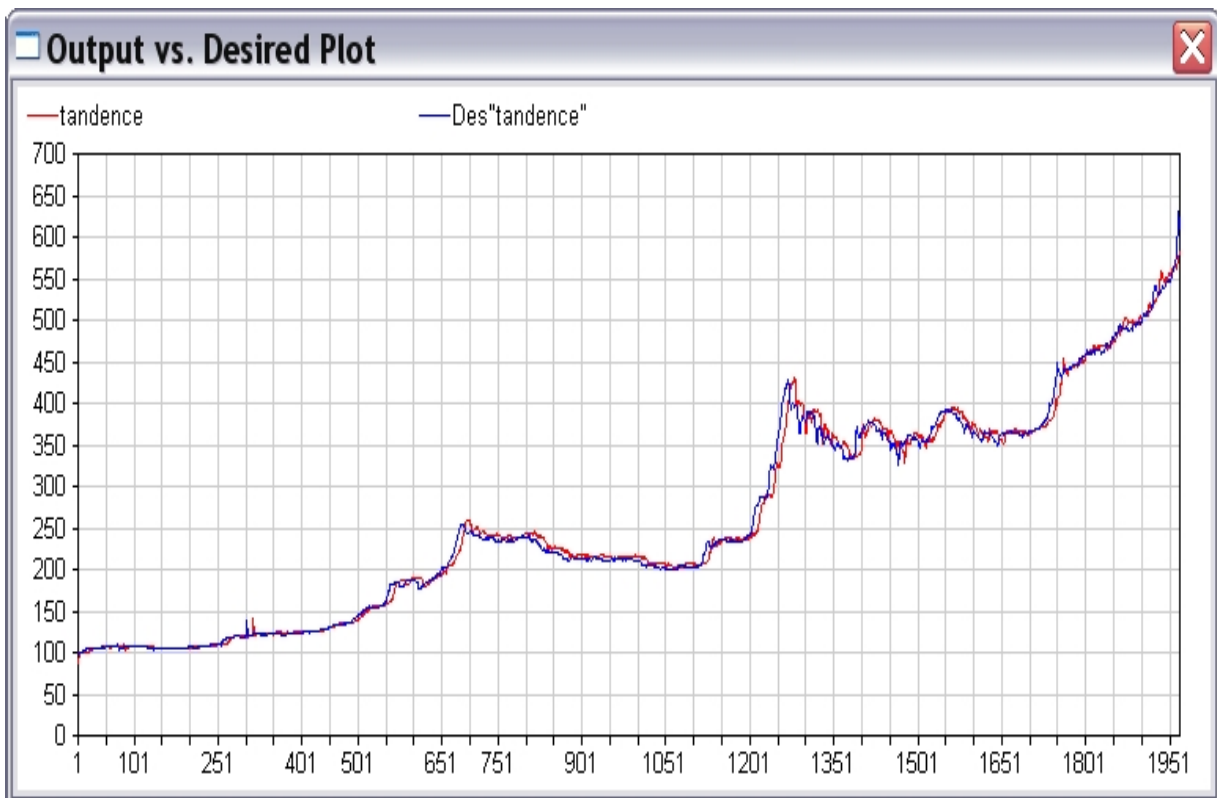
1. Série chronologique pour la phase d'apprentissage couvrant une période portant sur 3000 observations.
2. Série chronologique pour la phase de validation qui couvre la même période que l'apprentissage.
3. Série chronologique pour la phase du test effectué qui couvre 1500 observations.
4. Série chronologique pour la phase de prédiction qui concerne 11 observations du futur.

Après avoir exécuté le logiciel sur notre échantillon nous pouvons noter une explication sur le fonctionnement du réseau choisi automatiquement par le logiciel.

¹¹¹ .logiciel démo a été téléchargé par le site Web: www.neurosolutions.com

Le réseau qui a traité notre échantillon s'appelle le réseau neuronal de Feed forward (TLFN). C'est un réseau Multicouche Perceptron (MLP) avec des composantes de mémoire pour conserver les valeurs des données introduites dans le réseau. Les composantes de mémoire permettent également au réseau d'apprendre les rapports calculés au cours du temps. C'est le réseau neuronal supervisé temporel le plus commun. Il se compose des couches multiples de PEs raccordées d'une manière feedforward.

Figure 50- La prévision de l'indice du marché Egyptien en utilisant le ANN



En conséquence, nous avons obtenu les résultats suivants:

| Période | Prévision par ANN |
|---------|-------------------|
| 3301 | 1597,561 |
| 3302 | 1606,8952 |
| 3303 | 1599,5424 |
| 3304 | 1565,4587 |
| 3305 | 1560,2775 |
| 3306 | 1603,407 |
| 3307 | 1616,1080 |
| 3308 | 1616,5414 |
| 3309 | 1616,8094 |
| 3310 | 1630,9750 |
| 3311 | 1655,077 |

Les erreurs calculées sont :

| | |
|------------------|-------------------|
| MAPE ANN= | 0,124375 |
| MSE ANN= | 11,3137729 |

Effectivement, le réseau suit de très près l'évolution de la série de l'indice CASE après avoir découvert la relation existante entre les inputs et outputs, c'est-à-dire les observations de cette série. Par voie de conséquence, ce réseau de neurones [1-6-1] est capable de générer des prévisions hebdomadaires de l'indice CASE.

5- Les critères de comparaison

L'évaluation de la performance des méthodes utilisées a été réalisée en terme de mémorisation (capacité de reproduction des données passées ou ajustement du modèle en termes statistiques) et de généralisation (capacité d'anticipation des évolutions futures ou prévision en termes statistiques). A cette fin, onze données ont été utilisées pour apprécier leur capacité prédictive.

Quatre critères ont été au départ utilisés pour évaluer la mémorisation et la généralisation des différents modèles et approches :

- (1) la racine carrée de l'erreur résiduelle (RMSE)
- (2) l'erreur absolue moyenne (MAE)
- (3) le pourcentage moyen d'erreur absolue (MAPE)
- (4) l'erreur moyenne (ME)

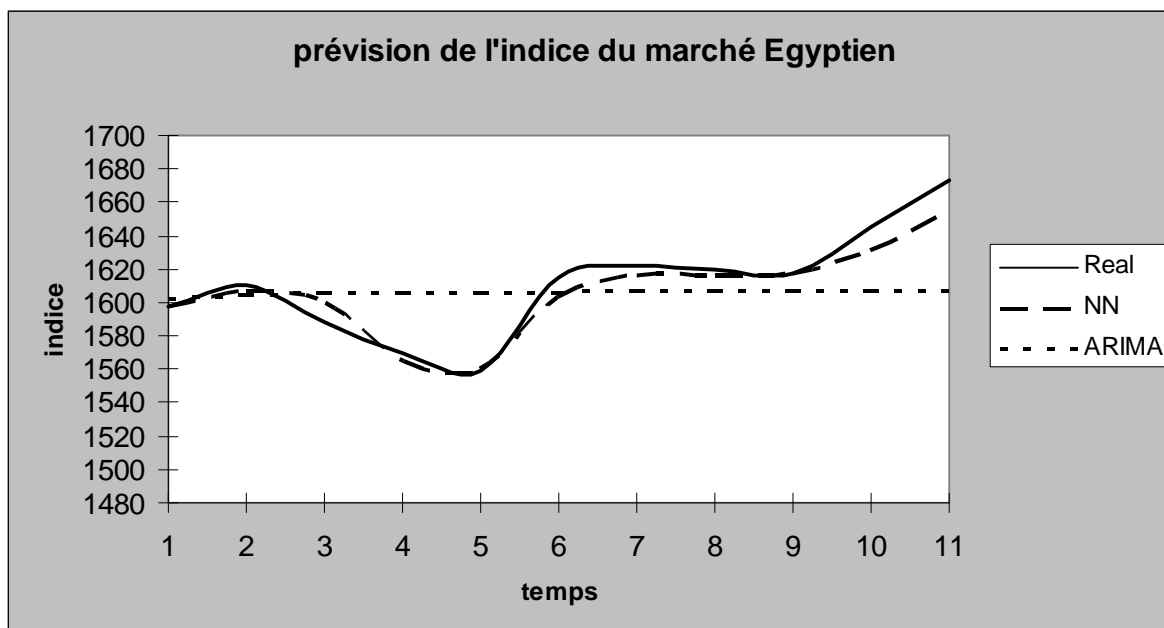
Bien que les résultats obtenus varient selon le critère retenu, nous centrerons par la suite notre attention sur le M.A.P.E. Ce choix a été guidé par, d'une part, la conviction qu'il traduit fidèlement l'objectif poursuivi dans le cadre de la prévision (minimiser l'erreur de prévision), et d'autre part, l'interprétation fort intuitive des résultats à laquelle il conduit.

| Les critères de la comparaison | ARIMA (1, 1,0) | ANN |
|--------------------------------|----------------|-------------------|
| MSE | 37,5289786 | 11,3137729 |
| MAPE | 0,412565 | 0,124375 |

Bien évidemment, le MAPE reste un indicateur largement accepté pour mesurer le pouvoir explicatif des réseaux ainsi celui des modèles. Le graphique n illustre l'évolution de cet indice pour l'échantillon témoin requis.

Donc, nous avons trouvé que tous les critères de comparaison d'ANN sont inférieurs à ceux de ARIMA (1, 1,0).

Figure 51- Prévision de l'indice du marché Egyptien par ARIMA & ANN



Nous remarquons d'après ce graphique que le réseau de neurones arrive à suivre l'évolution de l'indice et à déceler les points aberrants mieux que le modèle ARIMA.

Quant à la qualité de prévision, quelle que soit la rigueur de la méthode utilisée, ce qui intéresse le prévisionniste c'est de prévoir l'évolution de l'indice boursier, ce qui fait appel aux débats autour de l'efficacité ou l'inefficacité du marché boursier.

Dans la mesure où un marché est efficace ou inefficace, il est difficile d'effectuer des prévisions par des méthodes quantitatives statistiques classiques. Dans notre cas, avec ANN la prévision de l'indice à partir de ses valeurs historiques est possible mais pas réellement très fiable sur un **long terme**. C'est que le marché boursier Egyptien est inefficace et présente plusieurs anomalies.

En effet, l'existence d'anomalies renforce l'inefficacité du marché boursier. Elles sont liées au comportement micro-économique des différents intervenants malgré la promulgation de nouvelles lois concernant la finance ; on peut citer parmi ces anomalies : l'irrationalité, l'hétérogénéité de l'information, les techniques de couverture disponibles, l'existence de spéculateurs déstabilisants, ou encore les variations saisonnières, etc.

CONCLUSION GENERALE

Après avoir fait ressortir les caractéristiques et limites des MQ traditionnelles et la nature particulière des problèmes de décision rencontrés dans le domaine de la finance (la Bourse), nous sommes tentés de conclure que les MQ traditionnelles, déjà malaisées dans leur utilisation pour certains grands problèmes, sont loin d'être adaptées aux difficultés des prévisions de l'indice du marché des actions boursières. Un tel pessimisme peut paraître tout de même excessif au regard de l'évolution que les MQ ont connue au cours de ces dernières années par l'introduction des techniques de l'intelligence artificielle.

Au cours des années 1970, alors que la vogue des MQ commençait déjà à décliner dans les grandes organisations, les spécialistes des MQ ont cherché à améliorer leurs outils par une sophistication croissante. Il est clair à nos yeux que ceci a eu pour conséquence d'aider à la prise de décision.

En revanche, sous la pression à la fois du développement de la technologie informatique et des critiques virulentes dont étaient l'objet les MQ traditionnelles, on a assisté à une évolution sensiblement différente au cours de ces dernières années. Cette évolution se caractérise par :

- Le passage de la notion de «méthode» à celle plus modeste d'«outil» pour l'aide à la décision. Ce glissement a eu pour effet l'émergence progressive des Systèmes interactifs d'aide à la décision (SIAD) qui visent à mettre entre les mains des décideurs un ensemble de modèles simples, chacun apportant un éclairage particulier, plutôt qu'une méthode ayant pour ambition de «résoudre un problème». Cette évolution s'est accompagnée d'une réflexion importante sur la notion de problème visant à faire en sorte de ne plus considérer celui-ci comme une «donnée» (Landry, 1983 ; Landry et al., 1985).
- Le passage de la notion d' «étude» réalisée pour le compte d'un ou de

plusieurs décideurs à celle d'un processus de résolution impliquant de façon active celui-ci ou ceux-ci. Avec l'utilisation d'outils simples, l'aide à la décision apportée par les MQ ne résulte plus seulement d'un «rapport d'étude». L'objectif visé est principalement de présenter aux décideurs des outils adaptés et faciles à mettre en œuvre, et ainsi permettre une véritable appropriation de la méthode en limitant le rôle de l'homme d'étude à l'assistance technique ;

- La disparition progressive de l'idée de «résolution» d'un problème de décision au profit de celle « d'aide » à la décision et à la négociation. De nouvelles approches sont apparues qui utilisent des problématiques plus réalistes que celle de l'optimisation (cf. **Roy**, 1985) et permettent d'intégrer la diversité des acteurs et des points de vue au sein d'un processus de décision ;
- La remise en cause du statut «scientifique» traditionnel de l'homme d'étude au profit de celui de «chercheur-actif» privilégiant la pertinence et l'efficacité aux dépens de la simple recherche de «cas d'application» .

Compte tenu de l'évolution récente dans ce domaine, peut-on conclure qu'il y a un avenir pour les MQ ? À cette question nous répondons par l'affirmative, mais seulement à la condition que soient prises les mesures nécessaires pour réduire les facteurs contraignants soulignés précédemment.

Parmi les moyens susceptibles de favoriser une plus forte pénétration des MQ en sciences de gestion, il y a d'abord celui qui consiste à développer des modèles plus simples et mieux adaptés. Les spécialistes en MQ doivent insister moins sur la sophistication que sur l'adaptation à la nature du problème. Des modèles plus simples auront plus de chances d'être compris par les décideurs et donc d'être adoptés. Les efforts pour développer des modèles simples n'impliquent toutefois pas nécessairement que l'on doive exclure complètement la possibilité d'utiliser parfois des modèles plus sophistiqués, comme par exemple dans la prévision des cours du marché boursier.

Dans cette perspective, un moyen de favoriser une utilisation accrue des MQ sera d'encourager et de faciliter la formation des décideurs (investisseurs) : cet effort de formation devra en même temps s'accompagner d'une réflexion pédagogique en profondeur sur l'enseignement des MQ, qui traditionnellement privilégiait les aspects purement techniques au détriment de la modélisation et de l'utilisation effective des méthodes.

Les MQ traditionnelles étaient, en raison de leur sophistication et de l'attitude des spécialistes, l'apanage de ces derniers. Pour espérer une utilisation accrue des MQ, il faut favoriser une plus grande appropriation des MQ par les décideurs : selon **Boldur** (1982), tant que l'utilisation des outils d'aide à la décision ne sera pas prise en main et coordonnée par les managers eux-mêmes, leur succès restera discutable et incertain. Une simplification des méthodes et une formation accrue des managers permettront à ces derniers de s'approprier ces techniques et ainsi de continuer à contrôler leurs décisions comme ils le désirent, mais en disposant d'outils supplémentaires.

Dans cette même optique, les travaux pour développer des progiciels interactifs contribuent certainement à rapprocher les MQ des utilisateurs dans le domaine de la finance : il faut donc encourager et intensifier les efforts dans cette direction.

En parallèle avec ce qui précède, il faudrait aussi favoriser l'introduction progressive des MQ dans le domaine privé auprès des individus ; le spécialiste en MQ doit éviter de proposer dès le départ des outils trop sophistiqués qui risquent de rester obscurs et donc de rebuter l'utilisateur. Il est préférable que le spécialiste introduise des techniques relativement simples, quitte à ce qu'il amène progressivement le décideur à utiliser des outils plus sophistiqués. Un autre moyen de faciliter l'utilisation des MQ consiste à développer les bases de données, car la disponibilité des données est souvent un préalable aux recours à des MQ.

Finalement, les perspectives d'un avenir favorable pour les MQ reposent sur un changement d'attitude des spécialistes en MQ. Trop souvent, dans le contexte d'utilisation de MQ traditionnelles, le spécialiste prenait possession du problème et finissait par proposer une

solution toute faite à un décideur généralement sceptique, face à cette solution qui lui venait de l'extérieur, obtenue par un modèle qu'il comprenait mal.

Le dirigeant, se considérant comme le plus apte à saisir son problème, veut naturellement et à juste titre conserver l'initiative de son processus de décision et il acceptera difficilement d'en laisser la responsabilité à un spécialiste étranger à l'affaire.

En conséquence, si le spécialiste en MQ veut être d'une quelconque utilité dans le processus de décision d'un gestionnaire, il doit savoir reconnaître la place qui lui revient dans ce processus - celle d'une personne ressource - et comprendre que son objectif est d'amener le manager à s'aider lui-même.

Après avoir traité des perspectives générales des MQ, nous pouvons nous concentrer spécialement sur le cas de notre recherche : on constate un intérêt croissant pour les nouvelles approches quantitatives et les techniques en intelligence artificielle appliquées au cours des actions de la bourse Egyptienne, et il est à envisager que le développement de ces méthodes gagnera de l'importance avec les progrès futurs des technologies informatiques. Nous avons surtout étudié la contribution des méthodes quantitatives d'aide à la décision appliquées aux indices du marché des actions, utiles à l'investisseur. Nous avons vu en particulier que ce dernier a besoin des méthodes performantes qui l'aident à prendre des décisions les plus justes et les plus rationnelles possibles.

Nous nous sommes particulièrement penchés sur les méthodes de réseaux de neurones ; nous avons exposé certains travaux actuels, concernant les applications de ces méthodes à des problèmes financiers, plus précisément à la prévision des marchés financiers et de l'indice boursier en Egypte.

La qualité de la prévision a été testée avec des données portant sur un échantillon de la période allant du 01/01/92 au 05/05/2005. Nous avons ainsi conclu que le nouveau modèle de prévision avait surmonté les insuffisances du principal modèle classique, en effet :

- il était capable de prévoir correctement tous les points de la référence de l'échantillon ;
- il pourrait prévoir une future valeur de série de la référence, contrairement au modèle classique ;
- il était possible de lui fixer « un horizon de prévision ». Nous l'avons estimé à onze jours après la date initiale.

Un réseau de neurones peut être vu comme une "machine" très puissante et très flexible dont la sortie peut être utilisée directement pour prendre des décisions financière ou lancer des ordres d'achat / vente.

Le réseau de neurones surclasse de loin un indicateur habituel, parce qu'il possède une capacité d'apprentissage à partir de la série de données elle-même. Il peut trouver des rapports et des tendances dans les données qui sont souvent trop complexes à reconnaître à la simple lecture d'un graphique ou à modéliser par des formules mathématiques.

- L'utilisation la plus répandue des réseaux de neurones pour l'analyse technique consiste à créer un modèle pour prédire le prix futur d'un actif financier, étant donnés les prix actuels et antérieurs et toute autre information technique fondamentale ;
- Le prix prédit peut alors être traité afin de donner l'ordre de la négociation- achat ou vente. Le système le plus simple est: achat si le prix prédit est plus élevé que le prix courant, vente dans le cas contraire.

On peut donc conclure que les réseaux neuronaux sont capables de fournir une prévision acceptable pour les marchés financiers et, en les utilisant correctement, l'investisseur ou le décideur pourrait sûrement en tirer bénéfice.

RECOMMANDATIONS

Cette étude pourrait inciter à prolonger la recherche dans le même sens sur deux niveaux :

- 1- Au niveau des décideurs – investisseurs** : pour que les différents investisseurs emploient avec succès les réseaux neurones pour prévoir les marchés financiers, voici quelques conseils à suivre :
 - lire un texte de base sur les réseaux neuronaux pour en comprendre la théorie et ses limites ;
 - comprendre les notions de mesures statistiques et de probabilité ;
 - Utiliser avec compétence un logiciel de tableau pour que les données puissent être traitées efficacement ;
 - Étudier la théorie financière du marché pour que les données d'entrée ne soient pas choisies inconsidérément ou au hasard ;
 - Se procurer des logiciels de réseaux neuronaux et les comparer : dans la pratique en étudiant les divers effets sur les mêmes entrées ;
 - Une fois qu'un réseau est choisi, ne pas suivre aveuglément ses conclusions. Comme **GATELY** (1996) l'a recommandé, essayer de les vérifier en observant d'autres indicateurs (clignotants) avant la prise de la décision ;
 - autrement dit, utiliser des indicateurs (clignotants) multiples ; cela peut inclure des réseaux multiples incorporant des entrées différentes pour prévoir la même production.

C'est en suivant méticuleusement ces recommandations que les investisseurs individuels pourront améliorer leurs profits potentiels par l'utilisation des réseaux neuronaux. Toutefois cette méthode n'est pas une baguette magique qui permette de résoudre tous les problèmes du décideur (investisseur).

2- Au niveau du marché des actions (en Egypte)

L'autorité de la Bourse devrait suivre le processus suivant :

- Contrôler l'ensemble des opérations financières portant sur des sociétés cotées : introductions en bourse, augmentations de capital, offres publiques, fusions... et veiller au bon déroulement des offres publiques boursières ;
- Améliorer la qualité et la quantité des informations fournies aux investisseurs d'une part et surveiller les informations reçues par les sociétés cotées d'autre part ;
- Développer les transactions accomplies sur le site Web au niveau national (e- Bourse) avec tous les moyens nécessaires (logiciel, système d'information, et base de données etc...) ;
- Développer des gammes d'indices boursiers qui servent de support aux pertinents.

En conclusion, la Bourse se trouve placée devant deux nécessités pour un bon fonctionnement : la nécessité d'évaluer l'efficacité du marché obligataire quand il montre des signes sains de développement et estimer si des techniques de gestion actives peuvent être profitables sur un tel marché.

L'autre nécessité est d'évaluer l'exécution de fonds communs de placement mutualistes à partir de modèles à facteurs multiples pour mesurer l'exécution des fonds mixtes qui utilisent des capitaux propres et des emprunts. Ceci peut être fait en considérant la sensibilité des retours des fonds communs de placement mutualistes à l'indice d'obligation adjoint à l'indice d'actions ordinaires. Il semble que ceci ne puisse être fait qu'après la détermination d'un indice d'obligation, ce qui dépend du développement du marché obligataire en Egypte.

LES PERSPECTIVES ET LES VOIES DE LA RECHERCHE DANS LE FUTUR

Dans des travaux ultérieurs, nous espérons affiner le modèle de réseau neuronal exposé plus loin dans cette recherche (en considérant d'autres types de réseaux, des méthodes différentes, etc.) pour exploiter aisément les données disponibles et en tirer les conséquences les plus exactes, dans le but de mesurer le cours futur des actions du marché boursier. Un autre prolongement de notre travail peut être la construction de modèles de réseaux neuronaux applicables à la prévision d'autres variables macroéconomiques importantes. Et bien sûr, le projet essentiel reste l'utilisation de cette recherche pour analyser le futur marché financier en SYRIE et, en appliquant différentes méthodes quantitatives, aider le futur investisseur à gérer son portefeuille de façon performante.

LIMITES DE LA RECHERCHE

Nous avons été confronté dans cette recherche à plusieurs difficultés dues à la spécificité du domaine, et surtout aux méthodes statistiques et informatiques.

L'échantillon étudié était relativement homogène sur le plan de la partie pratique suivie. Cette recherche peut être considérée comme un premier pas sur le terrain d'une grande complexité et diversité de représentations et de pratiques, que sont les études des méthodes quantitatives appliquées au marché des actions dans les pays arabes.

Elle comporte évidemment des limites. Seuls les prix des actions ont été pris en considération parmi l'importante quantité d'informations disponibles dans les bases de données documentaires sur le marché égyptien. Il est donc peut-être imprudent de généraliser les résultats à tous les marchés faiblement efficaces, lesquels peuvent avoir une perception différente... Enfin, il est à mentionner que les logiciels de prévision employés dans cette étude possèdent des limitations inhérentes à leur utilisation. Les logiciels ont été téléchargés par internet (versions de démonstrations dans lesquelles il manque plusieurs paramètres).

Dans cette étude les variables qualitatives ont été mesurées sur une échelle limitée à trois niveaux d'intensité : bien que l'emploi d'une échelle plus large eût permis une plus grande variance elle aurait également apporté une plus grande subjectivité sur les informations générales.

Cette recherche apporte une modeste contribution tant dans le domaine de la finance que des technologies de l'information d'aide à la décision. Elle met en évidence l'importance pour les spécialistes de la finance de prendre en compte les aspects de contenu lié au portefeuille (décision boursière). À court terme, le marché financier en Egypte semble négliger certaines caractéristiques clés et en particulier la compatibilité qui influence pourtant, selon les méthodes suivies, la préparation des bilans des sociétés cotées.

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

| | |
|--|-----|
| Figure 1 : Les axes de la thèse | 26 |
| Figure 2 : Le modèle pyramidal (historique) | 45 |
| Figure 3 : Les systèmes de décision dans les organisations | 48 |
| Figure 4 : Le modèle programmé – non programmé | 49 |
| Figure 5 : Le lien entre le degré de certitude et de la programmation de la décision | 50 |
| Figure 6 : Classification des décisions | 51 |
| Figure 7 : Classification synthétique | 53 |
| Figure 8 : Tableau les neuf types de décision | 54 |
| Figure 9 : Les conditions entourent la prise de décision | 55 |
| Figure 10 : Les modèles de théories de décision | 62 |
| Figure 11 : La phase d'intelligence | 63 |
| Figure 12 : Modèle de processus décisionnel | 65 |
| Figure 13 : Tableau de la vue d'ensemble d'ARCHER | 68 |
| Figure 14 : Le modèle cognitif général de la décision | 70 |
| Figure 15 : Arbre de décision | 87 |
| Figure 16 : Ossature de base de la méthode de Monte-Carlo | 90 |
| Figure 17 : Tableau d'un exemple de dilemme du prisonnier | 96 |
| Figure 18 : Tableau d'un exemple adapté de GREMILLET | 100 |
| Figure 19 : Tableau d'un exemple du critère de LAPLACE - BAYES | 101 |
| Figure 20 : Tableau d'un exemple de matrice des regrets | 102 |
| Figure 21 : La relation entre l'information et la décision | 105 |
| Figure 22 : Structure de type d'un SIAD | 107 |
| Figure 23: Tableau des aspects de l'évaluation du SIAD | 109 |
| Figure 24 : La composition d'un système de data warehouse | 116 |
| Figure 25 : La composition d'un système d'expert | 120 |
| Figure 26 : La classification des différentes méthodes classiques et systèmes d'aide à la décision et leurs applications | 126 |

| | |
|---|-----|
| Figure 27: Exemple d'une courbe continue | 136 |
| Figure 28 : Exemple d'un graphique en barres | 137 |
| Figure 29 : Exemple d'un chandelier japonais | 137 |
| Figure 30 : Exemple d'une représentation des volumes | 138 |
| Figure 31 : Exemple d'un graphique de tendance | 139 |
| Figure 32 : Etapes d'un renversement de tendance | 141 |
| Figure 33 : Tableau des principales différences entre l'analyse fondamentale et technique | 159 |
| Figure 34 : Les étapes de la méthode ARIMA | 172 |
| Figure 35 : un neurone artificiel | 177 |
| Figure 36 : Indice général de la Bourse Egyptienne des valeurs | 199 |
| Figure 37 : Indicateurs principaux du marché Egyptien | 211 |
| Figure 38: Marché primaire en Egypte | 212 |
| Figure 39 : Marché secondaire en Egypte | 212 |
| Figure 40 : L'évolution de l'indice du marché boursier Egyptien | 217 |
| Figure 41 : Tableau des résultats de la méthode ARIMA | 219 |
| Figure 42 : Tableau de résumé de la méthode ARIMA | 220 |
| Figure 43: Tableau des prévisions par ARIMA | 221 |
| Figure 44 : La prévision de l'indice par ARIMA | 222 |
| Figure 45 : Période d'estimation d'ARIMA | 224 |
| Figure 46 : Période de validation d'ARIMA | 224 |
| Figure 47: Auto-corrélations résiduelles pour l'indice du marché + Tableau | 226 |
| Figure 48 : Auto-corrélations partielles résiduelles pour l'indice du marché + Tableau | 228 |
| Figure 49 : Périodogramme de résidus | 230 |
| Figure 50 : La prévision de l'indice du marché par ANN | 233 |
| Figure 51 : La prévision de l'indice du marché Egyptien par ARIMA & ANN | 235 |

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|-----------|
| REMERCIEMENTS | 1 |
| SOMMAIRE | 3 |
| INTRODUCTION | 6 |
| 1- Revue et examen de la littérature | 12 |
| 2- Méthodologie de la recherche | 22 |
| 2.1. <i>Objectifs et questions de la recherche</i> | 22 |
| 2.2. <i>Les hypothèses de la recherche</i> | 25 |
| 2.3. <i>Termes technique et Style de rédaction</i> | 27 |
| 2.4. <i>Plan de la recherche</i> | 27 |
| | |
| <i>PREMIÈRE PARTIE</i> | |
| <i>ANALYSE ET MÉTHODES D'AIDE À LA DÉCISION</i> | 29 |
| | |
| Chapitre 1- ANALYSE DE LA DÉCISION | 32 |
| 1- Définitions | 32 |
| 2- Les bases de la prise de décision | 35 |
| 2.1. <i>Présentation historique</i> | 35 |
| 2.2. <i>Les ressources de la prise de décision</i> | 36 |
| 2.2.1. <i>Les expériences</i> | 37 |
| 2.2.2. <i>Les standards</i> | 38 |
| 2.2.3. <i>Les données et les faits</i> | 38 |
| 2.2.4. <i>L'intuition ou logique</i> | 40 |
| 2.2.5. <i>Les opinion mûrement réfléchies</i> | 41 |
| 2.2.6. <i>Les modèles et les méthodes</i> | 42 |
| 2.2.7. <i>Les systèmes d'aide à la décision</i> | 43 |
| 3- Typologie de décision | 44 |
| 3.1. <i>L'objet de la décision(le modèle pyramidal traditionnel)</i> | 44 |
| 3.1.1. <i>La décision stratégique</i> | 44 |
| 3.1.2. <i>La décision administrative</i> | 45 |
| 3.1.3. <i>La décision opérationnelle</i> | 45 |
| 3.2. <i>L'échéance de la décision</i> | 46 |
| 3.3. <i>Le degré de structure de la décision</i> | 48 |
| 3.3.1. <i>Les décisions structurées</i> | 50 |
| 3.3.2. <i>Les décisions faiblement structurées (ou non structurées)</i> | 51 |
| 4- Les contextes du choix | 51 |
| 5 – Le degré de formalisation du comportement du décideur | 52 |

| | |
|--|------------------|
| <u>6 – Les classifications syntétiques</u> | <u>53</u> |
| Chapitre 2- THÉORIE DU PROCESSUS DE DÉCISION | <u>57</u> |
| 1- Les théories de la décision | <u>58</u> |
| 1.1. <i>Le modèle du décideur rationnel</i> <u>58</u> | |
| 1.2. <i>Le modèle du décideur à rationalité limitée (modèle psychologique)</i> <u>59</u> | |
| 1.3. <i>La théorie du décideur politique</i> <u>59</u> | |
| 1.4. <i>Le cadre actuel de la formalisation de la décision</i> <u>60</u> | |
| 1.5. <i>Les limites de la théorie de la décision</i> <u>61</u> | |
| 2- Les processus décisionnels | <u>62</u> |
| 2.1. <i>Le modèle IMC</i> <u>62</u> | |
| 2.1.1. <i>La phase d'intelligence</i> <u>62</u> | |
| 2.1.2. <i>La phase de modélisation (conception)</i> <u>63</u> | |
| 2.1.3. <i>La phase de choix</i> <u>64</u> | |
| 2.1.4. <i>La phase d'évaluation</i> <u>64</u> | |
| 2.2. <i>Le modèle classique</i> <u>66</u> | |
| 3- Les modèles de prise de décision | <u>67</u> |
| 3.1. <i>Modèle de KEPNER- TREGOE</i> <u>67</u> | |
| 3.2. <i>Modèle de ARCHER</i> <u>68</u> | |
| 3.3. <i>Modèle composite: COHEN, MARCH, OLSEN</i> <u>69</u> | |
| 3.4. <i>Modèle cognitif B. MUNIER</i> <u>70</u> | |
| 4- Application de la décision | <u>71</u> |
| 4.1. <i>La mise en œuvre</i> <u>71</u> | |
| 4.2. <i>Le suivi et le contrôle</i> <u>71</u> | |
| 5 - Les limites et la fin du processus de décision | <u>72</u> |
| 6 - Le système de décision | <u>74</u> |
| 6.1. <i>Le modèle informatique</i> <u>75</u> | |
| 6.2. <i>Le modèle sociologique</i> <u>75</u> | |
| 6.3. <i>Le modèle systémique</i> <u>76</u> | |
| 7 - Le management décisionnel | <u>76</u> |
| 7.1. <i>L'approche décisionnelle</i> <u>77</u> | |
| 7.2. <i>Approche orientée vers l'aide à la décision</i> <u>78</u> | |
| Chapitre 3- MÉTHODES D'AIDE À LA DÉCISION | <u>81</u> |
| <u>1- L'aide à la décision en univers certain</u> | <u>81</u> |
| 1.1. <i>La programmation linéaire</i> <u>82</u> | |
| 1.2. <i>Méthode d'ordonnancement</i> | <u>83</u> |
| 1.3. <i>Mathématiques financières</i> | <u>84</u> |
| <u>2- L'aide à la décision en univers aléatoire</u> | <u>85</u> |
| 2.1. <i>L'arbre de décision</i> <u>85</u> | |
| 2.2. <i>Méthode de la simulation</i> <u>88</u> | |
| 2.3. <i>La probabilité à l'aide de décision</i> | <u>89</u> |
| 2.4. <i>La méthode Monte-Carlo</i> | <u>89</u> |
| 2.5. <i>La théorie des files d'attente</i> | <u>91</u> |
| <u>3- L'aide à la décision en univers conflictuel (hostile)</u> | <u>93</u> |

| | |
|--|------------|
| 3.1. <i>La théorie des jeux</i> | 93 |
| 3.1.1. Définition des termes | 93 |
| 3.1.2. L'histoire de la théorie des jeux | 94 |
| 3.1.3. Jeux à information complète et parfaite | 95 |
| 3.1.4. Jeux à information complète et imparfaite | 95 |
| 3.1.5. Jeux de conflit et de coopération | 96 |
| 3.1.6. Jeux à information incomplète | 97 |
| 4- L'aide à la décision en univers incertain | 99 |
| 4.1. <i>Le critère de LAPLACE-BAYES</i> | 100 |
| 4.2. <i>Le critère de WALD ou du "Maximin"</i> | 101 |
| 4.3. <i>Le critère de SAVAGE ou du "Minimax Regret"</i> | 102 |
| 4.4. <i>Le critère de HURWITZ</i> | 102 |
| Chapitre 4 - SYSTÈMES D'AIDE À LA DÉCISION | 104 |
| 1- Systèmes interactifs d'aide à la décision (SIAD) | 105 |
| 1.1. <i>Définition SIAD</i> | 105 |
| 1.2. <i>Les composants du SIAD</i> | 106 |
| 1.2.1. Une base de données avec un système de gestion de base de données | 107 |
| 1.2.2. Une base de modèle avec un système de gestion de base de modèle | 107 |
| 1.2.3. Une fonction de gestion du dialogue homme-machine | 108 |
| 1.3. <i>Les caractéristiques du SIAD</i> | 108 |
| 1.4. <i>L'évaluation du SIAD</i> | 109 |
| 2- Les tableaux de bord électroniques TBE/EIS | 110 |
| 2.1. <i>Définition</i> | 110 |
| 2.2. <i>L'objectifs d'un EIS</i> | 110 |
| 2.3. <i>Les caractéristiques spécifiques d'un EIS</i> | 111 |
| 2.4. <i>Les utilisations d'un EIS</i> | 111 |
| 2.5. <i>Les avantages et les inconvénients de l'EIS</i> | 113 |
| 2.5.1. Avantages | 113 |
| 2.5.2. Inconvénients | 113 |
| 3- Les systèmes d'entrepôts de données (Data Warehouse) | 114 |
| 3.1. <i>Définition</i> | 114 |
| 3.2. <i>L'architecture d'un Data Warehouse</i> | 115 |
| 3.3. <i>Modèle de conception du Data Warehouse</i> | 116 |
| 3.4. <i>La technique de datamining</i> | 117 |
| 3.4.1. La découverte des règles | 118 |
| 3.4.2. La découverte de modèles fonctionnels | 118 |
| 3.4.3. La classification | 119 |
| 4- Les systèmes experts SE | 119 |
| 4.1. <i>Les structures et principes de SE</i> | 120 |
| 4.1.1. La base de connaissances | 121 |
| 4.1.2. Le moteur d'inférence | 121 |
| 4.1.3. Les interfaces homme- machine | 121 |
| 4.2. <i>Utilisations des systèmes experts</i> | 122 |

| | |
|--|-----|
| <u>Conclusion de première partie</u> | 125 |
|--|-----|

DEUXIÈME PARTIE

APPLICATION DES MÉTHODES D'AIDE À LA DÉCISION

.....129

Chapitre 5- MÉTHODES D'ANALYSE DES VALEURS DU MARCHÉ

.....**131**

1- Définitions et principes

132

1.1. Savoir s'informer 132

1.2. La lecture d'un rapport annuel

133

1.3. Les méthodes d'évaluation

134

2- Analyse chartiste (analyse technique traditionnelle).....

134

2.1. Lire les graphiques boursiers 135

2.2. La courbe continue 136

2.3. Le graphique en barres ou Bar-Chart.....

136

2.4. Les chandeliers ou candlesticks japonais

137

2.5. La représentation des volumes

138

2.6. Tendances 138

2.6.1. Lignes de tendance 139

3- Analyse fondamentale.....

141

3.1. Le niveau macro- économique 142

3.2. Le niveau sectoriel

143

3.3. Le niveau micro- économique

144

3.3.1. Liquidité 144

3.3.2. Solvabilité 145

3.3.3. Rentabilité 146

3.3.4. Valorisation

146

3.3.4.1. DCF ou DDM.....

147

3.3.4.2. PER.....

148

3.3.4.3. Rendement de dividende

149

3.3.4.4. Cours/ cash-flow

150

3.3.4.5. Cours/valeur comptable.....

151

3.3.4.6. Cours/valeur intrinsèque

152

3.3.4.7. Cours/chiffre d'affaires

153

3.3.4.8. Facteur PEG

153

3.3.5. Autres facteurs influençant le cours

154

3.3.5.1. La psychologie du marché

154

3.3.5.2. L'offre

154

3.3.5.3. La liquidité

155

4- L'efficience de marché.....

156

| | |
|--|------------|
| Chapitre 6 - MÉTHODES DE PRÉVISION | 160 |
| 1- La méthode ARIMA (moyenne mobile intégrée auto- régressive)..... | 161 |
| <i>1.1. Typologie du modèle</i> 161 | |
| 1.1.1. Premier critère : La différenciation 162 | |
| 1.1.2. Deuxième critère : L'auto- régression 163 | |
| 1.1.3. Troisième critère : La moyenne mobile | 164 |
| 1.2. Signification des paramètres des modèles ARIMA | 166 |
| 1.3. Les différents étapes | 167 |
| 1.3.1. Détermination de l'ordre de différenciation 167 | |
| 1.3.2. Identification des termes AR (p : Auto- régressifs) 169 | |
| 1.3.3. Identification des termes MA (q : Moyennes mobiles)..... | 170 |
| 1.3.4. Estimation des paramètres 171 | |
| 1.3.5. Validation 171 | |
| 1.3.6. Prévision..... | 172 |
| 2- Méthode des réseaux de neurones artificiels ANN..... | 173 |
| 2.1. Présentation historique 174 | |
| 2.2. Définitions 175 | |
| 2.3. Composants de réseau neurones | 176 |
| 2.4. Les étapes de la construction d'un réseau | 177 |
| 2.4.1. Choix et préparation des échantillons 178 | |
| 2.4.2. Elaboration de la structure du réseau 178 | |
| 2.4.3. Apprentissage | 178 |
| 2.4.4. Validation et tests | 179 |
| 2.5. Quelques types de réseaux connus | 180 |
| 2.5.1. Le perceptron 180 | |
| 2.5.2. Les perceptron multicouches (PMC) 180 | |
| 2.5.3. Les réseaux de HOPFIELD 181 | |
| 2.5.4. Les réseaux de KOHONEN | 181 |
| 2.6. Applications des réseaux neurones artificiels 182 | |
| 2.6.1. Réseaux neuronaux artificiels dans les marchés financiers 183 | |
| 2.7. Les avantages de ANN 184 | |
| Chapitre 7- IDIOSYNCRASIE DU MARCHÉ BOURSIER ÉGYPTIEN..... | 186 |
| 1- Introduction historique | 187 |
| 1.1. Les membres fondateurs de la Bourse en 1903 187 | |
| 1.2. Brève histoire de la Bourse des valeurs d'Alexandrie | 190 |
| 2- L'indice du marché Egyptien CASE | 192 |
| 2.1. Qu'est-ce qu'un indice ? 192 | |
| 2.2. Avantages présentés par la notion d'indice 193 | |
| 2.3. La méthode communément utilisée pour la calcul de l'indice | 194 |
| 2.4. Les indices mondiaux | 194 |
| 2.5. Les indices flottants libres..... | 194 |

| | |
|---|------------|
| 2.6. <i>Les indices en Egypte</i> | 195 |
| 2.6.1. Univers de l'indice | 196 |
| 2.6.2. Liste de choix | 197 |
| 2.6.3. Choix courant | 197 |
| 2.6.4. Règles d'assouplissement | 197 |
| 2.6.5. Fréquence de révision | 198 |
| 2.6.6. Pondération | 198 |
| 3- Analyse de l'indice CASE 30 | 199 |
| 3.1. <i>Présentation</i> | 199 |
| 3.2. <i>Création de l'indice CASE 30</i> | 200 |
| 3.3. <i>Méthodologie de CASE 30</i> | 201 |
| 3.4. <i>Calcul détaillé de l'indice CASE 30</i> | 204 |
| 3.4.1. Le diviseur | 205 |
| 3.4.2. Étapes du calcul du diviseur à la date de la base | 205 |
| 3.4.3. Pondérations du diviseur | 206 |
| 3.4.3.1. Ajustements de capitalisation boursière | 206 |
| 3.4.3.2. Calcul du nouveau diviseur | 206 |
| 3.4.3.3. Calcul de la capitalisation boursière ajustée | 207 |
| 3.4.3.4. Calcul de la valeur de l'indice | 207 |
| 4- Le cadre de normalisation | 207 |
| 4.1. <i>La loi du marché des capitaux (loi 95/1992)</i> | 207 |
| 4.2. <i>La loi du dépôt central (loi 93/2000)</i> | 208 |
| 4.3. <i>La loi des sociétés (loi 159/1981)</i> | 208 |
| 4.4. <i>La loi de privatisation (loi 203/1991)</i> | 209 |
| 4.5. <i>La loi d'investissement (loi du 8/1997)</i> | 209 |
| 5- La Bourse des valeurs de l'Egypte | 210 |
| 6- Efficience du marché Egyptien | 213 |
| | |
| Chapitre 8 - PERTINENC DES APPLICATIONS PRATIQUES | 216 |
| 1- Présentation des données de l'échantillon | 216 |
| 2- Le test de l'efficience du marché boursier Egyptien | 217 |
| 3- Application de la méthode ARIMA | 219 |
| 3.1. <i>Prévision automatique de l'indice du marché Egyptien</i> | 220 |
| 3.2. <i>Tableau des prévision</i> | 221 |
| 3.3. <i>Définitions</i> | 225 |
| 3.4. <i>Auto-corrélation estimées pour résidus</i> | 225 |
| 3.5. <i>Auto-corrélation partielles estimées pour résidus</i> | 227 |
| 3.6. <i>Périodogramme pour résidus</i> | 229 |
| 3.7. <i>Tests du caractère aléatoire de la série-rédidus</i> | 230 |
| 4- application de la méthode de réseaux neurones artificiels ANN | 232 |
| 5 - Les critères de comparaison | 235 |

| | |
|--|----------------|
| <u>CONCLUSION GENERALE</u> | <u>237</u> |
| - <u>Recommandations</u> | <u>242</u> |
| - <u>Limites de la recherche</u> | <u>244</u> |
| - <u>Perspectives de la recherche</u> | <u>245</u> |
| <u>BIBLIOGRAPHIE</u> | <u>246</u> |
| <u>LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX</u> | <u>266</u> |
| <u>ANNEXES</u> | <u>268</u> |
| <u>Annexe 1 : Les réseaux de neurones artificiels ANN</u> | <u>269</u> |
| <u>Annexe 2 : Les indicateurs statistiques du marché d’actions égyptien</u> | <u>277</u> |
| <u>Annexe 3 : L’histoire de la bourse égyptienne (CASE)</u> | <u>282</u> |
| <u>Annexe 4 : Tableaux des prévisions par la méthode ARIMA l’indice de marché égyptien</u> | <u>295</u> |
| <u>Annexe 5 : Méthode de calcul l’erreur</u> | <u>329</u> |
| <u>INDEX</u> | <u>331</u> |
| <u>TABLE DES MATIERES</u> | <u>340</u> |
| <u>RÉSUMÉS EN LANGUES ANGLAISE ET ARABE</u> | <u>347</u> |

ABSTRACT

CONTRIBUTION TO THE QUANTITATIVE METHODS STUDIES OF DECISION-MAKING SUPPORT APPLIED TO THE STOCK MARKET INDICES

This thesis is divided into two parts: first, it concerns the study of different quantitative methods used for decision making support in all situations. Second, study and analysis of the stock market index in Egypt. Indeed, the Egyptian stock market is considered to be inefficient with respect to the international stock markets. According to this, we expect that it is very difficult to use the traditional forecasting methods to predict the trend of the stock market index. In order to predict the Cairo & Alexandria Stock Exchanges (CASE), the Box-Jenkins Auto Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) and Artificial Neural Network (ANN) methods were applied to predict the stock market index of (CASE) in Egypt. For this purpose, we have used the stock market index samples for the CASE collected from 1992-2005 (3311 daily time series observation). The traditional forecasting method ARIMA was found to be not able to predict the CASE stock market index. However, the ANN prediction method was found to be able to follow the real trend of the index. This was confirmed by the Mean Absolute Percentage Error (MAPE) and Mean Square Error (MSE). Hence, neural networks for weekly prediction of financial stock markets are efficient. Consequently, the individual investor could make the most of the use of this forecasting method for his decision especially in the stock market.

Key words :

Decision making, decision-making support, quantitative methods, forecast time series, Artificial Neural Networks - stock market index - Stock Exchange.

Résumé :

Cette thèse se compose de deux parties : la première expose et compare les différentes méthodes quantitatives d'aide à la décision utilisées dans diverses situations. La deuxième étudie et analyse l'indice du marché boursier d'Egypte - marché considéré comme inefficace parmi les marchés boursiers internationaux. En conséquence, nous précisons qu'il est très difficile d'utiliser les méthodes traditionnelles pour prévoir la tendance de l'indice de ce marché boursier (Bourse du Caire et d'Alexandrie : CASE). Pour cela nous avons appliqué la méthode ARIMA de Box-Jenkins (moyenne mobile intégrée auto-régressive) et la méthode ANN (Réseaux de Neurones Artificiels) à un échantillon d'indices du marché boursier (CASE) collecté entre 1992 et 2005, soit 3311 observations d'une série chronologique. Les résultats obtenus ont montré que la méthode traditionnelle de prédiction ARIMA ne permet pas de prévoir l'indice du marché boursier de CASE, alors que la méthode ANN est capable de suivre la tendance réelle de l'indice. Ces conclusions ont été confirmées par les deux critères de calcul du pourcentage d'erreur sur la moyenne absolue (MAPE) et de l'erreur sur la moyenne quadratique (MSE). Donc, les réseaux neuronaux pour la prédiction hebdomadaire des marchés boursiers financiers étant efficaces, l'investisseur individuel pourrait tirer profit de l'utilisation de cette méthode de prédiction pour ses propres décisions financières.

Mots clés :

Prise de la décision, aide à la décision, méthodes quantitatives, prévision, séries chronologiques, Réseaux de neurones artificiels, l'indice du marché des actions, la Bourse.

INDEX

Analyse fondamentale

Méthode de prédiction des cours qui concentre son attention sur des déterminants tels que les bénéfices d'une compagnie et les dividendes à venir, de même que sur les anticipations des taux d'intérêt futurs et sur l'évaluation du risque du placement.

Analyse technique

Méthode de prédiction des cours qui recherche les titres mal évalués (sur ou sous évalués) en se basant sur des modèles (patterns) détectés à partir de données historiques (fermeture, haut, bas, volume), reflétant les pressions d'achat et de vente sur le marché.

Arbre de décision

Technique visuelle permettant de diviser des données en groupes basés sur les valeurs des variables. Elle permet de déterminer les variables significatives pour une variable donnée. Représentation graphique d'un problème de décision sous forme d'un arbre dont les branches correspondent aux choix possibles entre plusieurs alternatives

Batch

Dans les outils de Data Mining, le batch permet d'explorer de grandes masses de données à des heures creuses, sans trop solliciter le poste de l'utilisateur.

Capitalisation boursière

Elle est le résultat du produit des cours de bourse des divers instruments cotés, donnant accès au capital social actuel et le cas échéant potentiel, par le nombre de chacun de ces titres. Audelà du seul cours de bourse, la capitalisation boursière fournit l'évaluation implicite que le marché financier attribue à la totalité d'une entreprise cotée. Toutefois, les cours pris en compte sont établis pour la seule portion du capital en circulation et ne permettent pas toujours de préjuger de la valeur globale de l'entreprise.

Catégorie

Valeur prise par une variable discrète.

Classification

Deux types de classification existent :

- soit classer des éléments dans des classes connues (par exemple les bons et les mauvais clients). On parlera aussi d'apprentissage supervisé ;
- soit de regrouper les éléments ayant des comportements similaires dans des classes, inconnues au départ. On parlera alors de clustering, de segmentation ou d'apprentissage non supervisé.

Clustering

Cf. classification.

Continue(variable)

Variable pouvant prendre un nombre illimité de valeurs (par exemple, un réel).

Court : Investisseur qui a vendu à découvert un titre.

Data Mining (Outils de)

Littéralement exploitation minière des données. Désigne une catégorie d'outils d'exploitation du datawarehouse. En exploitant de grandes masses de données, ils mettent en évidence des corrélations non visibles a priori.

Aussi connus sous le nom de KDD (Knowledge Discovery Data), les outils de data mining permettent d'extraire de la connaissance des données en découvrant des modèles, des règles dans le volume d'information présent dans les entreprises.

Data Warehouse

"Entrepôt de données". Base de données spécifique au monde décisionnel et destinée principalement à analyser les leviers "business" potentiels.

D'après Bill Inmon, un Data Warehouse est intégré, orienté sujet et contient des données non volatiles et historisées

(Littéralement entrepôt de données). Désigne une base d'informations conçue pour aider à la prise de décision. Elle collecte les informations provenant des bases de production de l'entreprise. Elle est exploitée à l'aide d'outils de traitement OLAP, de Datamining et de visualisation.

Data Warehousing

Processus de mise en oeuvre d'un projet de Data Warehouse.

Découverte de règles

Les outils permettant de découvrir des règles vont partir d'une hypothèse et la tester au travers de requêtes et de statistiques puis la modifier en fonction des résultats. Ces systèmes vont scruter la base de données, forger des hypothèses et, si elles sont vérifiées, les remonter à l'utilisateur.

Dépendante (variable)

Variable cible de l'analyse de Data Mining, notamment pour les arbres de décision.
Détection de déviations.

Des outils permettent de détecter sur un ensemble de données celles présentant des déviations par rapport à des normes et des indicateurs de référence décrits antérieurement.
Dimension.

Axe d'analyse associé aux indicateurs ; correspond le plus souvent aux sujets d'intérêts du Data Warehouse ; exemple : dimension temporelle, dimension client...

Discrète (variable)

Variable prenant ses valeurs (cf. catégorie) dans un ensemble limité.

Échantillon

Ensemble de données tiré, aléatoirement ou non, du Data Warehouse et permettant d'effectuer des tests et des recherches sur des volumes restreints.

EIS

Executive Information System (littéralement, système d'information des cadres).
Environnement de présentation de tableau de bord présentant de manière synthétique et graphiques les performances d'une activité (ex : santé d'une entreprise, bilan des ventes...).
L'instrument de tableau de bord permettant d'exploiter les informations essentielles et de visualiser les indicateurs clés. Réservé à l'origine à la couche dirigeante (Executive Information System), il se démocratise et l'acronyme s'interprète différemment aujourd'hui : Everyone Information System ou plus généralement : Executive/Enterprise/Everyone's Information/Intelligence System/Service/Software

Élément

Les données étudiées dans un Data Warehouse se décomposent en lignes et en colonnes. Chacune des lignes représente un élément de la base de données, un individu.

Forecasting

Technique consistant à prévoir le comportement d'une variable par rapport à ses attitudes passées.

Génétique (algorithme)

Un algorithme génétique est un algorithme lent, représentant les modèles comme des gènes et des opérateurs génétiques et les faisant évoluer soit par mutation (un gène au hasard est remplacé), soit par cross-over (la place de deux sous-arbres est échangées).
Il est surtout utilisé pour optimiser les paramètres associés à des outils de prédiction ou de classification.

Hétérogénéité

Caractère d'un système global intégrant plusieurs types de machines ou de SGBD. Dans un monde parfait, le système hétérogène, très souvent distribué, doit être transparent pour l'utilisateur afin d'intégrer automatiquement les systèmes existants d'une entreprise.

Indicateur

Information permettant de mesurer la performance de telle ou telle activité de l'entreprise (ventes, gestion des stocks...). La plupart du temps, cette information est numérique (ex : chiffre d'affaires, quantité en stock...).

Indices boursiers

Instruments de mesure de performance des actions ou des obligations. Ils reflètent l'évolution d'un marché ou d'un secteur et représentent la moyenne (simple ou pondérée) des cours de l'échantillon des valeurs qui le composent.

Certains indices sont négociables et servent de support à des produits dérivés (contrats à terme et options), développés pour permettre aux investisseurs de se protéger ou de tirer parti de l'évolution future des marchés concernés.

Induction

Méthode consistant à tirer une conclusion d'une série de faits. Cette conclusion ne sera jamais sûre à 100 %.

Intégrité

Ensemble de contraintes appliquées aux mises à jour d'une base de donnée permettant de garantir la cohérence des données. Ces contraintes peuvent être des listes de valeurs à respecter (non-nullité et intégrité de domaine) ou bien des liens entre des tables (intégrité référentielle). Par exemple, une commande doit forcément référencer un client : le numéro de client inséré dans une ligne de la table commande doit exister dans la table client.

Ligne de tendance

Ligne reliant les bas (tendance haussière) ou les hauts (tendance baissière) de la courbe des prix sur un graphique.

Long

Investisseur qui a acheté un titre

Méta-données

"Donnée décrivant une donnée".

Moyenne mobile

Il s'agit de la moyenne arithmétique (simple ou exponentielle) des cours recalculée à chaque période et permettant de lisser la tendance des prix. Elle peut filtrer les mouvements erratiques des prix pour ne montrer que la tendance en cours.

Moyenne mobile exponentiel

Moyenne mobile dans laquelle les données sont pondérées, le poids diminuant au fur et à mesure que les données vieillissent.

Moyenne mobile simple

Moyenne mobile accordant le même poids à toutes les données dans le calcul.

MPP Massively Parallel Processing

Architecture matérielle faisant collaborer plusieurs processeurs (plusieurs centaines) possédant chacun sa propre mémoire.

Nearest Neighbor (ou Knn)

Méthode du plus proche voisin utilisée pour faire de la classification supervisée. Elle consiste à examiner les éléments, dont la classe est connue, proches de l'élément dont on veut déterminer la classe.

ODBC Open DataBase Connectivity

Interface d'accès aux SGBD (API + langage SQL) définie par Microsoft en 1992 et basée sur le standard CLI. Du fait de son succès auprès des utilisateurs et des éditeurs, ODBC est devenu un standard de fait. Il permet d'accéder à des SGBD d'éditeurs différents en utilisant la même interface de programmation. Plusieurs niveaux (Level 1 et Level 2) existent dans l'API correspondant aux niveaux de fonctionnalités.

OLAP On Line Analytical Processing

Caractérise l'architecture nécessaire à la mise en place d'un système d'information décisionnel. S'oppose à OLTP (On Line Transaction Processing), adressant les systèmes d'information transactionnels. OLAP est souvent utilisé pour faire référence exclusivement aux bases de données multidimensionnelles. En effet, le concept a été formalisé par le Dr Codd, sous la forme de douze règles, décrivant un modèle idéal d'analyse d'information. Il a été montré depuis qu'il a été possible de respecter ces règles indépendamment de la structure de stockage utilisée.

De plus en plus, le terme est souvent utilisé pour désigner plus généralement le décisionnel dans ses aspects techniques.

Option

Une option d'achat (vente) donne le droit à son détenteur le droit d'acheter (vendre) un actif pour un prix d'exercice spécifié à l'avance durant une période déterminée (date d'échéance).

Oscillateur

Un oscillateur peut se définir très grossièrement comme une dérivée des prix. Les données brutes des prix sont passées dans une formule plus ou moins complexe permettant d'obtenir une nouvelle série de données qui oscille autour d'un niveau précis.

Poste Client

Poste de travail Utilisateur : machine déportée qui supporte le dialogue interactif avec l'utilisateur ou les applications, mais aussi les outils de présentation, d'infocentre et de développement.

Potentiels

Ce sont tous les investisseurs qui s'intéressent au titre mais qui n'ont pas actuellement pris position. Ils peuvent avoir été longs ou courts sur le titre auparavant, mais ils ne le sont plus à présent. Ils peuvent aussi ne jamais avoir transigé sur le titre. L'important, c'est qu'ils suivent actuellement le titre en question.

Prix d'exercice

Il s'agit du prix pour exercer l'option, i.e. le prix auquel le détenteur de l'option d'achat (vente) peut acheter (vendre) le produit sous-jacent.

Prévisions

Informations relatives au développement de l'entreprise et fondant la plupart des évaluations réalisées par les analystes. Elles sont donc tout à fait clés pour leurs travaux mais également pour l'entreprise qui y procède de son côté. Cette dernière ne peut être tenue de communiquer ses propres données prospectives, ne serait-ce que pour des raisons de concurrence, mais peut par contre contribuer à réduire les écarts entre les deux séries en annonçant des objectifs (parts de marché, taux de marge, ratios de structure financière,...). La charte de communication financière publiée en 2003 a établi que les objectifs relèvent du domaine de l'entreprise et les prévisions de celui des analystes. Il est en effet au coeur du rôle de ces derniers de prendre le risque de choisir les hypothèses d'environnement les plus plausibles comme de se prononcer sur les chances de succès des initiatives propres des entreprises qu'ils suivent.

Pull-back

Retour temporaire des prix sur une droite qui vient d'être cassée.

Référentiel

Structure de stockage des méta-données. Un référentiel fédère ces méta-données, contrairement aux *catalogues*, qui sont en général spécifiques à chaque outil. On distingue le

"Data Warehouse Repository", fédérant les méta-données de la base décisionnelle, de l'"Enterprise Repository", qui inclue dans la théorie toutes les méta-données de l'entreprise, aussi bien transactionnelles que décisionnelles.

Relative Strength Index

Le RSI est un oscillateur borné entre 0% et 100% mesurant le momentum des prix.

Requête

Demande envoyée au gestionnaire de Base de Données serveur. Si celui-ci permet la gestion des données, le langage utilisé est le SQL. Dans un contexte d'infocentre, l'exécution des questions sur un serveur est le plus souvent interprété.

Réseau neuronal

Processus opaque permettant à partir de valeurs en entrée de découvrir une valeur en sortie. Les réseaux neuronaux sont constitués de neurones, aussi appelés noeuds, et d'interconnexions entre ces noeuds, liens permettant d'envoyer des signaux de neurone à neurone.

Un réseau de neurone a pour caractéristique de pouvoir apprendre et mettre à profit son expérience pour ajuster le modèle trouvé en fonction, par exemple, de l'arrivée de nouveaux éléments.

Résistance

Un niveau prix où il existe des forces de vente, actuelles ou potentielles, suffisantes en volume pour satisfaire tous les acheteurs et, par conséquent, empêcher les prix d'aller plus haut pour un certain temps.

Segmentation

Cf. classification

Serveur

Composant logiciel et/ou matériel assurant la disponibilité, la distribution, le service transactionnel de l'information. Il gère le partage, la sécurité et la cohérence de l'information. Il offre ses services à des Clients avec lesquels il communique par le Réseau.

Statistiques

Les techniques statistiques sont des techniques mathématiques permettant de recueillir et d'analyser des données.

SGBDR Système de Gestion de Base de Données Relationnelle

On dialogue avec le SGBDR grâce à des requêtes écrites en SQL, langage assez bien standardisé.

Les SGBDR (certains disent Serveur de bases de données) les plus avancés disposent de mécanismes de gestion des contraintes d'intégrité appelés les Triggers, et aussi de capacité de traitements liés aux données : les Procédures Stockées.

SIAD Système Interactif d'Aide à la Décision

Environnement permettant de stocker et de structurer l'information décisionnel. Ce terme est souvent utilisé pour identifier les bases de données multidimensionnelles. L'arrivée des concepts de Data Warehouse fait perdre de l'importance à ce terme, qui fait fortement référence à un type spécifique de technologie (et qui n'a pas d'équivalent en anglais).

SMP Symmetric Multi Processing

Architecture matérielle faisant collaborer plusieurs processeurs (quelques dizaines) sur une seule mémoire partagée.

SQL Structured Query Language

Langage de Requête Structuré. Le langage SQL est un standard défini par l'ANSI et l'ISO. Il est dérivé de l'algèbre relationnel et de SEQUEL (System R74). Il constitue aujourd'hui le plus petit commun dénominateur des langages du marché.

Support

Une zone où des forces d'achats, actuelles ou potentielles, sont suffisantes en volume pour interrompre la baisse des prix pendant une période appréciable.

Théorie des jeux

Théorie logico-mathématique inventée par J. von Neuman et O. Morgenstern (1944, Theory of game and economic behavior) et appliquée au domaine économique et stratégique. La théorie des jeux est basée sur les principes suivants : un ou plusieurs décideurs sont amenés à effectuer des choix stratégiques (comme dans un jeu de poker) en fonction de possibilités de gains et des réactions supposées des autres joueurs. La théorie des jeux consiste alors à formaliser les scénarios possibles en fonction des choix de chacun puis, à déterminer la meilleure stratégie pour un joueur. Les concepts essentiels de la théorie des jeux sont ceux de «jeu à somme nulle» ou de «jeu à somme non nulle», «l'utilité» et le «minimax».

Traders

Terme anglo-saxon recouvrant plusieurs fonctions selon les entreprises. Son acception la plus courante correspond au rôle d'un opérateur qui réalise des opérations d'échange sur le marché.

(trading) face à ses homologues des autres intermédiaires de marché. Les opérations sous-jacentes peuvent être réalisées pour compte propre de son entreprise ou pour compte de clients (exécutées par des collaborateurs différents). Dans le dernier cas les ordres lui sont transmis par les vendeurs en charge des clients avec qui le trader n'a pas de contacts directs. La qualité de la prestation d'un trader se mesure notamment au niveau de prix d'achat ou de vente qu'il obtient sur le marché pour les ordres qui lui sont confiés, ainsi qu'à sa capacité à

trouver le plus rapidement possible la contrepartie pour le volume de ces mêmes ordres, quelle que soit la taille du marché correspondant (recherche de liquidité).

Turnover

Fait référence au fait que le titre a changé de mains, i.e. que ce ne sont plus les mêmes investisseurs qui détiennent un titre. Par exemple, il y a turnover lorsqu'un investisseur vend ses actions à un autre investisseur.

Variable

Les données étudiées dans un Data Warehouse se décomposent en lignes et en colonnes. Chacune des colonnes représente une variable, une propriété des éléments considérés.

Vente à découvert

Vendre un titre que vous ne possédez pas. Un investisseur qui vend à découvert anticipe que le prix du titre va chuter. Éventuellement, il doit racheter le titre pour fermer sa position.

Visualisation (outil de)

Outil permettant de visualiser de manière graphique les relations entre les données.

Volume

Quantité d'actions ou de contrats transigés durant la période considérée (jour, semaine, mois, ...).

Zone de congestion

Bande horizontale dans laquelle les prix évoluent depuis un certain temps. En fait, les prix sont sans tendance et fluctuent dans une zone délimitée par un support et une résistance.

ANNEXES

ANNEXE 1

LES RESEAUX DE NEURONES ARTIFIELS ANN

1- Historique

- 1890 : W. JAMES, célèbre psychologue américain introduit le concept de mémoire associative, et propose ce qui deviendra une loi de fonctionnement pour l'apprentissage sur les réseaux de neurones connue plus tard sous le nom de loi de HEBB.
- 1943 : J. Mc CULLOCH et W. PITTS laissent leurs noms à une modélisation du neurone biologique (un neurone au comportement binaire). Ceux sont les premiers à montrer que des réseaux de neurones formels simples peuvent réaliser des fonctions logiques, arithmétiques et symboliques complexes (tout au moins au niveau théorique).
- 1949 : D. HEBB, physiologiste américain explique le conditionnement chez l'animal par les propriétés des neurones eux-mêmes. Ainsi, un conditionnement de type pavlovien tel que, nourrir tous les jours à la même heure un chien, entraîne chez cet animal la sécrétion de salive à cette heure précise même en l'absence de nourriture. La loi de modification des propriétés des connexions entre neurones qu'il propose explique en partie ce type de résultats expérimentaux.

2 - Les premiers succès

- 1957 : F. ROSENBLATT développe le modèle du Perceptron. Il construit le premier neuroordinateur basé sur ce modèle et l'applique au domaine de la reconnaissance de formes. Notons qu'à cet époque les moyens à sa disposition sont limités et c'est une prouesse technologique que de réussir à faire fonctionner correctement cette machine plus de quelques minutes.
- 1960 : B. WIDROW, un automaticien, développe le modèle ADALINE (Adaptative Linear Element). Dans sa structure, le modèle ressemble au Perceptron, cependant la loi d'apprentissage est différente. Celle-ci est à l'origine de l'algorithme de rétropropagation de gradient très utilisé aujourd'hui avec les Perceptrons multicouches. Les réseaux de type ADALINE restent utilisés de nos jours pour certaines applications particulières. B. WIDROW a créé dès cette époque une des premières firmes proposant neuro-ordinateurs et neuro composants, la "Memistor Corporation". Il est aujourd'hui le président de l'International Neural Network Society (INNS) sur laquelle nous reviendrons au chapitre Informations pratiques.
- 1969 : M. MINSKY et S. PAPERTE publient un ouvrage qui met en exergue les limitations théoriques du perceptron. Limitations alors connues, notamment concernant l'impossibilité de traiter par ce modèle des problèmes non linéaires. Ils étendent implicitement ces limitations à tous modèles de réseaux de neurones artificiels. Leur objectif est atteint, il y a abandon financier des recherches dans le domaine (surtout aux U.S.A.), les chercheurs se tournent principalement vers l'IA et les systèmes à bases de règles.

3- L'ombre

- 1967-1982 : Toutes les recherches ne sont, bien sûr, pas interrompues. Elles se poursuivent, mais déguisées, sous le couvert de divers domaines comme : le traitement adaptatif du signal, la reconnaissance de formes, la modélisation en neurobiologie, etc. De grands noms travaillent durant cette période tels : S. GROSSBERG, T. KOHONEN, dont nous reparlerons.

4 -Le renouveau

- 1982 : J. J. HOPFIELD est un physicien reconnu à qui l'on doit le renouveau d'intérêt pour les réseaux de neurones artificiels. A cela plusieurs raisons :

Au travers d'un article court, clair et bien écrit, il présente une théorie du fonctionnement et des possibilités des réseaux de neurones. Il faut remarquer la présentation anticonformiste de son article. Alors que les auteurs s'acharnent jusqu'alors à proposer une structure et une loi d'apprentissage, puis à étudier les propriétés émergentes ; J. J. HOPFIELD fixe préalablement le comportement à atteindre pour son modèle et construit à partir de là, la structure et la loi d'apprentissage correspondant au résultat escompté. Ce modèle est aujourd'hui encore très utilisé pour des problèmes d'optimisation.

D'autre part, entre les mains de ce physicien distingué, la théorie des réseaux de neurones devient respectable. Elle n'est plus l'apanage d'un certain nombre de psychologues et neurobiologistes hors du coup.

Enfin, une petite phrase, placée en commentaire dans son article initial, met en avant l'isomorphisme de son modèle avec le modèle d'Ising (modèle des verres de spins). Cette idée va drainer un flot de physiciens vers les réseaux de neurones artificiels.

Notons qu'à cette date, l'IA est l'objet d'une certaine désillusion, elle n'a pas répondu à toutes les attentes et s'est même heurtée à de sérieuses limitations. Aussi, bien que les limitations du Perceptron mise en avant par M. MINSKY ne soient pas levées par le modèle d'HOPFIELD, les recherches sont relancées.

5 -La levée des limitations

- 1983 : La Machine de BOLTZMANN est le premier modèle connu apte à traiter de manière satisfaisante les limitations recensées dans le cas du perceptron. Mais l'utilisation pratique s'avère difficile, la convergence de l'algorithme étant extrêmement longue (les temps de calcul sont considérables).

- 1985 : La rétropropagation de gradient apparaît. C'est un algorithme d'apprentissage adapté aux réseaux de neurones multicouches (aussi appelés Perceptrons multicouches). Sa découverte réalisée par trois groupes de chercheurs indépendants indique que "la chose était dans l'air". Dès cette découverte, nous avons la possibilité de réaliser une fonction non linéaire d'entrée/sortie sur un réseau en décomposant cette fonction en une suite d'étapes linéairement séparables. De nos jours, les réseaux multicouches et la rétropropagation de gradient reste le modèle le plus étudié et le plus productif au niveau des applications. Nous lui consacrons quelques chapitres.

6 -La situation actuelle

En France, elle est à l'image du congrès Neuro-Nîmes qui a pour thème les réseaux neuromimétiques et leurs applications. Créé en 1988, le chiffre de ses participants croit chaque année et reflète bien l'intérêt que le monde scientifique et industriel (50% des participants) porte au connexionnisme (fig. 1).

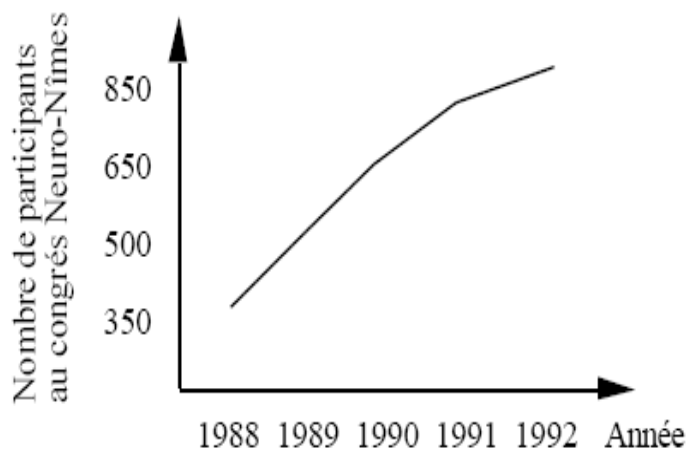


Figure 1. Illustration de l'accroissement d'intérêt pour les réseaux de neurones : évolution du nombre de participants au congrès Neuro-Nîmes. Dans le monde, et en particulier aux U.S.A., l'intérêt pour les réseaux de neurones a démarré plus tôt. Dès 1986, de 600 à 2000 visiteurs participent aux quelques grands congrès annuels.

Au niveau commercial, la figure 2 montre que plus de 200 compagnies sont aujourd'hui impliquées dans des développements d'applications connexionnistes.

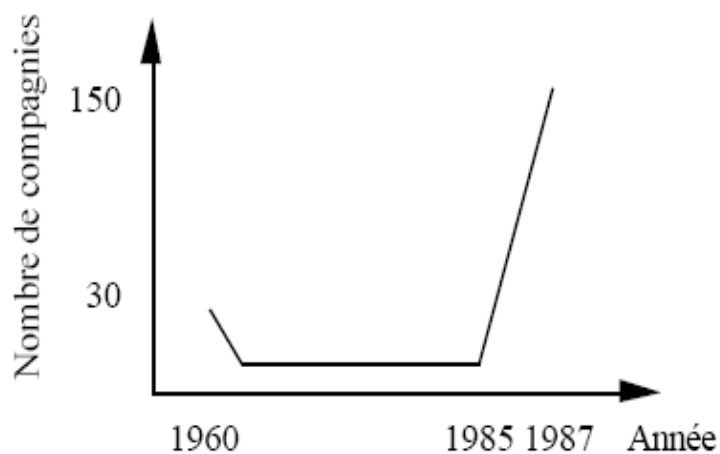


Figure 2. Evolution du nombre de compagnies proposant des produits connexionnistes (d'après DARPA 88)

Les prévisions du marché se chiffrent déjà en dizaines de millions de dollars. Il devrait dépasser les 100 millions de dollars dès 1992.

Un coup d'œil plus détaillé aux différentes parts de marché (fig. 3) montre une évolution vers la mise en place de puces spécialisées, le développement d'applications spécifiques ou standardisées et la réduction de la partie formation.

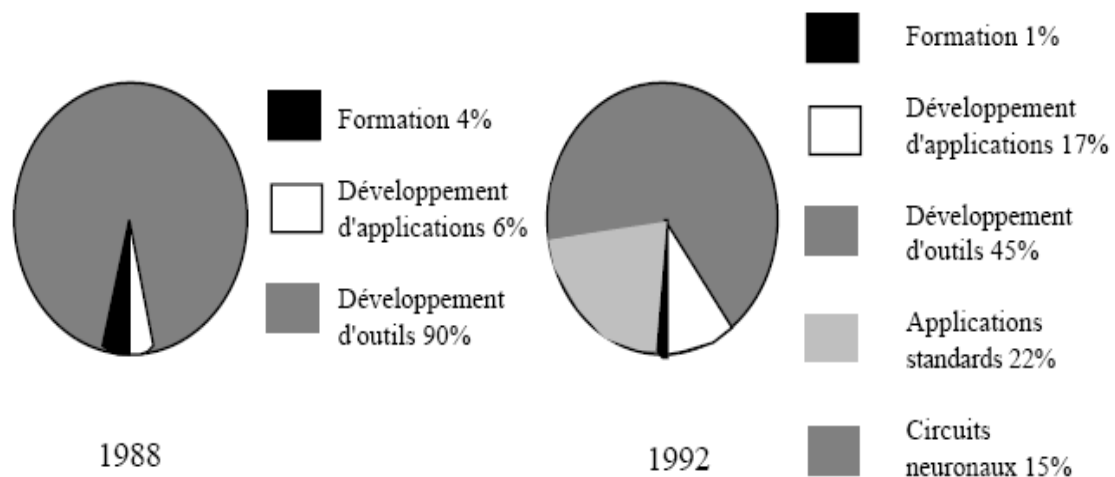


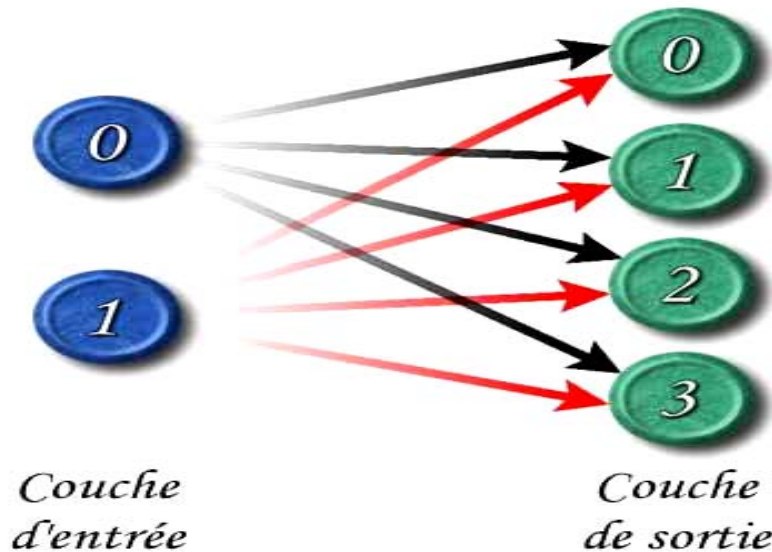
Figure 3. Evolution des différentes parts du marché connexionniste (d'après DARPA 88)

La réduction de la partie formation est le fait d'une théorie des réseaux de neurones de mieux en mieux comprise, plus facilement expliquée et appartenant de plus en plus souvent au bagage scientifique des jeunes universitaires et ingénieurs. Un enseignement spécifique réseaux de neurones artificiels a d'ailleurs débuté à l'UCSD (University of California at San Diego).

Aujourd'hui, les réseaux neuronaux sont utilisés dans de nombreux domaines (entre autres, vie artificielle et intelligence artificielle) à cause de leur propriété en particulier, leur capacité d'apprentissage, et qu'ils soient des systèmes dynamiques.

Les différentes formes de mémoires

Les mémoires hétéro-associatives sont composées de deux couches, une couche d'entrées et une couche de sortie. Les neurones d'entrées sont reliés à la couche de sortie par des synapses. Chaque synapse possède un poids (entre 0 et 1 ou entre -1 et 1). Ce poids permet de faire corrélérer ou non l'activation d'un neurone de la couche d'entrée avec un neurone de la couche de sortie.



Les deux couches d'une mémoire hétéro-associative linéaire

Les sorties sont proportionnelles à l'activation. Les mémoires de ce type suivront donc cette formule.

$$O_j = \gamma a_j = \gamma \left(\sum_i x_i w_{i,j} \right)$$

a_j : activation du jème neurone de sortie

o_j : intensité du jème neurone de sortie.

x_i : intensité du ième neurone d'entrée.

$w_{i,j}$: intensité du poids entre le ième neurone de la couche d'entrées et le jème neurone de la couche de sortie.

γ : est un coefficient linéaire

Nous aurons aussi les matrices suivantes :

$W = w_{i,j}$: la matrice des poids.

$X = x_{i,k}$: la matrice décrivant les K stimuli. la kème colonne représente le kème stimulus ou exemple. Nous admettrons que les vecteurs x_k sont normalisés.

$A = a_{j,k}$: Elle correspond à la matrice des activations des neurones de sorties (donc la valeur en entrée de ces neurones). Nous avons donc $A = W^T \cdot X$ $O = o_{j,k}$: matrice de l'intensité des neurones j pour les stimuli k. nous avons donc .

$T = t_{j,k}$; matrice des réponses théoriques des neurones de sorties. C'est la comparaison de la matrice O et la matrice T qui permettra l'apprentissage supervisé.

Le problème est donc de trouver une matrice W qui permettrait idéalement d'avoir :

$$T = O = \gamma \cdot W^T \cdot X$$

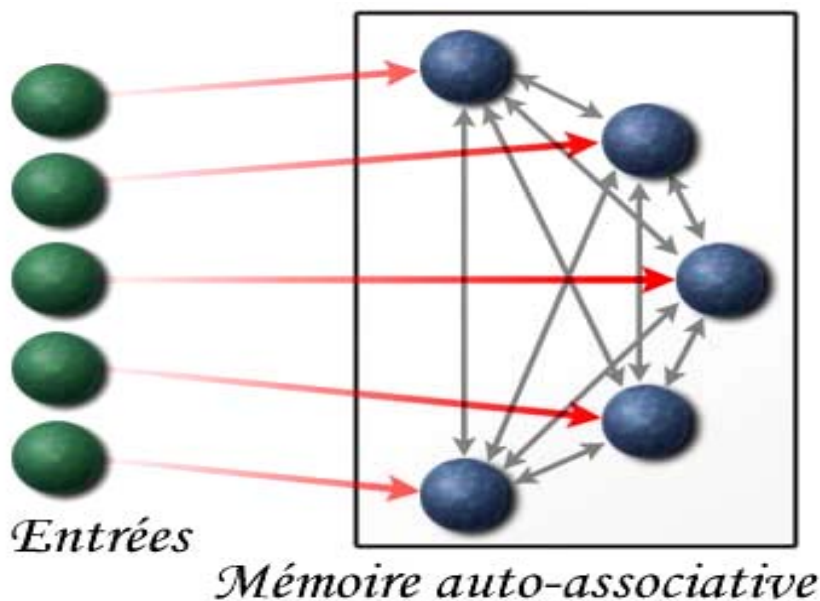
Voici quelques exemples de règles qui permettent d'approcher cette solution :

- la règle d'Hebb ;
- La règle du perceptron ;
- L'Adaline ou la règle de Widrow-Hoff.

En complément de ces mémoires hétéro-associatives, il existe les mémoires auto associatives.

Les mémoires auto-associatives linéaires

Une mémoire est auto-associative si chaque stimulus est associé à lui-même. Ce type de mémoire permet de retrouver une information seulement avec des entrées partielles (données incomplètes). A l'opposé de la mémoire classique d'un [ordinateur](#), l'information n'est pas accessible par une adresse, mais par un ensemble de connections.



Exemple d'une architecture d'une mémoire auto-associative linéaire

Les neurones d'entrées sont reliés au neurone de la mémoire, mais en plus chaque neurone de la mémoire est relié à tous les neurones de la mémoire. Rappelons que le poids de chaque synapse doit être fort, si les deux neurones s'activent sur le même stimulus (règle de HEBB).

Les mémoires auto-associatives non linéaires : les réseaux de HOPFIELD

L'architecture d'un réseau de HOPFIELD ressemble beaucoup à une architecture de mémoire auto-associative linéaire. Cependant, il a deux caractéristiques importantes :

- la réponse est binaire (1 ou -1) ;
- la réponse des neurones est asynchrone.

L'amnésie : le nombre d'exemple qu'un modèle de HOPFIELD est capable de mémoriser est environ 0.14 fois le nombre de neurones. Au delà, le réseau devient "amnésique" et oublie les précédents apprentissages.

ANNEXE 2

LES INDICATEURS STATISTIQUES DU MARCHÉ D' ACTIONS ÉGYPTIEN

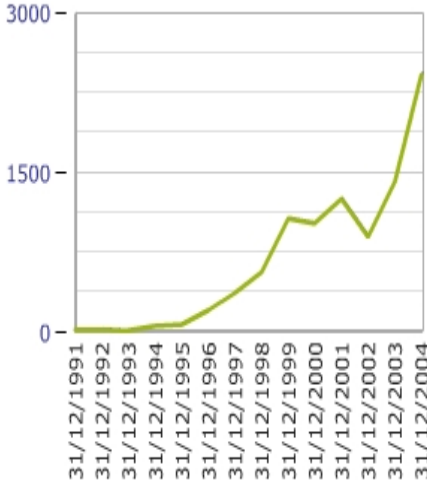
Statistical Indicators

| | |
|------------------------|--|
| Indicator Title | Annual trading volume of listed securities |
| Frequency | Yearly |
| Unit | Million |

Value

| Value Date | Value | Notes |
|------------|--------|-------|
| 31/12/2005 | 5311.2 | ..... |
| 31/12/2004 | 2434.6 | ..... |
| 31/12/2003 | 1421.5 | ..... |
| 31/12/2002 | 904.1 | ..... |
| 31/12/2001 | 1259.8 | ..... |
| 31/12/2000 | 1030.5 | ..... |
| 31/12/1999 | 1074.1 | ..... |
| 31/12/1998 | 570.8 | ..... |
| 31/12/1997 | 372.5 | ..... |
| 31/12/1996 | 207.8 | ..... |
| 31/12/1995 | 72.2 | ..... |
| 31/12/1994 | 59.8 | ..... |
| 31/12/1993 | 17.7 | ..... |
| 31/12/1992 | 29.6 | ..... |
| 31/12/1991 | 22.7 | ..... |

Graph (Bars) Close



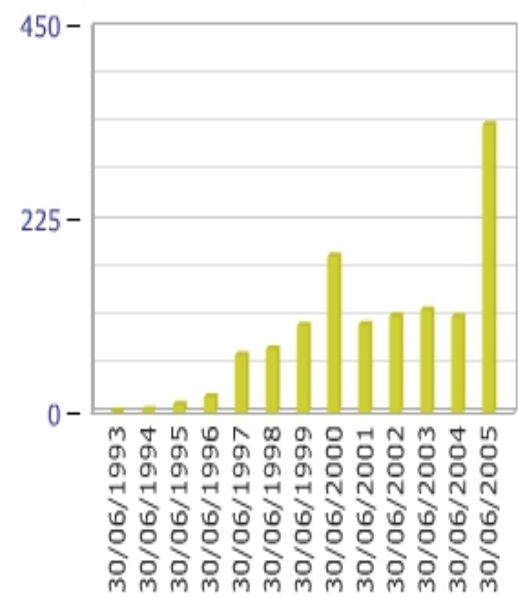
Statistical Indicators

| | |
|------------------------|--|
| Indicator Title | Daily average value of traded securities |
| Frequency | Fiscal Year |
| Unit | L.E Million |

Value

| Value Date | Value | Notes |
|------------|-------|-------|
| 30/06/2005 | 334.8 | ..... |
| 30/06/2004 | 111.6 | ..... |
| 30/06/2003 | 119.3 | ..... |
| 30/06/2002 | 112.1 | ..... |
| 30/06/2001 | 102.4 | ..... |
| 30/06/2000 | 181.8 | ..... |
| 30/06/1999 | 101.2 | ..... |
| 30/06/1998 | 74.1 | ..... |
| 30/06/1997 | 67.2 | ..... |
| 30/06/1996 | 18.2 | ..... |
| 30/06/1995 | 9.3 | ..... |
| 30/06/1994 | 2.8 | ..... |
| 30/06/1993 | 1.2 | ..... |

Graph (Line) Close



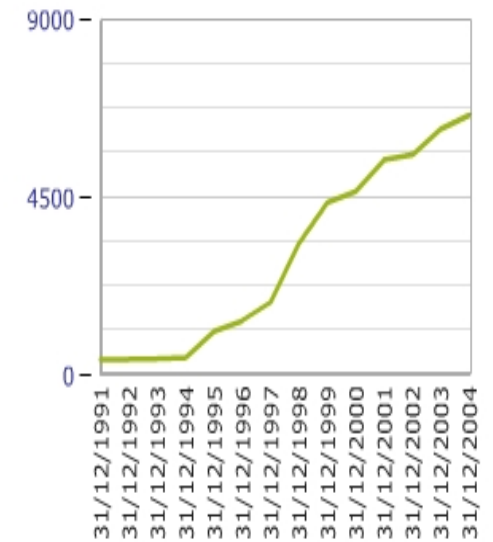
Statistical Indicators

| | |
|------------------------|---|
| Indicator Title | Number of listed shares in the stock exchange |
| Frequency | Yearly |
| Unit | Million |

Value

| Value Date | Value | Notes |
|------------|--------|-------|
| 31/12/2005 | 9315.7 | ..... |
| 31/12/2004 | 6601.7 | ..... |
| 31/12/2003 | 6258 | ..... |
| 31/12/2002 | 5605.7 | ..... |
| 31/12/2001 | 5473.2 | ..... |
| 31/12/2000 | 4672.8 | ..... |
| 31/12/1999 | 4393 | ..... |
| 31/12/1998 | 3354 | ..... |
| 31/12/1997 | 1854.2 | ..... |
| 31/12/1996 | 1387.9 | ..... |
| 31/12/1995 | 1116.7 | ..... |
| 31/12/1994 | 451 | ..... |
| 31/12/1993 | 424 | ..... |
| 31/12/1992 | 405.7 | ..... |
| 31/12/1991 | 394.1 | ..... |

Graph (Bars) Close



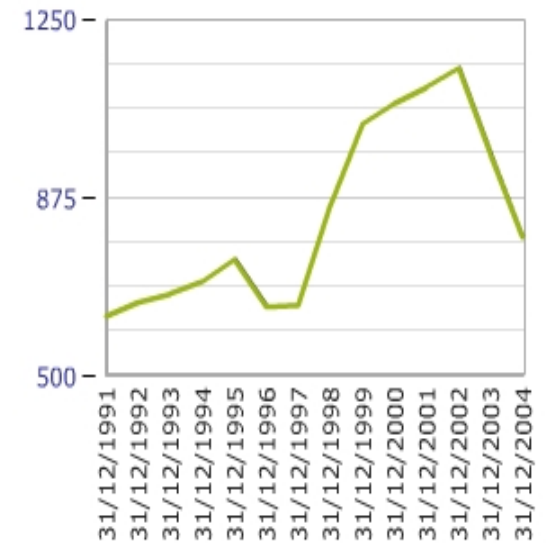
Statistical Indicators

| | |
|------------------------|--|
| Indicator Title | Number of listed companies in the stock exchange |
| Frequency | Yearly |
| Unit | Company |

Value

| Value Date | Value | Notes |
|------------|-------|-------|
| 31/12/2005 | 744 | ..... |
| 31/12/2004 | 792 | ..... |
| 31/12/2003 | 967 | ..... |
| 31/12/2002 | 1150 | ..... |
| 31/12/2001 | 1110 | ..... |
| 31/12/2000 | 1076 | ..... |
| 31/12/1999 | 1033 | ..... |
| 31/12/1998 | 861 | ..... |
| 31/12/1997 | 650 | ..... |
| 31/12/1996 | 646 | ..... |
| 31/12/1995 | 746 | ..... |
| 31/12/1994 | 700 | ..... |
| 31/12/1993 | 674 | ..... |
| 31/12/1992 | 656 | ..... |
| 31/12/1991 | 627 | ..... |

[Graph \(Bars\)](#) [Close](#)



ANNEXE 3

L'HISTOIRE DE LA BOURSE ÉGYPTIENNE (CASE)

Cairo Bourse on Cherifein Street with Egyptian State Broadcasting Bldg in background







The Pit (1953)



سوق الأوراق المالية بالقاهرة

نشرة الأسبوع لـ ١٤١٠ هـ / ١٩١٨ م

| اسم السهم | عدد الأسهم | السعر | ملاحظات |
|-----------|------------|-------|---------|
| بنك مصر | 1000 | 100 | |
| بنك مصر | 2000 | 100 | |
| بنك مصر | 3000 | 100 | |
| بنك مصر | 4000 | 100 | |
| بنك مصر | 5000 | 100 | |
| بنك مصر | 6000 | 100 | |
| بنك مصر | 7000 | 100 | |
| بنك مصر | 8000 | 100 | |
| بنك مصر | 9000 | 100 | |
| بنك مصر | 10000 | 100 | |
| بنك مصر | 11000 | 100 | |
| بنك مصر | 12000 | 100 | |
| بنك مصر | 13000 | 100 | |
| بنك مصر | 14000 | 100 | |
| بنك مصر | 15000 | 100 | |
| بنك مصر | 16000 | 100 | |
| بنك مصر | 17000 | 100 | |
| بنك مصر | 18000 | 100 | |
| بنك مصر | 19000 | 100 | |
| بنك مصر | 20000 | 100 | |
| بنك مصر | 21000 | 100 | |
| بنك مصر | 22000 | 100 | |
| بنك مصر | 23000 | 100 | |
| بنك مصر | 24000 | 100 | |
| بنك مصر | 25000 | 100 | |
| بنك مصر | 26000 | 100 | |
| بنك مصر | 27000 | 100 | |
| بنك مصر | 28000 | 100 | |
| بنك مصر | 29000 | 100 | |
| بنك مصر | 30000 | 100 | |
| بنك مصر | 31000 | 100 | |
| بنك مصر | 32000 | 100 | |
| بنك مصر | 33000 | 100 | |
| بنك مصر | 34000 | 100 | |
| بنك مصر | 35000 | 100 | |
| بنك مصر | 36000 | 100 | |
| بنك مصر | 37000 | 100 | |
| بنك مصر | 38000 | 100 | |
| بنك مصر | 39000 | 100 | |
| بنك مصر | 40000 | 100 | |
| بنك مصر | 41000 | 100 | |
| بنك مصر | 42000 | 100 | |
| بنك مصر | 43000 | 100 | |
| بنك مصر | 44000 | 100 | |
| بنك مصر | 45000 | 100 | |
| بنك مصر | 46000 | 100 | |
| بنك مصر | 47000 | 100 | |
| بنك مصر | 48000 | 100 | |
| بنك مصر | 49000 | 100 | |
| بنك مصر | 50000 | 100 | |

The Bourse pre 1928 meeting on Maghraby Street site of present-day Groppi.



1903 - 1953

LES BOURSES DES VALEURS D'EGYPTE
LEUR HISTOIRE et LEUR ORGANISATION

par

Samuel Emile Levy

Président de la Commission de la Bourse des Valeurs du Caire

et par

Henri Schindler, Le Caire, 1953

Edited by Samir Raafat 1997

Cette plaquette, rédigée à l'occasion du cinquantième des Bourses des Valeurs d'Egypte, je le dédie pieusement à la mémoire de leurs morts, chers, devanciers : fondateurs, membres des commissions, professionnels de tous rangs.

S. Emile Levy

LA BOURSE EN GÉNÉRAL

La Bourse est un lieu où acheteurs et vendeurs se rencontrent à certaines heures de la journée.

A la Bourse des Valeurs se négocient les Obligations et les Actions.

L'Obligation est un titre de créance sur l'Etat ou sur une Société. Ce titre donne un intérêt fixe.

L'Action est une part d'associé dans une Société Anonyme. Celui qui possède les actions de la Société Foncière de Wadi Kom-Ombo, par exemple, est un co-proprétaire de cette Société. Il est propriétaire de la part proportionnelle que représente le nombre de ses actions dans tout ce que renferme la Société : terrains, installations, pompes, instruments aratoires, habitations ouvrières, fonds en banque. Il participe annuellement à ses bénéfices en encaissant un dividende.

Son risque ne dépasse pas la somme qu'il a engagée dans l'achat de ses actions.

L'intérêt des obligations et le dividende des actions sont payés par la Société contre présentation d'un coupon que l'on détache du titre. Moyennant une commission minimale, les Banques et les Agents de Change se chargent de l'encaissement des coupons.

Aux Bourses des Valeurs du Caire et d'Alexandrie, on traite les Obligations de l'Etat Egyptien et les Obligations et Actions des Sociétés Egyptiennes. Ces Sociétés sont de toutes sortes : bancaires, foncières, immobilières, hôtelières, de services publics, de transport, industrielles, commerciales.

Le principal avantage que présente la possession de valeurs mobilières, c'est leur négociabilité, c'est-à-dire la possibilité de les convertir en monnaie sitôt qu'on le désire. A

la Bourse, un paquet d'actions ou d'obligations peut être liquide dans le même laps de temps qu'il faut pour retirer ses fonds de la Banque.

Le capitaliste qui a acquis des valeurs mobilières peut l'avoir fait dans l'intention de les léguer à ses enfants ou ses petits-enfants. Mais la certitude que la revente de ses titres ne demandera que quelques minutes de son temps, l'a sans doute décidé, plus que tout autre motif, à faire son acquisition.

Par la Bourse des Valeurs, le capitaliste réalise un double objectif :

- 1) il place ses fonds dans des valeurs dont il espère qu'elles lui procureront une rente ou un gain de capital, ou les deux à la fois.
- 2) il aide le pays à développer ses sources de richesse: agriculture, industrie et commerce.

UN PEU D'HISTOIRE

Les Bourses des Valeurs du Caire et d'Alexandrie célèbrent leur cinquantenaire en 1953.

Il y a cinquante ans en effet que ces marchés fonctionnent sous l'égide et le contrôle des Autorités.

Mais les opérations de Bourse en Egypte remontent à un passé plus lointain.

La fonction crée l'organe. Aussitôt que se forment les premières Sociétés Anonymes, quelques 25 ou 30 ans avant la fin du 19ème siècle, des hommes d'affaires se réunissent assez souvent à Alexandrie et au Caire pour acheter et vendre des valeurs mobilières, des contrats de coton, voire des lots de terrains à bâtir.

Les opérations se concluent dans les cafés ou simplement dans la rue.

L'épargne étant insignifiante, l'audience est plus curieuse qu'intéressée.

Plus tard, la restauration des finances de l'Etat et des réformes de structure dans l'administration du pays, provoquent un renouveau général. Les capitalistes d'Europe s'intéressent à l'Egypte. Les fonds s'affluent de partout.

A Alexandrie, dès le transfert en 1883 de la Bourse des contrats, de la Rue Borsa El Kadima à la Place Mohamed Ali, des opérations en valeurs se traitent dans le nouvel hôtel.

Au Caire, en 1890, quelques courtiers se groupent et louent un local. La première Bourse de la Capitale siège derrière le Jardin de l'Ezbekieh, à proximité des actuels Magasins Sednaoui (Place Khazindar).

Les affaires vont peu régulières. Les intermédiaires sans surface. Le groupement est vite dissous.

En 1898, on essaye à nouveau de constituer un marché organisé. L'hôtel Continental-Savoy, place de l'Opera, est choisi dans ce but. La méfiance du public fait échouer l'entreprise.

Le centre des affaires se fixe alors au Café New Bar. On y négocie à la fois le coton et les valeurs. L'unique téléphone du lieu doit suffire à tous les professionnels.

Cependant le nombre des Sociétés Anonymes augmente, les échanges se font plus nombreux. En 1900, on compte déjà 79 Sociétés au capital déclaré de 29 millions de livres.

En 1903, le développement économique de l'Égypte prend de l'ampleur. La nécessité d'un marché officiel pour les seules valeurs devient impérieuse. La Banque Nationale d'Égypte intervient. Son appui permet de loger la Bourse du Caire dans un local digne d'elle -- le bâtiment de la Rue El Magraby (Adly Pasha), aujourd'hui occupé par Groppi -- et amène le Gouvernement à élaborer une réglementation générale. Une Commission internationale est formée à cette fin.

En 1907, les Sociétés Anonymes sont au nombre de 228, leurs capitaux atteignent 91 millions de livres. Les intermédiaires passent de 22 à 73. Le local d'El Maghraby devient trop exigu.

La Corporation des Agents de Change fait construire par l'entremise des architectes Maurice Cattai et Ernest Jaspar et occupe l'immeuble où se trouve de nos jours la Branche de Soliman Pacha de la Banque Nationale (Aujourd'hui la National Bank for Development, Sharia al-Boursa El Guédida en face de la Maison de France - Consulat Français).

Mais la montée est trop rapide, l'épargne trop jeune pour demeurer prudente. C'est le krach de 1907. (Alfred Nahman nommé liquidateur de la Bourse and Banking Company of Egypt Limited).

La Bourse n'en est pas encore remise lorsque paraissent les premiers Règlements de 1910 et que survient la Guerre de 1914 avec son moratoire.

En 1917, le Marché des Valeurs, modestement installé dans une aile de son ancienne propriété de la Rue El Boursa El Guédida reprend doucement son activité.

Depuis 1928 la Bourse des Valeurs du Caire tient ses assises dans sa présente demeure de la Rue el Cherifein, spécialement conçue et aménagée par l'architecte George Parc pour sa Corbeille et ses services administratifs.

Les Règlements Généraux et Intérieurs des Bourses des Valeurs d'Égypte, entièrement refondus, sont mis en vigueur respectivement en 1933 et 1940.

En effet, les nouveaux lieux de la Bourse sont situés sur toute petite partie de ce qui fut le Palais du grand banquier Moïse de Cattai Pacha--oncle de l'architecte et chef de la communauté Juive du Caire et président de la colonie Austro-hongroise en Égypte. Voilà même que la rue longeant la Bourse s'appelle désormais Rue Moïse Cattai Pacha.

Ils continuent de régir nos marchés à cette heure (1953).

ORGANISATION DES BOURSES DES VALEURS DU CAIRE ET D'ALEXANDRIE

Chacune des Bourses des Valeurs d’Egypte est gouvernée par une commission de 12 membres, dont 8 Agents de Change et Banquiers, les uns et les autres élus par leurs pairs.

La Commission désigne annuellement son Bureau: Président, Vice-président et Secrétaire Trésorier.

Un Commissaire du Gouvernement siège dans chaque Commission pour s’assurer que la loi et les Règlements sont observés.

Les Agents de Change sont les membres actifs de la Bourse.

Les Banques et les Banquiers en sont les membres adhérents.

Les Agents de Change sont assistés de Commis Principaux chargés d’exécuter les ordres directs de la Maison et de Remisiers qui ont des clients personnels et opèrent pour eux.

L’admission à la Bourse des Agents de Change, des Commis Principaux et des Remisiers est soumise à des conditions définies. Quant aux Agents de Change, ces conditions concernent :

- l’honorabilité le candidat Agent de Change doit être présenté par deux répondants, membres actifs de la Bourse et n’avoir jamais été failli ou condamné pour délits ;
- la solvabilité il doit disposer d’un Capital minimum de L.E. 7,500 dont l’existence sera constante et attestée par les Censeurs de la Bourse à la suite de vérifications périodiques ;
- la compétence il doit subir un examen d’aptitudes professionnelles.

Les Bourses des Valeurs d’Egypte comptent en 1953, 36 Agents de Change inscrits formant 21 Maisons distinctes au Caire et 40 Agents inscrits formant 26 Maisons à Alexandrie.

Outre l’admission des membres et la discipline, la Commission de la Bourse a pour attribution de décider l’inscription des titres des Sociétés à la Cote Officielle et au marché “Hors-cote Officielle”, selon leur ancienneté ou leur classe.

Pour être inscrite à une des deux Cotes, une Société doit justifier d’un Capital d’une certaine importance. Elle doit également prouver par ses bilans ou autrement, que ses titres sont dignes d’entrer dans l’épargne.

Il existe à l’heure actuelle 211 Sociétés inscrites sur les 650 Sociétés Anonymes Egyptiennes, légalement constituées.

En 1953, le Capital que représente à la Bourse l’ensemble des valeurs inscrites aux Cotes s’élève à 340 Millions environ.

Lorsqu’un client achète, il achète d’un autre client. Lorsqu’un client vend, il vend à un autre client. La Bourse elle-même n’achète ni ne vend. La Bourse est un simple marché où s’exécutent les achats et les ventes.

Auprès de chaque Agent de Change on obtient :

- a) tout les renseignements officiels concernant les Sociétés ;
- b) communications par téléphone des cours au fur et à mesure de leurs évolutions ;
- c) exécution des ordres.

A cet effet, les Agents de Change mettent à la disposition de leurs clients leurs archives, leur expérience et les services d'un personnel courtois et dévoué.

La hausse ou la baisse à la Bourse est un phénomène courant. Il ne procède d'aucun mystère. Pourtant, objectera-t-on, la Société dont les titre ont fluctué ce matin sur la Cote n'a soudain pu connaître depuis hier un changement soudain dans la cours de ses affaires, vers la prospérité ou la ruine ! Alors pourquoi la hausse ou la baisse ? Tout simplement parce qu'il y a eu plus d'acheteurs que de vendeurs ou inversement, plus de vendeurs que d'acheteurs. La pression des achats - plus nombreux que les ventes - provoquent la hausse comme la pression des ventes provoque la baisse. C'est la loi de l'offre et de la demande.

D'ailleurs, les fluctuations de prix ne son pas particuliers aux valeurs mobilières. Tout autre bien, que ce soit un immeuble, un terrain ou un bijou, y est sujet. Si vous ne connaissez pas jour par jour le prix de votre terrain, comme vous connaissez jour pour jour le prix de vos actions, ce n'est pas une raison pour croire que le prix de votre terrain n'a pas varié depuis l'année dernière ou même depuis le mois dernier.

Chez l'Agent de Change, le petit épargnant trouve aussi bon accueil que le grand capitaliste. L'achat d'une obligation du Crédit Foncier Egyptien peu être demandé qui aura les même soins qu'un achat ou une vente de 1,000 actions de la Banque Misr, de 500 actions de la Banque Nationale d'Egypte ou de LE 10,000 - de Fonds d'Etat.

En dehors des facilités que trouve l'épargne dans les bureaux des Agents de Change, il y a tout un mécanisme qui fonctionne à son intention à la Bourse pour grouper et mettre à jour tous les renseignements relatifs aux Sociétés inscrites et assurer la plus complète publicité des cours.

Cette publicité se fait par la criée, l'inscription immédiate au Tableau, l'annonce à la radio et l'insertion dans les journaux spécialisés et les quotidiens.

Le tarif des commissions ou courtages fixé au Règlement Intérieur est des plus modérés n'ayant presque pas été modifié depuis la fondation de la Bourse.

Il varie avec le prix de chaque valeur. Pour les fonds d'Etat, il est de 1.5 per mill.

La Bourse a pour principal objet de faciliter les placements de fonds pour la rente. Il s'y effectue aussi des opérations de spéculation. Un préjugé tenace dans le public confond la spéculation avec le jeu, l'agiotage. C'est là une erreur.

A la différence du capitaliste prudent dit père de famille, qui n'investit ses capitaux que dans les fonds d'Etat ou les anciennes entreprises, la spéculation recherche l'affaire à lancer d'ou il résultera plutôt qu'un rendement ou un intérêt, un gain ou une perte de

capital. Elle prend un risque, c'est incontestable. Mais sans elle il n'y aura pas de nouvelles entreprises. C'est elle seule qui finance l'exploitation des découvertes, des procédés inédits de fabrication, des nouveaux modes de transport et de communications, de toutes entreprises dont le succès ne peut être assuré, dans les débuts tout au moins.

Le Chemin de Fer, le Téléphone, la TSF, l'Aviation, tous ce qui fait l'orgueil de notre civilisation, sont l'oeuvre de spéculateurs. Spéculer c'est prévoir, dit-on. Cela est exact. La spéculation implique étude, calcul, réflexion, prévision.

On doit reconnaître que par sa volonté de risquer une perte dans l'espoir d'un profit, le spéculateur a prodigieusement élargi les frontières de l'industrie humaine.

Au reste, cette notion de risquer est toute de nuances et de degrés. Parmi les risques, la spéculation assume les plus grands, cela va de soi. Mais il y a risque dans toute initiative, toute manifestation de notre activité.

BOURSE DES VALEURS DU CAIRE (1953)

Commission Dirigeante

Président : Mr. Samuel Emile Levy

Vice-Président : Mr. Jean Athanassiadis

Secrétaire-Trésorier : Mr. Joseph Savidie

Conseillers:

Banque Belge (Mr. Emanuel Bonvoisin)

Banque Misr (Mr. A. Ahmed al-Souefi)

Banque Ottoman (Mr. R. Johnston)

Barclays Bank (Mr. Kenneth Stuart Bailey)

Charles Shokair

Edmond I. Jabes (famous Poet)

Edouard H. Forte

Moise Naggar

Vitali Saporta

Commissaire du Gouvernement: Mr. George Henein (author)

Banques Banques (membres adhérentes)

Banque Belge & Internationale

Banque de Commerce (N. Tépéghiosi & Co.)

Banque Misr

Banque Mosseri

Banque Nationale de Grece

Banque Ottomane

Banque Zilcha

Banques d'Athènes

Barclays Bank

Comptoir d'Escompte de Paris

Crédit d'Orient

Crédit Lyonnais

Joseph Nessim Mosseri Figli & Co.

National Bank of Egypt

BOURSE DES VALEURS D'ALEXANDRIE (1953)

Commission Dirigeante

Président : Mr. Costi Souaya (Old Victorian)

Vice-Président : Mr. Robert Ghebali

Secrétaire-Trésorier: Mr. Raymond Errera

Conseillers

Banque Nationale de Grece et d'Athenes (Mr. Hafez Shehayeb)

Banque Misr (Mr. Ahmed Raouf)

Barclays Bank (Mr. T.W.A. Lovell)

Comptoir National d'Éscompte de Paris (Mr. Henri Mathieu)

Gaston Naggar

Hassan Haggag

Jean N. Frankiskos

Raymond Franco

Théodore Antoine Ralli

Commissaire du Gouvernement : Mr. Hassan al-Mawardi

Commissaire-Adjoint du Gouvernement : Mr. Hassan Tewfik

Banques (membres adhérentes)

Banque Belge & Internationale

Banque de Commerce (N. Tépéghiosi & Co.)

Banque Misr

Banque Nationale de Grece et d'Athenes

Banque Ottomane

Banque Zilkha

Barclays Bank

Commercial Bank of Egypt

Commercial Bank of the Near East

Comptoir National d'Éscompte de Paris

Crédit Lyonnais

Import Export Bank of Egypt

Ionian Bank

National Bank of Egypt

Agents de Change (membres Actifs)

CAIRE

Agami, Aslan Levi & Co.

Algazi Raphael. & Co.

Arazi, J.S.

Athanassiadis J. & Co.

Bivas, Daniel & Co.

Caraly, Joseph W.

Cohen, Rene M.

Filus, Edouard & Alfred

Forti, Hector
Levy, Samuel Emile & Co.
Menashe, Jacques M.
Mendoza, Emmanuel & Toby
Mortera, G.L.
Naggar, Elie & Freres
Negrine, Salomon J.
Perez, J.H. & Co.
Salvago, Jean P. & Co.
Saporta, V. & Co.
Savidié, Joseph
Setton, Joseph & Co.
Shoukair, Charles

ALEXANDRIE

Agami, Aslan LeviFils & Co.
Beressi, Victor
Caramano, Constantin S. & Co.
Chimchilachvilli, M.
Costalas, Jean Co. & Co.
Errera, Raymond
Franco, Raymond & Co.
Frankiskos, Jean & Co.
Ghebali, Robert
Haggag, Hassan & Co.
Iokim, A.
Levy, Samuel Emile & Co.
Loulis, N.J. & Co.
Mortera, G.L.
Naggar, Albert & Joseph
Naggar, Gaston
Negrine, Salomon J.
Perez, J.H. & Co.
Piha, Gaston
Ralli, Théodore Antoine & Co
Salvago, Jean P. & Co.
Souaya, Michel E. & Co.
Tasso, Henri Ibrahim
Yazgi, Jean, & Co.

SOME FORMER PRESIDENTS OF THE CAIRO STOCK EXCHANGE:

Aldo Mortera (President twice, later honorary president)
Joseph Haim Perez 1929-25
Elie Naggar 1947-4?
Samuel Emile Levy 1948-58
Edouard H. Forti 1959

Bourse nationalized in 1961

ANNEXE 4

TABLEAUX DES PRÉVISIONS PAR LA MÉTHODE ARIMA POUR L'INDICE DE MARCHÉ ÉGYPTIEN

| <i>Période</i> | <i>Donnée</i> | <i>Prévision</i> | <i>Résidu</i> |
|----------------|---------------|------------------|---------------|
| 1,0 | 100,0 | | |
| 2,0 | 99,9685 | 100,131 | -0,162327 |
| 3,0 | 100,064 | 100,055 | 0,00889698 |
| 4,0 | 100,032 | 100,198 | -0,165589 |
| 5,0 | 99,8978 | 100,119 | -0,220841 |
| 6,0 | 100,106 | 99,9452 | 0,161226 |
| 7,0 | 100,246 | 100,283 | -0,0374488 |
| 8,0 | 100,259 | 100,397 | -0,13847 |
| 9,0 | 100,38 | 100,361 | 0,0184672 |
| 10,0 | 100,581 | 100,524 | 0,0566084 |
| 11,0 | 100,698 | 100,755 | -0,056263 |
| 12,0 | 100,691 | 100,841 | -0,150131 |
| 13,0 | 100,56 | 100,786 | -0,226312 |
| 14,0 | 100,689 | 100,609 | 0,0797652 |
| 15,0 | 100,437 | 100,835 | -0,398275 |
| 16,0 | 100,446 | 100,44 | 0,00554598 |
| 17,0 | 101,16 | 100,547 | 0,612603 |
| 18,0 | 100,981 | 101,528 | -0,547203 |
| 19,0 | 101,092 | 101,011 | 0,0801824 |
| 20,0 | 101,1 | 101,232 | -0,131448 |
| 21,0 | 101,838 | 101,202 | 0,636741 |
| 22,0 | 102,31 | 102,216 | 0,0944889 |
| 23,0 | 102,352 | 102,586 | -0,234187 |
| 24,0 | 102,557 | 102,466 | 0,0903043 |
| 25,0 | 103,942 | 102,732 | 1,2096 |
| 26,0 | 103,145 | 104,564 | -1,41851 |
| 27,0 | 103,847 | 102,942 | 0,904642 |
| 28,0 | 103,92 | 104,21 | -0,290216 |
| 29,0 | 104,566 | 104,046 | 0,520526 |
| 30,0 | 104,795 | 104,909 | -0,114315 |
| 31,0 | 104,933 | 104,979 | -0,0459566 |
| 32,0 | 104,979 | 105,084 | -0,104755 |
| 33,0 | 104,802 | 105,094 | -0,292119 |
| 34,0 | 104,802 | 104,834 | -0,0314625 |
| 35,0 | 104,568 | 104,901 | -0,332208 |
| 36,0 | 104,879 | 104,578 | 0,301232 |
| 37,0 | 105,019 | 105,095 | -0,0761509 |
| 38,0 | 105,168 | 105,17 | -0,00167026 |
| 39,0 | 105,233 | 105,323 | -0,0901364 |
| 40,0 | 105,277 | 105,355 | -0,0784862 |
| 41,0 | 105,472 | 105,392 | 0,079824 |
| 42,0 | 106,28 | 105,643 | 0,636605 |
| 43,0 | 106,263 | 106,684 | -0,420843 |
| 44,0 | 106,23 | 106,355 | -0,125045 |
| 45,0 | 106,206 | 106,315 | -0,109523 |
| 46,0 | 106,254 | 106,295 | -0,0412754 |
| 47,0 | 106,223 | 106,37 | -0,147012 |
| 48,0 | 106,182 | 106,309 | -0,127205 |
| 49,0 | 106,281 | 106,265 | 0,0162363 |
| 50,0 | 106,272 | 106,417 | -0,145363 |
| 51,0 | 106,263 | 106,366 | -0,103642 |

| | | | | |
|-------|---------|---------|-------------|--|
| 52,0 | 106,308 | 106,357 | -0,0496691 | |
| 53,0 | 106,287 | 106,423 | -0,136154 | |
| 54,0 | 106,487 | 106,377 | 0,109891 | |
| 55,0 | 106,508 | 106,661 | -0,152774 | |
| 56,0 | 106,463 | 106,614 | -0,151283 | |
| 57,0 | 106,232 | 106,544 | -0,312563 | |
| 58,0 | 106,057 | 106,242 | -0,184951 | |
| 59,0 | 106,123 | 106,09 | 0,0332304 | |
| 60,0 | 106,304 | 106,246 | 0,057798 | |
| 61,0 | 106,4 | 106,47 | -0,0701418 | |
| 62,0 | 106,511 | 106,535 | -0,0236428 | |
| 63,0 | 106,499 | 106,651 | -0,152661 | |
| 64,0 | 106,544 | 106,592 | -0,0478841 | |
| 65,0 | 106,602 | 106,66 | -0,057843 | |
| 66,0 | 106,61 | 106,722 | -0,111878 | |
| 67,0 | 106,7 | 106,711 | -0,0116698 | |
| 68,0 | 106,818 | 106,832 | -0,0134728 | |
| 69,0 | 107,228 | 106,961 | 0,266367 | |
| 70,0 | 107,158 | 107,48 | -0,322941 | |
| 71,0 | 107,187 | 107,229 | -0,0427519 | |
| 72,0 | 107,43 | 107,296 | 0,134431 | |
| 73,0 | 107,456 | 107,62 | -0,164877 | |
| 74,0 | 107,489 | 107,563 | -0,0740084 | |
| 75,0 | 106,74 | 107,6 | -0,860783 | |
| 76,0 | 107,559 | 106,554 | 1,00478 | |
| 77,0 | 107,578 | 107,967 | -0,389576 | |
| 78,0 | 107,703 | 107,683 | 0,0206373 | |
| 79,0 | 107,668 | 107,849 | -0,180655 | |
| 80,0 | 107,75 | 107,753 | -0,00301799 | |
| 81,0 | 107,859 | 107,88 | -0,0206003 | |
| 82,0 | 108,002 | 107,998 | 0,00384619 | |
| 83,0 | 109,236 | 108,154 | 1,08161 | |
| 84,0 | 103,258 | 109,801 | -6,54276 | |
| 85,0 | 103,336 | 101,097 | 2,23915 | |
| 86,0 | 104,019 | 103,463 | 0,555549 | |
| 87,0 | 104,57 | 104,375 | 0,194876 | |
| 88,0 | 104,762 | 104,877 | -0,115272 | |
| 89,0 | 104,863 | 104,932 | -0,0687103 | |
| 90,0 | 104,863 | 105,0 | -0,136684 | |
| 91,0 | 105,449 | 104,962 | 0,487792 | |
| 92,0 | 105,651 | 105,769 | -0,117887 | |
| 93,0 | 106,348 | 105,826 | 0,522421 | |
| 94,0 | 106,561 | 106,71 | -0,148802 | |
| 95,0 | 106,748 | 106,739 | 0,0085638 | |
| 96,0 | 107,128 | 106,917 | 0,211339 | |
| 97,0 | 107,503 | 107,37 | 0,133057 | |
| 98,0 | 107,663 | 107,743 | -0,0801397 | |
| 99,0 | 107,787 | 107,822 | -0,0351048 | |
| 100,0 | 107,834 | 107,931 | -0,0979853 | |
| 101,0 | 107,797 | 107,949 | -0,152234 | |
| 102,0 | 107,813 | 107,882 | -0,0690889 | |
| 103,0 | 107,869 | 107,917 | -0,0472289 | |
| 104,0 | 107,652 | 107,989 | -0,337476 | |
| 105,0 | 107,684 | 107,667 | 0,0164091 | |
| 106,0 | 107,617 | 107,794 | -0,177016 | |
| 107,0 | 107,577 | 107,69 | -0,113837 | |
| 108,0 | 107,707 | 107,659 | 0,0476119 | |
| 109,0 | 107,955 | 107,854 | 0,101007 | |
| 110,0 | 107,95 | 108,148 | -0,197529 | |
| 111,0 | 107,915 | 108,046 | -0,130768 | |
| 112,0 | 108,145 | 108,001 | 0,144569 | |
| 113,0 | 108,131 | 108,33 | -0,199324 | |
| 114,0 | 108,064 | 108,224 | -0,160004 | |

| | | | |
|-------|---------|---------|------------|
| 115,0 | 108,207 | 108,136 | 0,0702898 |
| 116,0 | 108,157 | 108,359 | -0,201593 |
| 117,0 | 108,155 | 108,237 | -0,0815755 |
| 118,0 | 107,952 | 108,253 | -0,300453 |
| 119,0 | 108,084 | 107,974 | 0,110115 |
| 120,0 | 107,78 | 108,232 | -0,451947 |
| 121,0 | 107,45 | 107,763 | -0,312912 |
| 122,0 | 107,203 | 107,424 | -0,220636 |
| 123,0 | 107,045 | 107,208 | -0,163555 |
| 124,0 | 106,858 | 107,083 | -0,224528 |
| 125,0 | 106,736 | 106,886 | -0,149896 |
| 126,0 | 106,869 | 106,788 | 0,0809393 |
| 127,0 | 107,132 | 107,018 | 0,114024 |
| 128,0 | 106,994 | 107,329 | -0,33522 |
| 129,0 | 106,974 | 107,04 | -0,0657269 |
| 130,0 | 106,895 | 107,065 | -0,170301 |
| 131,0 | 106,937 | 106,963 | -0,0265614 |
| 132,0 | 106,56 | 107,05 | -0,490031 |
| 133,0 | 106,598 | 106,516 | 0,0810385 |
| 134,0 | 106,584 | 106,71 | -0,12543 |
| 135,0 | 106,398 | 106,678 | -0,27962 |
| 136,0 | 106,633 | 106,426 | 0,207641 |
| 137,0 | 106,72 | 106,82 | -0,100178 |
| 138,0 | 105,974 | 106,851 | -0,87779 |
| 139,0 | 105,293 | 105,79 | -0,496293 |
| 140,0 | 105,188 | 105,134 | 0,0540109 |
| 141,0 | 105,149 | 105,247 | -0,0977615 |
| 142,0 | 105,034 | 105,233 | -0,198393 |
| 143,0 | 104,896 | 105,089 | -0,193144 |
| 144,0 | 104,871 | 104,942 | -0,0706002 |
| 145,0 | 105,03 | 104,96 | 0,0700269 |
| 146,0 | 103,758 | 105,188 | -1,43056 |
| 147,0 | 104,685 | 103,375 | 1,31016 |
| 148,0 | 104,769 | 105,134 | -0,365157 |
| 149,0 | 104,648 | 104,899 | -0,250505 |
| 150,0 | 104,823 | 104,701 | 0,12191 |
| 151,0 | 104,644 | 104,987 | -0,342261 |
| 152,0 | 104,782 | 104,675 | 0,106704 |
| 153,0 | 104,774 | 104,932 | -0,158214 |
| 154,0 | 104,837 | 104,869 | -0,0318848 |
| 155,0 | 104,917 | 104,96 | -0,0430327 |
| 156,0 | 105,007 | 105,045 | -0,0380043 |
| 157,0 | 105,007 | 105,139 | -0,132262 |
| 158,0 | 105,003 | 105,105 | -0,101508 |
| 159,0 | 105,213 | 105,1 | 0,112839 |
| 160,0 | 105,229 | 105,391 | -0,161802 |
| 161,0 | 105,354 | 105,333 | 0,0210577 |
| 162,0 | 105,238 | 105,5 | -0,261228 |
| 163,0 | 105,18 | 105,293 | -0,11238 |
| 164,0 | 105,197 | 105,257 | -0,0595251 |
| 165,0 | 105,159 | 105,302 | -0,142858 |
| 166,0 | 105,29 | 105,243 | 0,046967 |
| 167,0 | 105,181 | 105,437 | -0,256407 |
| 168,0 | 105,118 | 105,238 | -0,120387 |
| 169,0 | 105,135 | 105,192 | -0,0571842 |
| 170,0 | 104,782 | 105,239 | -0,457171 |
| 171,0 | 104,804 | 104,747 | 0,0565189 |
| 172,0 | 104,883 | 104,91 | -0,0271344 |
| 173,0 | 104,917 | 105,011 | -0,0935421 |
| 174,0 | 104,97 | 105,029 | -0,0587855 |
| 175,0 | 105,118 | 105,088 | 0,0300492 |
| 176,0 | 105,414 | 105,272 | 0,142117 |
| 177,0 | 105,164 | 105,624 | -0,460595 |

| | | | | |
|-------|---------|---------|------------|--|
| 178,0 | 104,868 | 105,167 | -0,29917 | |
| 179,0 | 105,398 | 104,855 | 0,543314 | |
| 180,0 | 105,437 | 105,697 | -0,260046 | |
| 181,0 | 105,019 | 105,549 | -0,530622 | |
| 182,0 | 104,942 | 104,959 | -0,0172631 | |
| 183,0 | 104,955 | 105,011 | -0,0553063 | |
| 184,0 | 105,044 | 105,059 | -0,0152242 | |
| 185,0 | 105,243 | 105,175 | 0,0674564 | |
| 186,0 | 105,286 | 105,416 | -0,12992 | |
| 187,0 | 105,113 | 105,401 | -0,288149 | |
| 188,0 | 105,12 | 105,145 | -0,0253341 | |
| 189,0 | 105,099 | 105,221 | -0,121967 | |
| 190,0 | 105,43 | 105,189 | 0,240529 | |
| 191,0 | 105,218 | 105,653 | -0,435334 | |
| 192,0 | 105,218 | 105,236 | -0,0180453 | |
| 193,0 | 105,292 | 105,316 | -0,0238084 | |
| 194,0 | 105,549 | 105,418 | 0,130872 | |
| 195,0 | 105,555 | 105,745 | -0,189917 | |
| 196,0 | 105,522 | 105,655 | -0,132787 | |
| 197,0 | 105,251 | 105,608 | -0,357625 | |
| 198,0 | 105,158 | 105,246 | -0,0882194 | |
| 199,0 | 105,249 | 105,221 | 0,0277275 | |
| 200,0 | 105,096 | 105,381 | -0,285264 | |
| 201,0 | 105,05 | 105,136 | -0,0867955 | |
| 202,0 | 105,046 | 105,13 | -0,0846094 | |
| 203,0 | 105,206 | 105,143 | 0,0636656 | |
| 204,0 | 105,208 | 105,365 | -0,157432 | |
| 205,0 | 105,213 | 105,306 | -0,0932376 | |
| 206,0 | 105,542 | 105,313 | 0,228513 | |
| 207,0 | 105,864 | 105,764 | 0,100022 | |
| 208,0 | 106,0 | 106,084 | -0,0845973 | |
| 209,0 | 106,378 | 106,149 | 0,228479 | |
| 210,0 | 106,499 | 106,619 | -0,119536 | |
| 211,0 | 106,668 | 106,643 | 0,0244706 | |
| 212,0 | 106,721 | 106,83 | -0,108731 | |
| 213,0 | 106,655 | 106,839 | -0,184415 | |
| 214,0 | 106,52 | 106,728 | -0,207826 | |
| 215,0 | 106,42 | 106,568 | -0,147436 | |
| 216,0 | 106,42 | 106,481 | -0,0603756 | |
| 217,0 | 106,382 | 106,519 | -0,137008 | |
| 218,0 | 105,897 | 106,465 | -0,567544 | |
| 219,0 | 106,077 | 105,813 | 0,263719 | |
| 220,0 | 106,066 | 106,242 | -0,176361 | |
| 221,0 | 106,081 | 106,16 | -0,07974 | |
| 222,0 | 106,02 | 106,184 | -0,164089 | |
| 223,0 | 106,268 | 106,095 | 0,17212 | |
| 224,0 | 106,224 | 106,459 | -0,235251 | |
| 225,0 | 106,345 | 106,306 | 0,0393324 | |
| 226,0 | 106,249 | 106,489 | -0,240278 | |
| 227,0 | 106,527 | 106,311 | 0,215888 | |
| 228,0 | 106,597 | 106,73 | -0,132865 | |
| 229,0 | 106,666 | 106,722 | -0,0559783 | |
| 230,0 | 106,542 | 106,79 | -0,248311 | |
| 231,0 | 106,542 | 106,593 | -0,0513048 | |
| 232,0 | 106,539 | 106,64 | -0,100808 | |
| 233,0 | 106,594 | 106,636 | -0,0426258 | |
| 234,0 | 106,648 | 106,712 | -0,0640445 | |
| 235,0 | 107,05 | 106,767 | 0,28258 | |
| 236,0 | 107,05 | 107,3 | -0,249555 | |
| 237,0 | 106,815 | 107,149 | -0,33406 | |
| 238,0 | 106,85 | 106,824 | 0,0261744 | |
| 239,0 | 107,617 | 106,961 | 0,65585 | |
| 240,0 | 107,76 | 108,006 | -0,245247 | |

| | | | | |
|-------|---------|---------|-------------|--|
| 241,0 | 107,708 | 107,913 | -0,204455 | |
| 242,0 | 107,909 | 107,787 | 0,122521 | |
| 243,0 | 107,58 | 108,083 | -0,503276 | |
| 244,0 | 107,511 | 107,554 | -0,0432251 | |
| 245,0 | 107,511 | 107,583 | -0,0719787 | |
| 246,0 | 107,676 | 107,609 | 0,0668916 | |
| 247,0 | 108,196 | 107,836 | 0,359892 | |
| 248,0 | 108,874 | 108,491 | 0,382569 | |
| 249,0 | 109,055 | 109,228 | -0,17297 | |
| 250,0 | 109,281 | 109,222 | 0,0592692 | |
| 251,0 | 109,085 | 109,465 | -0,379325 | |
| 252,0 | 109,025 | 109,11 | -0,0843436 | |
| 253,0 | 109,036 | 109,101 | -0,0647936 | |
| 254,0 | 109,082 | 109,138 | -0,0558525 | |
| 255,0 | 109,762 | 109,198 | 0,563455 | |
| 256,0 | 109,807 | 110,116 | -0,309812 | |
| 257,0 | 109,765 | 109,922 | -0,156554 | |
| 258,0 | 109,828 | 109,848 | -0,0201991 | |
| 259,0 | 110,016 | 109,949 | 0,0669075 | |
| 260,0 | 110,122 | 110,186 | -0,0637276 | |
| 261,0 | 110,425 | 110,26 | 0,165004 | |
| 262,0 | 110,337 | 110,638 | -0,301203 | |
| 263,0 | 110,751 | 110,402 | 0,349002 | |
| 264,0 | 110,704 | 111,005 | -0,301304 | |
| 265,0 | 110,813 | 110,785 | 0,0278418 | |
| 266,0 | 110,265 | 110,952 | -0,686778 | |
| 267,0 | 111,581 | 110,156 | 1,42506 | |
| 268,0 | 108,652 | 112,177 | -3,5254 | |
| 269,0 | 112,646 | 107,642 | 5,00377 | |
| 270,0 | 113,185 | 114,254 | -1,06971 | |
| 271,0 | 114,349 | 113,486 | 0,862441 | |
| 272,0 | 115,327 | 114,887 | 0,44012 | |
| 273,0 | 115,327 | 115,795 | -0,467957 | |
| 274,0 | 115,775 | 115,425 | 0,350092 | |
| 275,0 | 116,576 | 116,043 | 0,532657 | |
| 276,0 | 117,071 | 116,976 | 0,0943182 | |
| 277,0 | 117,915 | 117,356 | 0,559006 | |
| 278,0 | 118,002 | 118,332 | -0,330412 | |
| 279,0 | 118,475 | 118,133 | 0,342248 | |
| 280,0 | 118,364 | 118,752 | -0,387692 | |
| 281,0 | 118,823 | 118,421 | 0,402493 | |
| 282,0 | 118,876 | 119,095 | -0,21935 | |
| 283,0 | 118,915 | 118,994 | -0,0787752 | |
| 284,0 | 118,834 | 119,028 | -0,193524 | |
| 285,0 | 118,853 | 118,902 | -0,0495835 | |
| 286,0 | 118,815 | 118,958 | -0,142987 | |
| 287,0 | 118,645 | 118,898 | -0,253384 | |
| 288,0 | 118,578 | 118,679 | -0,101546 | |
| 289,0 | 118,673 | 118,65 | 0,0227654 | |
| 290,0 | 118,83 | 118,808 | 0,0225973 | |
| 291,0 | 119,058 | 118,988 | 0,0707912 | |
| 292,0 | 119,275 | 119,243 | 0,0325056 | |
| 293,0 | 119,496 | 119,456 | 0,0398764 | |
| 294,0 | 119,93 | 119,677 | 0,253105 | |
| 295,0 | 119,821 | 120,192 | -0,371128 | |
| 296,0 | 120,12 | 119,878 | 0,241875 | |
| 297,0 | 120,205 | 120,332 | -0,126315 | |
| 298,0 | 120,675 | 120,335 | 0,339904 | |
| 299,0 | 120,266 | 120,951 | -0,685021 | |
| 300,0 | 120,472 | 120,21 | 0,262511 | |
| 301,0 | 117,899 | 120,649 | -2,7497 | |
| 302,0 | 117,986 | 117,024 | 0,961484 | |
| 303,0 | 118,114 | 118,117 | -0,00259009 | |

| | | | | |
|-------|---------|---------|------------|--|
| 304,0 | 118,176 | 118,261 | -0,085475 | |
| 305,0 | 118,164 | 118,297 | -0,133377 | |
| 306,0 | 118,579 | 118,257 | 0,321727 | |
| 307,0 | 118,555 | 118,834 | -0,279109 | |
| 308,0 | 118,949 | 118,644 | 0,304325 | |
| 309,0 | 118,763 | 119,196 | -0,432732 | |
| 310,0 | 119,425 | 118,791 | 0,633815 | |
| 311,0 | 119,862 | 119,773 | 0,0890643 | |
| 312,0 | 120,219 | 120,126 | 0,0929762 | |
| 313,0 | 120,715 | 120,451 | 0,263352 | |
| 314,0 | 139,527 | 121,001 | 18,5263 | |
| 315,0 | 120,72 | 146,735 | -26,0153 | |
| 316,0 | 120,98 | 113,71 | 7,27053 | |
| 317,0 | 120,992 | 121,177 | -0,185202 | |
| 318,0 | 120,617 | 121,094 | -0,477455 | |
| 319,0 | 120,65 | 120,574 | 0,076685 | |
| 320,0 | 120,957 | 120,761 | 0,195944 | |
| 321,0 | 121,015 | 121,171 | -0,156026 | |
| 322,0 | 121,602 | 121,135 | 0,466933 | |
| 323,0 | 121,856 | 121,922 | -0,0663029 | |
| 324,0 | 121,722 | 122,05 | -0,327732 | |
| 325,0 | 122,339 | 121,77 | 0,568486 | |
| 326,0 | 123,063 | 122,67 | 0,393399 | |
| 327,0 | 122,974 | 123,435 | -0,461333 | |
| 328,0 | 122,974 | 123,038 | -0,0644575 | |
| 329,0 | 123,165 | 123,072 | 0,0926916 | |
| 330,0 | 123,267 | 123,335 | -0,0683591 | |
| 331,0 | 123,221 | 123,403 | -0,182259 | |
| 332,0 | 122,803 | 123,302 | -0,499312 | |
| 333,0 | 122,711 | 122,743 | -0,032412 | |
| 334,0 | 122,711 | 122,774 | -0,0633237 | |
| 335,0 | 122,559 | 122,809 | -0,249708 | |
| 336,0 | 122,498 | 122,6 | -0,102349 | |
| 337,0 | 122,498 | 122,573 | -0,0750023 | |
| 338,0 | 121,673 | 122,596 | -0,922508 | |
| 339,0 | 121,635 | 121,46 | 0,175336 | |
| 340,0 | 121,608 | 121,719 | -0,111546 | |
| 341,0 | 121,998 | 121,695 | 0,302361 | |
| 342,0 | 121,933 | 122,243 | -0,310847 | |
| 343,0 | 121,913 | 122,006 | -0,0929661 | |
| 344,0 | 121,913 | 122,004 | -0,0908762 | |
| 345,0 | 121,641 | 122,011 | -0,369908 | |
| 346,0 | 121,896 | 121,637 | 0,258981 | |
| 347,0 | 121,066 | 122,09 | -1,024 | |
| 348,0 | 121,049 | 120,851 | 0,198439 | |
| 349,0 | 120,167 | 121,141 | -0,974021 | |
| 350,0 | 119,555 | 119,932 | -0,376681 | |
| 351,0 | 122,163 | 119,422 | 2,74076 | |
| 352,0 | 121,984 | 123,247 | -1,26259 | |
| 353,0 | 122,255 | 122,015 | 0,239869 | |
| 354,0 | 122,207 | 122,455 | -0,247944 | |
| 355,0 | 123,224 | 122,287 | 0,936144 | |
| 356,0 | 123,056 | 123,706 | -0,649557 | |
| 357,0 | 123,039 | 123,091 | -0,0520152 | |
| 358,0 | 123,15 | 123,131 | 0,0189167 | |
| 359,0 | 123,128 | 123,29 | -0,162448 | |
| 360,0 | 123,115 | 123,217 | -0,102342 | |
| 361,0 | 123,025 | 123,209 | -0,183846 | |
| 362,0 | 122,95 | 123,089 | -0,139042 | |
| 363,0 | 122,939 | 123,02 | -0,0805622 | |
| 364,0 | 123,081 | 123,033 | 0,0474356 | |
| 365,0 | 123,31 | 123,232 | 0,0778738 | |
| 366,0 | 122,077 | 123,495 | -1,41799 | |

| | | | |
|-------|---------|---------|------------|
| 367,0 | 122,566 | 121,709 | 0,856904 |
| 368,0 | 122,793 | 122,849 | -0,0559638 |
| 369,0 | 122,789 | 122,977 | -0,188541 |
| 370,0 | 122,344 | 122,885 | -0,541908 |
| 371,0 | 122,501 | 122,273 | 0,22753 |
| 372,0 | 122,853 | 122,659 | 0,193902 |
| 373,0 | 123,02 | 123,084 | -0,0635957 |
| 374,0 | 123,057 | 123,182 | -0,124915 |
| 375,0 | 122,343 | 123,169 | -0,825341 |
| 376,0 | 121,371 | 122,172 | -0,801117 |
| 377,0 | 121,383 | 121,101 | 0,281448 |
| 378,0 | 121,383 | 121,486 | -0,102782 |
| 379,0 | 121,751 | 121,481 | 0,270092 |
| 380,0 | 121,749 | 121,989 | -0,239407 |
| 381,0 | 121,683 | 121,847 | -0,163553 |
| 382,0 | 120,824 | 121,756 | -0,931926 |
| 383,0 | 121,215 | 120,598 | 0,617037 |
| 384,0 | 121,79 | 121,461 | 0,329227 |
| 385,0 | 121,947 | 122,106 | -0,158967 |
| 386,0 | 121,874 | 122,104 | -0,230695 |
| 387,0 | 123,453 | 121,944 | 1,5085 |
| 388,0 | 123,444 | 124,147 | -0,703391 |
| 389,0 | 123,259 | 123,539 | -0,279834 |
| 390,0 | 124,162 | 123,288 | 0,873837 |
| 391,0 | 124,245 | 124,601 | -0,356195 |
| 392,0 | 124,207 | 124,374 | -0,167278 |
| 393,0 | 123,053 | 124,291 | -1,23736 |
| 394,0 | 123,62 | 122,716 | 0,904619 |
| 395,0 | 123,79 | 123,933 | -0,142968 |
| 396,0 | 123,745 | 123,952 | -0,207371 |
| 397,0 | 123,777 | 123,826 | -0,0484629 |
| 398,0 | 123,606 | 123,888 | -0,282067 |
| 399,0 | 123,429 | 123,639 | -0,21059 |
| 400,0 | 123,389 | 123,46 | -0,0712357 |
| 401,0 | 122,898 | 123,472 | -0,57379 |
| 402,0 | 123,211 | 122,811 | 0,400652 |
| 403,0 | 123,72 | 123,428 | 0,292342 |
| 404,0 | 123,832 | 124,011 | -0,179485 |
| 405,0 | 123,823 | 123,972 | -0,148599 |
| 406,0 | 123,861 | 123,918 | -0,0575337 |
| 407,0 | 123,911 | 123,973 | -0,0617816 |
| 408,0 | 123,912 | 124,029 | -0,116033 |
| 409,0 | 123,918 | 124,011 | -0,0927998 |
| 410,0 | 123,863 | 124,019 | -0,155838 |
| 411,0 | 123,432 | 123,94 | -0,50857 |
| 412,0 | 123,811 | 123,367 | 0,444301 |
| 413,0 | 123,829 | 124,053 | -0,22384 |
| 414,0 | 124,35 | 123,934 | 0,415864 |
| 415,0 | 124,728 | 124,645 | 0,0826552 |
| 416,0 | 124,704 | 124,968 | -0,26426 |
| 417,0 | 124,929 | 124,794 | 0,135298 |
| 418,0 | 125,034 | 125,112 | -0,0783338 |
| 419,0 | 125,034 | 125,172 | -0,137818 |
| 420,0 | 125,034 | 125,132 | -0,0982084 |
| 421,0 | 125,072 | 125,132 | -0,0601084 |
| 422,0 | 125,034 | 125,184 | -0,150708 |
| 423,0 | 124,437 | 125,118 | -0,680509 |
| 424,0 | 124,271 | 124,31 | -0,0384857 |
| 425,0 | 124,409 | 124,307 | 0,102256 |
| 426,0 | 124,544 | 124,559 | -0,0148899 |
| 427,0 | 124,479 | 124,694 | -0,214783 |
| 428,0 | 124,497 | 124,552 | -0,0559905 |
| 429,0 | 124,582 | 124,601 | -0,0192226 |

| | | | |
|-------|---------|---------|-------------|
| 430,0 | 124,732 | 124,713 | 0,019139 |
| 431,0 | 124,732 | 124,887 | -0,154788 |
| 432,0 | 124,732 | 124,83 | -0,0982084 |
| 433,0 | 124,943 | 124,83 | 0,112692 |
| 434,0 | 124,943 | 125,121 | -0,177918 |
| 435,0 | 125,036 | 125,041 | -0,00500844 |
| 436,0 | 125,326 | 125,169 | 0,156767 |
| 437,0 | 125,331 | 125,534 | -0,20349 |
| 438,0 | 125,422 | 125,43 | -0,00867142 |
| 439,0 | 125,448 | 125,554 | -0,106777 |
| 440,0 | 125,413 | 125,556 | -0,142997 |
| 441,0 | 125,534 | 125,498 | 0,0363198 |
| 442,0 | 125,852 | 125,678 | 0,174446 |
| 443,0 | 125,925 | 126,071 | -0,146286 |
| 444,0 | 127,079 | 126,05 | 1,02857 |
| 445,0 | 127,329 | 127,613 | -0,284501 |
| 446,0 | 127,227 | 127,521 | -0,294758 |
| 447,0 | 128,392 | 127,286 | 1,10548 |
| 448,0 | 128,349 | 128,93 | -0,581258 |
| 449,0 | 128,593 | 128,431 | 0,16223 |
| 450,0 | 128,727 | 128,784 | -0,0572416 |
| 451,0 | 128,713 | 128,875 | -0,161789 |
| 452,0 | 128,81 | 128,807 | 0,0038805 |
| 453,0 | 128,985 | 128,945 | 0,0397926 |
| 454,0 | 128,974 | 129,149 | -0,175536 |
| 455,0 | 129,147 | 129,068 | 0,0787624 |
| 456,0 | 129,365 | 129,31 | 0,0549196 |
| 457,0 | 128,819 | 129,546 | -0,726953 |
| 458,0 | 129,119 | 128,711 | 0,408328 |
| 459,0 | 129,765 | 129,331 | 0,434069 |
| 460,0 | 130,504 | 130,107 | 0,397449 |
| 461,0 | 130,997 | 130,882 | 0,115322 |
| 462,0 | 130,977 | 131,282 | -0,304776 |
| 463,0 | 130,969 | 131,068 | -0,0985739 |
| 464,0 | 130,812 | 131,064 | -0,252085 |
| 465,0 | 131,252 | 130,851 | 0,400492 |
| 466,0 | 131,213 | 131,516 | -0,30268 |
| 467,0 | 133,238 | 131,297 | 1,9407 |
| 468,0 | 133,521 | 134,101 | -0,58033 |
| 469,0 | 133,647 | 133,726 | -0,0792683 |
| 470,0 | 133,682 | 133,792 | -0,110492 |
| 471,0 | 133,899 | 133,793 | 0,10575 |
| 472,0 | 133,368 | 134,08 | -0,711337 |
| 473,0 | 133,492 | 133,266 | 0,225883 |
| 474,0 | 133,514 | 133,636 | -0,122347 |
| 475,0 | 133,552 | 133,621 | -0,0685123 |
| 476,0 | 133,491 | 133,665 | -0,174246 |
| 477,0 | 133,491 | 133,566 | -0,0749267 |
| 478,0 | 133,669 | 133,589 | 0,0798916 |
| 479,0 | 134,174 | 133,834 | 0,339679 |
| 480,0 | 134,134 | 134,463 | -0,329249 |
| 481,0 | 133,723 | 134,217 | -0,494453 |
| 482,0 | 134,169 | 133,665 | 0,50418 |
| 483,0 | 134,409 | 134,437 | -0,0271143 |
| 484,0 | 134,34 | 134,598 | -0,258716 |
| 485,0 | 134,407 | 134,411 | -0,00472753 |
| 486,0 | 134,532 | 134,53 | 0,00213112 |
| 487,0 | 134,798 | 134,678 | 0,120383 |
| 488,0 | 134,578 | 134,997 | -0,419681 |
| 489,0 | 134,582 | 134,592 | -0,0108193 |
| 490,0 | 134,652 | 134,681 | -0,0295824 |
| 491,0 | 134,887 | 134,776 | 0,110997 |
| 492,0 | 134,918 | 135,075 | -0,156891 |

| | | | |
|-------|---------|---------|------------|
| 493,0 | 134,918 | 135,027 | -0,109698 |
| 494,0 | 135,45 | 135,016 | 0,434292 |
| 495,0 | 135,467 | 135,75 | -0,282767 |
| 496,0 | 135,733 | 135,571 | 0,16178 |
| 497,0 | 135,665 | 135,932 | -0,266857 |
| 498,0 | 136,457 | 135,738 | 0,718892 |
| 499,0 | 136,78 | 136,854 | -0,073818 |
| 500,0 | 137,091 | 137,001 | 0,0908247 |
| 501,0 | 137,611 | 137,307 | 0,303536 |
| 502,0 | 138,302 | 137,905 | 0,396984 |
| 503,0 | 139,904 | 138,662 | 1,24244 |
| 504,0 | 139,969 | 140,608 | -0,639384 |
| 505,0 | 139,968 | 140,091 | -0,123611 |
| 506,0 | 140,585 | 140,065 | 0,519907 |
| 507,0 | 140,935 | 140,917 | 0,0181319 |
| 508,0 | 141,433 | 141,165 | 0,267885 |
| 509,0 | 142,761 | 141,72 | 1,04156 |
| 510,0 | 143,132 | 143,362 | -0,229064 |
| 511,0 | 143,655 | 143,371 | 0,283534 |
| 512,0 | 144,019 | 143,95 | 0,0694017 |
| 513,0 | 145,099 | 144,256 | 0,843278 |
| 514,0 | 146,202 | 145,605 | 0,596532 |
| 515,0 | 146,508 | 146,716 | -0,208174 |
| 516,0 | 146,729 | 146,722 | 0,00693651 |
| 517,0 | 147,12 | 146,911 | 0,208627 |
| 518,0 | 147,763 | 147,366 | 0,39754 |
| 519,0 | 148,406 | 148,104 | 0,301356 |
| 520,0 | 148,789 | 148,747 | 0,0421831 |
| 521,0 | 149,313 | 149,032 | 0,281023 |
| 522,0 | 150,013 | 149,609 | 0,404008 |
| 523,0 | 150,433 | 150,376 | 0,0568132 |
| 524,0 | 151,796 | 150,69 | 1,10577 |
| 525,0 | 151,964 | 152,409 | -0,445503 |
| 526,0 | 152,45 | 152,125 | 0,324909 |
| 527,0 | 152,954 | 152,732 | 0,221919 |
| 528,0 | 153,501 | 153,243 | 0,258205 |
| 529,0 | 153,644 | 153,806 | -0,161409 |
| 530,0 | 153,936 | 153,797 | 0,139156 |
| 531,0 | 154,817 | 154,144 | 0,672181 |
| 532,0 | 155,196 | 155,248 | -0,0512312 |
| 533,0 | 155,152 | 155,438 | -0,286654 |
| 534,0 | 154,923 | 155,233 | -0,310038 |
| 535,0 | 154,257 | 154,934 | -0,676933 |
| 536,0 | 154,19 | 154,104 | 0,0859039 |
| 537,0 | 154,416 | 154,263 | 0,153128 |
| 538,0 | 154,15 | 154,6 | -0,449787 |
| 539,0 | 153,874 | 154,147 | -0,273398 |
| 540,0 | 153,58 | 153,868 | -0,28847 |
| 541,0 | 153,265 | 153,567 | -0,302002 |
| 542,0 | 153,219 | 153,244 | -0,0243164 |
| 543,0 | 153,023 | 153,3 | -0,277225 |
| 544,0 | 153,607 | 153,047 | 0,560008 |
| 545,0 | 154,093 | 153,926 | 0,166931 |
| 546,0 | 154,171 | 154,375 | -0,204054 |
| 547,0 | 153,792 | 154,299 | -0,506513 |
| 548,0 | 153,837 | 153,747 | 0,0895968 |
| 549,0 | 154,351 | 153,952 | 0,399235 |
| 550,0 | 154,37 | 154,644 | -0,273188 |
| 551,0 | 155,371 | 154,476 | 0,895259 |
| 552,0 | 155,378 | 155,848 | -0,469961 |
| 553,0 | 155,432 | 155,478 | -0,0463651 |
| 554,0 | 155,442 | 155,551 | -0,108431 |
| 555,0 | 155,881 | 155,544 | 0,336899 |

| | | | | |
|-------|---------|---------|------------|--|
| 556,0 | 157,131 | 156,145 | 0,985072 | |
| 557,0 | 157,587 | 157,701 | -0,113444 | |
| 558,0 | 157,989 | 157,858 | 0,130306 | |
| 559,0 | 158,674 | 158,238 | 0,435858 | |
| 560,0 | 159,66 | 159,032 | 0,628631 | |
| 561,0 | 161,036 | 160,131 | 0,904433 | |
| 562,0 | 162,471 | 161,654 | 0,817197 | |
| 563,0 | 165,165 | 163,111 | 2,05316 | |
| 564,0 | 166,796 | 166,281 | 0,51467 | |
| 565,0 | 169,06 | 167,51 | 1,54976 | |
| 566,0 | 170,923 | 170,014 | 0,909362 | |
| 567,0 | 173,761 | 171,726 | 2,03532 | |
| 568,0 | 175,5 | 174,932 | 0,567845 | |
| 569,0 | 178,083 | 176,255 | 1,82779 | |
| 570,0 | 180,836 | 179,157 | 1,67881 | |
| 571,0 | 180,876 | 181,975 | -1,09942 | |
| 572,0 | 181,323 | 180,989 | 0,334 | |
| 573,0 | 181,483 | 181,59 | -0,10669 | |
| 574,0 | 181,71 | 181,642 | 0,0677306 | |
| 575,0 | 182,442 | 181,894 | 0,548648 | |
| 576,0 | 183,182 | 182,817 | 0,364543 | |
| 577,0 | 184,421 | 183,56 | 0,86136 | |
| 578,0 | 184,168 | 184,988 | -0,819026 | |
| 579,0 | 185,094 | 184,171 | 0,922724 | |
| 580,0 | 184,77 | 185,542 | -0,772401 | |
| 581,0 | 184,703 | 184,745 | -0,0421015 | |
| 582,0 | 184,919 | 184,776 | 0,142725 | |
| 583,0 | 184,574 | 185,099 | -0,52477 | |
| 584,0 | 184,263 | 184,542 | -0,279116 | |
| 585,0 | 184,039 | 184,243 | -0,204353 | |
| 586,0 | 180,577 | 184,052 | -3,47542 | |
| 587,0 | 179,25 | 179,367 | -0,117021 | |
| 588,0 | 179,227 | 178,846 | 0,380407 | |
| 589,0 | 178,347 | 179,316 | -0,969516 | |
| 590,0 | 179,088 | 178,112 | 0,975688 | |
| 591,0 | 179,255 | 179,466 | -0,211983 | |
| 592,0 | 179,859 | 179,416 | 0,443001 | |
| 593,0 | 180,282 | 180,185 | 0,096972 | |
| 594,0 | 182,287 | 180,54 | 1,74633 | |
| 595,0 | 182,517 | 183,143 | -0,626047 | |
| 596,0 | 185,753 | 182,702 | 3,05184 | |
| 597,0 | 185,777 | 187,075 | -1,29789 | |
| 598,0 | 185,777 | 185,884 | -0,107166 | |
| 599,0 | 187,309 | 185,875 | 1,43379 | |
| 600,0 | 187,047 | 187,986 | -0,939528 | |
| 601,0 | 187,059 | 187,046 | 0,0126278 | |
| 602,0 | 187,217 | 187,161 | 0,0557695 | |
| 603,0 | 187,238 | 187,375 | -0,136876 | |
| 604,0 | 186,902 | 187,344 | -0,442821 | |
| 605,0 | 186,533 | 186,872 | -0,33989 | |
| 606,0 | 186,537 | 186,491 | 0,0458173 | |
| 607,0 | 186,535 | 186,637 | -0,102147 | |
| 608,0 | 186,459 | 186,632 | -0,173277 | |
| 609,0 | 186,396 | 186,529 | -0,132722 | |
| 610,0 | 186,56 | 186,47 | 0,089578 | |
| 611,0 | 186,941 | 186,72 | 0,220846 | |
| 612,0 | 186,824 | 187,183 | -0,359107 | |
| 613,0 | 186,781 | 186,878 | -0,0964261 | |
| 614,0 | 186,144 | 186,864 | -0,719483 | |
| 615,0 | 186,588 | 186,002 | 0,586559 | |
| 616,0 | 184,891 | 186,854 | -1,96358 | |
| 617,0 | 184,423 | 184,347 | 0,0761994 | |
| 618,0 | 184,461 | 184,345 | 0,11557 | |

| | | | | |
|-------|---------|---------|------------|--|
| 619,0 | 177,143 | 184,573 | -7,42937 | |
| 620,0 | 176,816 | 174,476 | 2,34029 | |
| 621,0 | 176,5 | 176,791 | -0,290519 | |
| 622,0 | 176,524 | 176,479 | 0,044486 | |
| 623,0 | 177,042 | 176,631 | 0,411385 | |
| 624,0 | 177,795 | 177,336 | 0,458962 | |
| 625,0 | 179,356 | 178,178 | 1,17826 | |
| 626,0 | 179,551 | 180,045 | -0,493426 | |
| 627,0 | 179,676 | 179,723 | -0,0473331 | |
| 628,0 | 180,724 | 179,821 | 0,903037 | |
| 629,0 | 181,666 | 181,218 | 0,447787 | |
| 630,0 | 182,424 | 182,121 | 0,303887 | |
| 631,0 | 183,276 | 182,809 | 0,46643 | |
| 632,0 | 184,314 | 183,696 | 0,618881 | |
| 633,0 | 185,218 | 184,805 | 0,412377 | |
| 634,0 | 185,491 | 185,657 | -0,166173 | |
| 635,0 | 185,267 | 185,693 | -0,42574 | |
| 636,0 | 184,721 | 185,28 | -0,558772 | |
| 637,0 | 185,031 | 184,614 | 0,417188 | |
| 638,0 | 186,915 | 185,246 | 1,66899 | |
| 639,0 | 187,134 | 187,725 | -0,591704 | |
| 640,0 | 187,189 | 187,314 | -0,125128 | |
| 641,0 | 187,282 | 187,308 | -0,0260603 | |
| 642,0 | 186,847 | 187,416 | -0,569233 | |
| 643,0 | 187,259 | 186,78 | 0,479002 | |
| 644,0 | 187,921 | 187,513 | 0,407987 | |
| 645,0 | 189,152 | 188,27 | 0,882551 | |
| 646,0 | 190,458 | 189,716 | 0,742535 | |
| 647,0 | 188,517 | 191,05 | -2,53311 | |
| 648,0 | 188,655 | 187,881 | 0,773706 | |
| 649,0 | 189,006 | 188,806 | 0,200259 | |
| 650,0 | 189,706 | 189,237 | 0,469245 | |
| 651,0 | 192,175 | 190,069 | 2,10633 | |
| 652,0 | 191,296 | 193,206 | -1,9107 | |
| 653,0 | 192,037 | 191,061 | 0,976023 | |
| 654,0 | 194,669 | 192,416 | 2,25319 | |
| 655,0 | 194,841 | 195,762 | -0,921597 | |
| 656,0 | 194,122 | 195,004 | -0,881351 | |
| 657,0 | 194,398 | 193,949 | 0,448911 | |
| 658,0 | 192,098 | 194,6 | -2,50247 | |
| 659,0 | 192,118 | 191,327 | 0,791114 | |
| 660,0 | 192,415 | 192,223 | 0,191233 | |
| 661,0 | 201,461 | 192,625 | 8,83534 | |
| 662,0 | 201,34 | 204,978 | -3,63737 | |
| 663,0 | 200,643 | 201,393 | -0,749741 | |
| 664,0 | 201,318 | 200,478 | 0,839823 | |
| 665,0 | 201,363 | 201,671 | -0,307673 | |
| 666,0 | 201,506 | 201,479 | 0,0276948 | |
| 667,0 | 201,342 | 201,659 | -0,316693 | |
| 668,0 | 202,01 | 201,378 | 0,632127 | |
| 669,0 | 202,168 | 202,361 | -0,193255 | |
| 670,0 | 201,598 | 202,325 | -0,727736 | |
| 671,0 | 203,053 | 201,48 | 1,57212 | |
| 672,0 | 204,521 | 203,701 | 0,820712 | |
| 673,0 | 205,197 | 205,175 | 0,0219586 | |
| 674,0 | 205,7 | 205,55 | 0,149862 | |
| 675,0 | 210,019 | 205,988 | 4,03037 | |
| 676,0 | 210,183 | 211,749 | -1,5666 | |
| 677,0 | 212,021 | 210,343 | 1,67815 | |
| 678,0 | 214,0 | 212,814 | 1,18601 | |
| 679,0 | 214,978 | 214,846 | 0,131729 | |
| 680,0 | 216,29 | 215,446 | 0,844394 | |
| 681,0 | 217,023 | 216,884 | 0,138446 | |

| | | | | |
|-------|---------|---------|-------------|--|
| 682,0 | 218,73 | 217,398 | 1,33261 | |
| 683,0 | 219,792 | 219,474 | 0,318366 | |
| 684,0 | 221,827 | 220,292 | 1,53501 | |
| 685,0 | 223,457 | 222,694 | 0,762915 | |
| 686,0 | 227,11 | 224,171 | 2,9385 | |
| 687,0 | 230,382 | 228,589 | 1,79342 | |
| 688,0 | 234,062 | 231,717 | 2,34466 | |
| 689,0 | 236,822 | 235,551 | 1,27109 | |
| 690,0 | 241,245 | 237,963 | 3,28225 | |
| 691,0 | 242,763 | 243,015 | -0,252008 | |
| 692,0 | 246,209 | 243,435 | 2,77323 | |
| 693,0 | 249,393 | 247,609 | 1,78408 | |
| 694,0 | 252,475 | 250,695 | 1,77995 | |
| 695,0 | 254,041 | 253,738 | 0,303563 | |
| 696,0 | 254,269 | 254,731 | -0,462767 | |
| 697,0 | 254,544 | 254,453 | 0,0912079 | |
| 698,0 | 255,052 | 254,746 | 0,305404 | |
| 699,0 | 254,737 | 255,342 | -0,605294 | |
| 700,0 | 254,653 | 254,716 | -0,0630786 | |
| 701,0 | 254,169 | 254,719 | -0,549961 | |
| 702,0 | 251,474 | 254,085 | -2,61037 | |
| 703,0 | 249,46 | 250,554 | -1,09427 | |
| 704,0 | 249,028 | 248,796 | 0,23181 | |
| 705,0 | 246,259 | 248,963 | -2,70446 | |
| 706,0 | 243,987 | 245,31 | -1,32305 | |
| 707,0 | 243,684 | 243,227 | 0,457205 | |
| 708,0 | 243,669 | 243,668 | 0,000848195 | |
| 709,0 | 244,807 | 243,761 | 1,04615 | |
| 710,0 | 244,736 | 245,336 | -0,600304 | |
| 711,0 | 246,13 | 244,807 | 1,32353 | |
| 712,0 | 246,961 | 246,755 | 0,205603 | |
| 713,0 | 247,184 | 247,373 | -0,189147 | |
| 714,0 | 247,332 | 247,367 | -0,0343291 | |
| 715,0 | 245,938 | 247,487 | -1,54892 | |
| 716,0 | 244,624 | 245,509 | -0,884582 | |
| 717,0 | 243,058 | 244,226 | -1,16837 | |
| 718,0 | 240,988 | 242,564 | -1,57551 | |
| 719,0 | 241,645 | 240,304 | 1,34042 | |
| 720,0 | 241,159 | 241,991 | -0,831733 | |
| 721,0 | 240,6 | 241,074 | -0,474352 | |
| 722,0 | 240,692 | 240,486 | 0,205692 | |
| 723,0 | 241,657 | 240,825 | 0,831769 | |
| 724,0 | 241,812 | 242,12 | -0,308192 | |
| 725,0 | 241,885 | 241,968 | -0,0828773 | |
| 726,0 | 240,897 | 242,012 | -1,1146 | |
| 727,0 | 240,106 | 240,622 | -0,515805 | |
| 728,0 | 239,318 | 239,905 | -0,586674 | |
| 729,0 | 239,83 | 239,119 | 0,711527 | |
| 730,0 | 239,36 | 240,122 | -0,761657 | |
| 731,0 | 238,127 | 239,281 | -1,15401 | |
| 732,0 | 237,784 | 237,759 | 0,0251551 | |
| 733,0 | 237,909 | 237,753 | 0,155753 | |
| 734,0 | 237,136 | 238,054 | -0,917925 | |
| 735,0 | 236,363 | 236,942 | -0,578966 | |
| 736,0 | 236,56 | 236,169 | 0,390571 | |
| 737,0 | 236,591 | 236,732 | -0,141651 | |
| 738,0 | 236,103 | 236,701 | -0,597187 | |
| 739,0 | 236,155 | 236,017 | 0,137567 | |
| 740,0 | 237,654 | 236,273 | 1,38099 | |
| 741,0 | 236,572 | 238,318 | -1,74614 | |
| 742,0 | 236,462 | 236,262 | 0,200144 | |
| 743,0 | 237,057 | 236,518 | 0,539017 | |
| 744,0 | 237,316 | 237,381 | -0,0649776 | |

| | | | |
|-------|---------|---------|--------------|
| 745,0 | 236,881 | 237,511 | -0,630133 |
| 746,0 | 237,576 | 236,815 | 0,760735 |
| 747,0 | 236,958 | 237,937 | -0,979308 |
| 748,0 | 237,581 | 236,822 | 0,758854 |
| 749,0 | 238,366 | 237,915 | 0,451415 |
| 750,0 | 237,525 | 238,761 | -1,23647 |
| 751,0 | 237,646 | 237,305 | 0,340736 |
| 752,0 | 237,493 | 237,789 | -0,296503 |
| 753,0 | 237,184 | 237,533 | -0,349733 |
| 754,0 | 236,93 | 237,165 | -0,234846 |
| 755,0 | 236,132 | 236,933 | -0,800798 |
| 756,0 | 235,402 | 235,928 | -0,526053 |
| 757,0 | 234,579 | 235,225 | -0,645456 |
| 758,0 | 234,509 | 234,366 | 0,143044 |
| 759,0 | 234,482 | 234,581 | -0,0987275 |
| 760,0 | 234,287 | 234,571 | -0,283442 |
| 761,0 | 234,376 | 234,311 | 0,064443 |
| 762,0 | 235,007 | 234,508 | 0,49943 |
| 763,0 | 234,595 | 235,344 | -0,74927 |
| 764,0 | 234,246 | 234,537 | -0,290704 |
| 765,0 | 234,225 | 234,213 | 0,0126693 |
| 766,0 | 234,218 | 234,316 | -0,0981471 |
| 767,0 | 234,249 | 234,313 | -0,0638604 |
| 768,0 | 235,021 | 234,359 | 0,661724 |
| 769,0 | 237,095 | 235,411 | 1,68429 |
| 770,0 | 237,131 | 237,977 | -0,846152 |
| 771,0 | 237,051 | 237,243 | -0,192315 |
| 772,0 | 236,369 | 237,118 | -0,749183 |
| 773,0 | 235,992 | 236,21 | -0,218173 |
| 774,0 | 235,263 | 235,947 | -0,684232 |
| 775,0 | 234,643 | 235,086 | -0,442796 |
| 776,0 | 234,369 | 234,507 | -0,138079 |
| 777,0 | 234,363 | 234,363 | -0,000274559 |
| 778,0 | 234,282 | 234,459 | -0,176854 |
| 779,0 | 234,662 | 234,35 | 0,31193 |
| 780,0 | 233,559 | 234,903 | -1,34448 |
| 781,0 | 234,257 | 233,24 | 1,01669 |
| 782,0 | 234,871 | 234,619 | 0,252045 |
| 783,0 | 234,917 | 235,202 | -0,284308 |
| 784,0 | 235,271 | 235,033 | 0,238406 |
| 785,0 | 234,881 | 235,503 | -0,622503 |
| 786,0 | 234,612 | 234,831 | -0,219019 |
| 787,0 | 234,766 | 234,609 | 0,157233 |
| 788,0 | 234,568 | 234,923 | -0,354813 |
| 789,0 | 234,004 | 234,591 | -0,587523 |
| 790,0 | 233,767 | 233,889 | -0,121331 |
| 791,0 | 233,877 | 233,776 | 0,101139 |
| 792,0 | 234,222 | 234,017 | 0,204717 |
| 793,0 | 234,625 | 234,45 | 0,174488 |
| 794,0 | 235,11 | 234,875 | 0,234916 |
| 795,0 | 235,961 | 235,392 | 0,569035 |
| 796,0 | 236,326 | 236,38 | -0,0546305 |
| 797,0 | 237,218 | 236,562 | 0,655902 |
| 798,0 | 237,325 | 237,653 | -0,328478 |
| 799,0 | 238,422 | 237,463 | 0,958089 |
| 800,0 | 239,522 | 238,934 | 0,587294 |
| 801,0 | 239,387 | 240,035 | -0,648253 |
| 802,0 | 239,05 | 239,435 | -0,38455 |
| 803,0 | 239,059 | 239,021 | 0,0381985 |
| 804,0 | 238,605 | 239,161 | -0,55591 |
| 805,0 | 240,283 | 238,531 | 1,75169 |
| 806,0 | 239,648 | 241,015 | -1,36738 |
| 807,0 | 239,615 | 239,506 | 0,108552 |

| | | | | |
|-------|---------|---------|-------------|--|
| 808,0 | 240,111 | 239,701 | 0,409939 | |
| 809,0 | 239,928 | 240,396 | -0,46792 | |
| 810,0 | 239,577 | 239,957 | -0,38067 | |
| 811,0 | 239,615 | 239,542 | 0,0732032 | |
| 812,0 | 238,577 | 239,728 | -1,1511 | |
| 813,0 | 238,39 | 238,283 | 0,107417 | |
| 814,0 | 238,599 | 238,418 | 0,180693 | |
| 815,0 | 238,529 | 238,775 | -0,246935 | |
| 816,0 | 238,599 | 238,6 | -0,00175194 | |
| 817,0 | 240,975 | 238,723 | 2,25204 | |
| 818,0 | 240,339 | 241,972 | -1,63228 | |
| 819,0 | 239,653 | 240,197 | -0,544008 | |
| 820,0 | 236,69 | 239,492 | -2,8024 | |
| 821,0 | 236,437 | 235,668 | 0,769146 | |
| 822,0 | 236,274 | 236,44 | -0,1654 | |
| 823,0 | 233,543 | 236,311 | -2,76812 | |
| 824,0 | 233,833 | 232,609 | 1,22382 | |
| 825,0 | 236,05 | 234,04 | 2,0096 | |
| 826,0 | 235,638 | 236,986 | -1,34774 | |
| 827,0 | 235,887 | 235,581 | 0,305518 | |
| 828,0 | 235,43 | 236,079 | -0,648916 | |
| 829,0 | 235,104 | 235,355 | -0,251323 | |
| 830,0 | 234,501 | 235,079 | -0,578172 | |
| 831,0 | 234,292 | 234,371 | -0,0796668 | |
| 832,0 | 234,004 | 234,311 | -0,306966 | |
| 833,0 | 231,126 | 233,993 | -2,8673 | |
| 834,0 | 230,912 | 230,136 | 0,775794 | |
| 835,0 | 230,184 | 230,929 | -0,745341 | |
| 836,0 | 229,921 | 230,007 | -0,0858987 | |
| 837,0 | 229,098 | 229,92 | -0,822083 | |
| 838,0 | 227,06 | 228,885 | -1,82518 | |
| 839,0 | 224,542 | 226,388 | -1,84641 | |
| 840,0 | 222,4 | 223,688 | -1,28774 | |
| 841,0 | 222,528 | 221,689 | 0,839434 | |
| 842,0 | 222,801 | 222,675 | 0,126301 | |
| 843,0 | 223,379 | 223,003 | 0,376111 | |
| 844,0 | 225,245 | 223,695 | 1,54973 | |
| 845,0 | 222,806 | 226,049 | -3,24284 | |
| 846,0 | 220,34 | 221,982 | -1,64168 | |
| 847,0 | 222,524 | 219,507 | 3,01759 | |
| 848,0 | 221,601 | 223,448 | -1,84735 | |
| 849,0 | 220,977 | 221,35 | -0,372596 | |
| 850,0 | 222,902 | 220,84 | 2,06204 | |
| 851,0 | 222,269 | 223,727 | -1,45831 | |
| 852,0 | 222,97 | 222,128 | 0,841921 | |
| 853,0 | 221,761 | 223,333 | -1,57215 | |
| 854,0 | 222,061 | 221,402 | 0,658233 | |
| 855,0 | 221,488 | 222,272 | -0,784004 | |
| 856,0 | 221,488 | 221,37 | 0,118206 | |
| 857,0 | 221,518 | 221,586 | -0,0678084 | |
| 858,0 | 221,339 | 221,628 | -0,289198 | |
| 859,0 | 221,328 | 221,369 | -0,0412664 | |
| 860,0 | 221,549 | 221,422 | 0,127011 | |
| 861,0 | 221,186 | 221,731 | -0,544673 | |
| 862,0 | 220,564 | 221,147 | -0,58355 | |
| 863,0 | 220,399 | 220,427 | -0,0273346 | |
| 864,0 | 220,265 | 220,435 | -0,170173 | |
| 865,0 | 220,61 | 220,313 | 0,297175 | |
| 866,0 | 220,595 | 220,838 | -0,243088 | |
| 867,0 | 220,285 | 220,688 | -0,40259 | |
| 868,0 | 220,026 | 220,266 | -0,240882 | |
| 869,0 | 219,679 | 220,026 | -0,346317 | |
| 870,0 | 217,785 | 219,647 | -1,86132 | |

| | | | |
|-------|---------|---------|------------|
| 871,0 | 217,755 | 217,168 | 0,587029 |
| 872,0 | 217,522 | 217,841 | -0,319343 |
| 873,0 | 219,109 | 217,532 | 1,57684 |
| 874,0 | 218,888 | 219,807 | -0,918953 |
| 875,0 | 217,582 | 218,903 | -1,32072 |
| 876,0 | 216,876 | 217,187 | -0,311106 |
| 877,0 | 215,784 | 216,707 | -0,923287 |
| 878,0 | 214,51 | 215,469 | -0,958949 |
| 879,0 | 212,694 | 214,127 | -1,43339 |
| 880,0 | 212,066 | 212,105 | -0,0393623 |
| 881,0 | 211,872 | 211,927 | -0,0545692 |
| 882,0 | 213,625 | 211,897 | 1,72796 |
| 883,0 | 213,554 | 214,386 | -0,832255 |
| 884,0 | 211,902 | 213,625 | -1,72319 |
| 885,0 | 212,094 | 211,376 | 0,718665 |
| 886,0 | 211,012 | 212,265 | -1,25306 |
| 887,0 | 210,69 | 210,701 | -0,0118288 |
| 888,0 | 211,106 | 210,666 | 0,440218 |
| 889,0 | 210,151 | 211,362 | -1,21062 |
| 890,0 | 211,255 | 209,888 | 1,36653 |
| 891,0 | 212,28 | 211,77 | 0,50951 |
| 892,0 | 212,734 | 212,765 | -0,0314694 |
| 893,0 | 212,835 | 213,004 | -0,168736 |
| 894,0 | 214,941 | 212,971 | 1,96968 |
| 895,0 | 214,581 | 215,835 | -1,25441 |
| 896,0 | 214,199 | 214,543 | -0,344371 |
| 897,0 | 213,229 | 214,152 | -0,923718 |
| 898,0 | 212,835 | 212,96 | -0,125597 |
| 899,0 | 212,868 | 212,784 | 0,0843038 |
| 900,0 | 212,618 | 212,979 | -0,361008 |
| 901,0 | 213,225 | 212,622 | 0,603517 |
| 902,0 | 213,568 | 213,553 | 0,0154003 |
| 903,0 | 213,759 | 213,796 | -0,0370831 |
| 904,0 | 213,093 | 213,93 | -0,836421 |
| 905,0 | 212,701 | 212,94 | -0,238656 |
| 906,0 | 212,717 | 212,651 | 0,0662235 |
| 907,0 | 212,765 | 212,821 | -0,0564312 |
| 908,0 | 212,667 | 212,881 | -0,214012 |
| 909,0 | 212,706 | 212,729 | -0,0226827 |
| 910,0 | 212,679 | 212,819 | -0,139297 |
| 911,0 | 212,671 | 212,768 | -0,0969928 |
| 912,0 | 212,606 | 212,765 | -0,159882 |
| 913,0 | 212,787 | 212,679 | 0,108158 |
| 914,0 | 212,647 | 212,954 | -0,30722 |
| 915,0 | 211,884 | 212,692 | -0,808682 |
| 916,0 | 212,148 | 211,693 | 0,455056 |
| 917,0 | 212,369 | 212,347 | 0,0226482 |
| 918,0 | 212,054 | 212,551 | -0,496398 |
| 919,0 | 211,953 | 212,034 | -0,0804676 |
| 920,0 | 211,469 | 212,013 | -0,54466 |
| 921,0 | 211,448 | 211,384 | 0,0646839 |
| 922,0 | 211,162 | 211,539 | -0,376536 |
| 923,0 | 211,61 | 211,152 | 0,457185 |
| 924,0 | 211,469 | 211,877 | -0,407765 |
| 925,0 | 211,581 | 211,514 | 0,0669935 |
| 926,0 | 211,658 | 211,722 | -0,0641766 |
| 927,0 | 211,698 | 211,785 | -0,0868838 |
| 928,0 | 211,352 | 211,811 | -0,458802 |
| 929,0 | 211,421 | 211,32 | 0,101335 |
| 930,0 | 211,963 | 211,546 | 0,417513 |
| 931,0 | 211,982 | 212,266 | -0,283982 |
| 932,0 | 211,928 | 212,088 | -0,160089 |
| 933,0 | 214,794 | 212,005 | 2,78927 |

| | | | | |
|-------|---------|---------|-------------|--|
| 934,0 | 214,76 | 215,976 | -1,21602 | |
| 935,0 | 214,7 | 214,845 | -0,145245 | |
| 936,0 | 214,58 | 214,776 | -0,195531 | |
| 937,0 | 214,78 | 214,633 | 0,147146 | |
| 938,0 | 214,1 | 214,954 | -0,853798 | |
| 939,0 | 214,08 | 213,941 | 0,138798 | |
| 940,0 | 213,63 | 214,171 | -0,540649 | |
| 941,0 | 213,34 | 213,558 | -0,218131 | |
| 942,0 | 213,38 | 213,329 | 0,0513971 | |
| 943,0 | 213,16 | 213,493 | -0,333326 | |
| 944,0 | 212,937 | 213,175 | -0,238159 | |
| 945,0 | 212,683 | 212,951 | -0,268188 | |
| 946,0 | 211,72 | 212,685 | -0,964696 | |
| 947,0 | 211,81 | 211,454 | 0,355606 | |
| 948,0 | 211,82 | 211,942 | -0,122224 | |
| 949,0 | 211,32 | 211,922 | -0,601988 | |
| 950,0 | 211,01 | 211,229 | -0,219233 | |
| 951,0 | 211,21 | 210,991 | 0,218956 | |
| 952,0 | 211,28 | 211,384 | -0,103798 | |
| 953,0 | 210,9 | 211,405 | -0,504665 | |
| 954,0 | 210,9 | 210,855 | 0,0454125 | |
| 955,0 | 210,92 | 210,998 | -0,0782084 | |
| 956,0 | 210,53 | 211,026 | -0,495767 | |
| 957,0 | 210,2 | 210,481 | -0,280808 | |
| 958,0 | 210,78 | 210,173 | 0,606515 | |
| 959,0 | 210,8 | 211,097 | -0,297419 | |
| 960,0 | 210,68 | 210,906 | -0,225767 | |
| 961,0 | 210,41 | 210,733 | -0,322854 | |
| 962,0 | 210,56 | 210,406 | 0,153838 | |
| 963,0 | 210,63 | 210,715 | -0,0849009 | |
| 964,0 | 211,74 | 210,755 | 0,985335 | |
| 965,0 | 212,02 | 212,258 | -0,237733 | |
| 966,0 | 212,11 | 212,224 | -0,114034 | |
| 967,0 | 212,63 | 212,242 | 0,387776 | |
| 968,0 | 211,83 | 212,925 | -1,09474 | |
| 969,0 | 210,85 | 211,626 | -0,775848 | |
| 970,0 | 211,9 | 210,578 | 1,32218 | |
| 971,0 | 210,97 | 212,395 | -1,42506 | |
| 972,0 | 212,03 | 210,717 | 1,31329 | |
| 973,0 | 212,85 | 212,529 | 0,321165 | |
| 974,0 | 212,0 | 213,258 | -1,25813 | |
| 975,0 | 212,99 | 211,777 | 1,21305 | |
| 976,0 | 213,26 | 213,462 | -0,202379 | |
| 977,0 | 212,66 | 213,46 | -0,800255 | |
| 978,0 | 212,586 | 212,531 | 0,0547615 | |
| 979,0 | 212,33 | 212,657 | -0,326916 | |
| 980,0 | 213,117 | 212,331 | 0,786374 | |
| 981,0 | 212,757 | 213,513 | -0,755782 | |
| 982,0 | 212,72 | 212,719 | 0,000215753 | |
| 983,0 | 213,189 | 212,804 | 0,385002 | |
| 984,0 | 211,293 | 213,464 | -2,17067 | |
| 985,0 | 210,602 | 210,675 | -0,0730177 | |
| 986,0 | 213,052 | 210,439 | 2,61299 | |
| 987,0 | 212,714 | 214,077 | -1,36269 | |
| 988,0 | 212,705 | 212,684 | 0,0203276 | |
| 989,0 | 211,678 | 212,799 | -1,12096 | |
| 990,0 | 210,151 | 211,389 | -1,23722 | |

| | | | | |
|-------|---------|---------|------------|--|
| 991,0 | 209,516 | 209,672 | -0,156417 | |
| 992,0 | 212,905 | 209,374 | 3,531 | |
| 993,0 | 212,979 | 214,284 | -1,30572 | |
| 994,0 | 212,234 | 213,104 | -0,87035 | |
| 995,0 | 212,241 | 212,051 | 0,189638 | |
| 996,0 | 212,56 | 212,341 | 0,218835 | |
| 997,0 | 213,955 | 212,779 | 1,17574 | |
| 998,0 | 213,212 | 214,58 | -1,36834 | |
| 999,0 | 212,979 | 213,029 | -0,0503916 | |

Périodogramme pour : résidus

| <i>i</i> | <i>Fréquence</i> | <i>Période</i> | <i>Ordonnée</i> | <i>Somme cumulée</i> | <i>Périodogramme cumulé</i> |
|----------|------------------|----------------|-----------------|----------------------|-----------------------------|
| 0 | 0,0 | | 9,91684E-30 | 9,91684E-30 | 1,48157E-34 |
| 1 | 0,000303122 | 3299,0 | 102,734 | 102,734 | 0,00153483 |
| 2 | 0,000606244 | 1649,5 | 183,325 | 286,059 | 0,00427369 |
| 3 | 0,000909366 | 1099,67 | 118,566 | 404,625 | 0,00604506 |
| 4 | 0,00121249 | 824,75 | 21,7043 | 426,329 | 0,00636932 |
| 5 | 0,00151561 | 659,8 | 203,157 | 629,486 | 0,00940447 |
| 6 | 0,00181873 | 549,833 | 13,9645 | 643,45 | 0,0096131 |
| 7 | 0,00212186 | 471,286 | 41,934 | 685,384 | 0,0102396 |
| 8 | 0,00242498 | 412,375 | 95,0533 | 780,438 | 0,0116597 |
| 9 | 0,0027281 | 366,556 | 24,2906 | 804,728 | 0,0120226 |
| 10 | 0,00303122 | 329,9 | 107,377 | 912,105 | 0,0136268 |
| 11 | 0,00333434 | 299,909 | 34,6131 | 946,718 | 0,0141439 |
| 12 | 0,00363747 | 274,917 | 7,69601 | 954,414 | 0,0142589 |
| 13 | 0,00394059 | 253,769 | 130,256 | 1084,67 | 0,0162049 |
| 14 | 0,00424371 | 235,643 | 12,7707 | 1097,44 | 0,0163957 |
| 15 | 0,00454683 | 219,933 | 33,605 | 1131,05 | 0,0168977 |
| 16 | 0,00484995 | 206,188 | 36,1245 | 1167,17 | 0,0174374 |
| 17 | 0,00515308 | 194,059 | 8,23201 | 1175,4 | 0,0175604 |
| 18 | 0,0054562 | 183,278 | 43,955 | 1219,36 | 0,0182171 |
| 19 | 0,00575932 | 173,632 | 0,816468 | 1220,17 | 0,0182293 |
| 20 | 0,00606244 | 164,95 | 17,3403 | 1237,51 | 0,0184884 |
| 21 | 0,00636557 | 157,095 | 20,9707 | 1258,48 | 0,0188017 |
| 22 | 0,00666869 | 149,955 | 12,6528 | 1271,14 | 0,0189907 |
| 23 | 0,00697181 | 143,435 | 79,8607 | 1351,0 | 0,0201838 |
| 24 | 0,00727493 | 137,458 | 4,17326 | 1355,17 | 0,0202462 |
| 25 | 0,00757805 | 131,96 | 22,8993 | 1378,07 | 0,0205883 |
| 26 | 0,00788118 | 126,885 | 26,8059 | 1404,88 | 0,0209888 |
| 27 | 0,0081843 | 122,185 | 35,3137 | 1440,19 | 0,0215163 |
| 28 | 0,00848742 | 117,821 | 83,167 | 1523,36 | 0,0227588 |
| 29 | 0,00879054 | 113,759 | 29,2672 | 1552,62 | 0,0231961 |
| 30 | 0,00909366 | 109,967 | 7,98544 | 1560,61 | 0,0233154 |
| 31 | 0,00939679 | 106,419 | 80,0078 | 1640,62 | 0,0245107 |
| 32 | 0,00969991 | 103,094 | 32,8916 | 1673,51 | 0,0250021 |
| 33 | 0,010003 | 99,9697 | 19,2689 | 1692,78 | 0,02529 |
| 34 | 0,0103062 | 97,0294 | 4,84768 | 1697,63 | 0,0253624 |
| 35 | 0,0106093 | 94,2571 | 21,2583 | 1718,88 | 0,02568 |
| 36 | 0,0109124 | 91,6389 | 29,2572 | 1748,14 | 0,0261171 |
| 37 | 0,0112155 | 89,1622 | 12,3894 | 1760,53 | 0,0263022 |
| 38 | 0,0115186 | 86,8158 | 17,7041 | 1778,24 | 0,0265667 |
| 39 | 0,0118218 | 84,5897 | 30,9852 | 1809,22 | 0,0270296 |
| 40 | 0,0121249 | 82,475 | 21,608 | 1830,83 | 0,0273524 |
| 41 | 0,012428 | 80,4634 | 11,839 | 1842,67 | 0,0275293 |
| 42 | 0,0127311 | 78,5476 | 7,38095 | 1850,05 | 0,0276396 |
| 43 | 0,0130343 | 76,7209 | 7,4123 | 1857,46 | 0,0277503 |

| | | | | | |
|-----|-----------|---------|----------|---------|-----------|
| 44 | 0,0133374 | 74,9773 | 24,0325 | 1881,49 | 0,0281094 |
| 45 | 0,0136405 | 73,3111 | 29,5985 | 1911,09 | 0,0285516 |
| 46 | 0,0139436 | 71,7174 | 57,721 | 1968,81 | 0,0294139 |
| 47 | 0,0142467 | 70,1915 | 39,9253 | 2008,74 | 0,0300104 |
| 48 | 0,0145499 | 68,7292 | 45,2839 | 2054,02 | 0,0306869 |
| 49 | 0,014853 | 67,3265 | 5,69552 | 2059,72 | 0,030772 |
| 50 | 0,0151561 | 65,98 | 91,6373 | 2151,35 | 0,0321411 |
| 51 | 0,0154592 | 64,6863 | 9,96028 | 2161,31 | 0,0322899 |
| 52 | 0,0157624 | 63,4423 | 1,40385 | 2162,72 | 0,0323109 |
| 53 | 0,0160655 | 62,2453 | 10,3552 | 2173,07 | 0,0324656 |
| 54 | 0,0163686 | 61,0926 | 1,71376 | 2174,79 | 0,0324912 |
| 55 | 0,0166717 | 59,9818 | 3,12395 | 2177,91 | 0,0325378 |
| 56 | 0,0169748 | 58,9107 | 50,1868 | 2228,1 | 0,0332876 |
| 57 | 0,017278 | 57,8772 | 3,99229 | 2232,09 | 0,0333473 |
| 58 | 0,0175811 | 56,8793 | 13,2872 | 2245,38 | 0,0335458 |
| 59 | 0,0178842 | 55,9153 | 77,857 | 2323,24 | 0,034709 |
| 60 | 0,0181873 | 54,9833 | 31,741 | 2354,98 | 0,0351832 |
| 61 | 0,0184905 | 54,082 | 19,092 | 2374,07 | 0,0354684 |
| 62 | 0,0187936 | 53,2097 | 17,1865 | 2391,25 | 0,0357252 |
| 63 | 0,0190967 | 52,3651 | 46,5911 | 2437,85 | 0,0364212 |
| 64 | 0,0193998 | 51,5469 | 10,6035 | 2448,45 | 0,0365796 |
| 65 | 0,0197029 | 50,7538 | 5,52194 | 2453,97 | 0,0366621 |
| 66 | 0,0200061 | 49,9848 | 30,8739 | 2484,85 | 0,0371234 |
| 67 | 0,0203092 | 49,2388 | 11,282 | 2496,13 | 0,0372919 |
| 68 | 0,0206123 | 48,5147 | 4,18295 | 2500,31 | 0,0373544 |
| 69 | 0,0209154 | 47,8116 | 3,67727 | 2503,99 | 0,0374094 |
| 70 | 0,0212186 | 47,1286 | 9,04015 | 2513,03 | 0,0375444 |
| 71 | 0,0215217 | 46,4648 | 25,1501 | 2538,18 | 0,0379202 |
| 72 | 0,0218248 | 45,8194 | 5,29487 | 2543,47 | 0,0379993 |
| 73 | 0,0221279 | 45,1918 | 28,5683 | 2572,04 | 0,0384261 |
| 74 | 0,022431 | 44,5811 | 33,7368 | 2605,78 | 0,0389301 |
| 75 | 0,0227342 | 43,9867 | 3,43422 | 2609,21 | 0,0389814 |
| 76 | 0,0230373 | 43,4079 | 16,8558 | 2626,07 | 0,0392332 |
| 77 | 0,0233404 | 42,8442 | 4,4176 | 2630,49 | 0,0392992 |
| 78 | 0,0236435 | 42,2949 | 9,41489 | 2639,9 | 0,0394399 |
| 79 | 0,0239467 | 41,7595 | 20,4808 | 2660,38 | 0,0397459 |
| 80 | 0,0242498 | 41,2375 | 18,2617 | 2678,64 | 0,0400187 |
| 81 | 0,0245529 | 40,7284 | 25,2177 | 2703,86 | 0,0403955 |
| 82 | 0,024856 | 40,2317 | 2,83403 | 2706,69 | 0,0404378 |
| 83 | 0,0251591 | 39,747 | 63,9072 | 2770,6 | 0,0413926 |
| 84 | 0,0254623 | 39,2738 | 44,9794 | 2815,58 | 0,0420646 |
| 85 | 0,0257654 | 38,8118 | 0,203227 | 2815,78 | 0,0420676 |
| 86 | 0,0260685 | 38,3605 | 36,2875 | 2852,07 | 0,0426097 |
| 87 | 0,0263716 | 37,9195 | 29,7724 | 2881,84 | 0,0430545 |
| 88 | 0,0266747 | 37,4886 | 6,52402 | 2888,37 | 0,043152 |
| 89 | 0,0269779 | 37,0674 | 79,76 | 2968,13 | 0,0443436 |
| 90 | 0,027281 | 36,6556 | 4,59375 | 2972,72 | 0,0444122 |
| 91 | 0,0275841 | 36,2527 | 23,2056 | 2995,93 | 0,0447589 |
| 92 | 0,0278872 | 35,8587 | 36,8247 | 3032,75 | 0,0453091 |
| 93 | 0,0281904 | 35,4731 | 2,63328 | 3035,39 | 0,0453484 |
| 94 | 0,0284935 | 35,0957 | 38,8965 | 3074,28 | 0,0459295 |
| 95 | 0,0287966 | 34,7263 | 30,1277 | 3104,41 | 0,0463796 |
| 96 | 0,0290997 | 34,3646 | 8,63056 | 3113,04 | 0,0465086 |
| 97 | 0,0294028 | 34,0103 | 17,8025 | 3130,84 | 0,0467745 |
| 98 | 0,029706 | 33,6633 | 6,16438 | 3137,01 | 0,0468666 |
| 99 | 0,0300091 | 33,3232 | 0,140184 | 3137,15 | 0,0468687 |
| 100 | 0,0303122 | 32,99 | 11,5884 | 3148,74 | 0,0470419 |
| 101 | 0,0306153 | 32,6634 | 17,1284 | 3165,86 | 0,0472978 |
| 102 | 0,0309185 | 32,3431 | 49,7888 | 3215,65 | 0,0480416 |
| 103 | 0,0312216 | 32,0291 | 48,6183 | 3264,27 | 0,048768 |
| 104 | 0,0315247 | 31,7212 | 34,4617 | 3298,73 | 0,0492828 |
| 105 | 0,0318278 | 31,419 | 63,3374 | 3362,07 | 0,0502291 |
| 106 | 0,0321309 | 31,1226 | 54,8662 | 3416,94 | 0,0510488 |

| | | | | | |
|-----|-----------|---------|----------|---------|-----------|
| 107 | 0,0324341 | 30,8318 | 10,1868 | 3427,12 | 0,051201 |
| 108 | 0,0327372 | 30,5463 | 31,7722 | 3458,9 | 0,0516756 |
| 109 | 0,0330403 | 30,2661 | 46,0709 | 3504,97 | 0,0523639 |
| 110 | 0,0333434 | 29,9909 | 11,2449 | 3516,21 | 0,0525319 |
| 111 | 0,0336466 | 29,7207 | 104,239 | 3620,45 | 0,0540892 |
| 112 | 0,0339497 | 29,4554 | 3,99082 | 3624,44 | 0,0541489 |
| 113 | 0,0342528 | 29,1947 | 10,9965 | 3635,44 | 0,0543132 |
| 114 | 0,0345559 | 28,9386 | 23,5637 | 3659,0 | 0,0546652 |
| 115 | 0,034859 | 28,687 | 20,1727 | 3679,17 | 0,0549666 |
| 116 | 0,0351622 | 28,4397 | 32,3542 | 3711,53 | 0,0554499 |
| 117 | 0,0354653 | 28,1966 | 25,1393 | 3736,67 | 0,0558255 |
| 118 | 0,0357684 | 27,9576 | 25,7734 | 3762,44 | 0,0562106 |
| 119 | 0,0360715 | 27,7227 | 58,9735 | 3821,41 | 0,0570916 |
| 120 | 0,0363747 | 27,4917 | 37,4247 | 3858,84 | 0,0576508 |
| 121 | 0,0366778 | 27,2645 | 21,7166 | 3880,56 | 0,0579752 |
| 122 | 0,0369809 | 27,041 | 34,275 | 3914,83 | 0,0584873 |
| 123 | 0,037284 | 26,8211 | 17,3278 | 3932,16 | 0,0587461 |
| 124 | 0,0375871 | 26,6048 | 33,401 | 3965,56 | 0,0592452 |
| 125 | 0,0378903 | 26,392 | 27,9885 | 3993,55 | 0,0596633 |
| 126 | 0,0381934 | 26,1825 | 23,0638 | 4016,61 | 0,0600079 |
| 127 | 0,0384965 | 25,9764 | 90,8015 | 4107,41 | 0,0613644 |
| 128 | 0,0387996 | 25,7734 | 1,6448 | 4109,06 | 0,061389 |
| 129 | 0,0391028 | 25,5736 | 27,9803 | 4137,04 | 0,061807 |
| 130 | 0,0394059 | 25,3769 | 34,7796 | 4171,82 | 0,0623266 |
| 131 | 0,039709 | 25,1832 | 11,4168 | 4183,23 | 0,0624972 |
| 132 | 0,0400121 | 24,9924 | 57,2234 | 4240,46 | 0,0633521 |
| 133 | 0,0403152 | 24,8045 | 27,415 | 4267,87 | 0,0637617 |
| 134 | 0,0406184 | 24,6194 | 48,327 | 4316,2 | 0,0644837 |
| 135 | 0,0409215 | 24,437 | 88,7979 | 4405,0 | 0,0658103 |
| 136 | 0,0412246 | 24,2574 | 7,23296 | 4412,23 | 0,0659184 |
| 137 | 0,0415277 | 24,0803 | 119,427 | 4531,66 | 0,0677026 |
| 138 | 0,0418309 | 23,9058 | 38,9616 | 4570,62 | 0,0682847 |
| 139 | 0,042134 | 23,7338 | 17,9323 | 4588,55 | 0,0685526 |
| 140 | 0,0424371 | 23,5643 | 88,0684 | 4676,62 | 0,0698683 |
| 141 | 0,0427402 | 23,3972 | 49,5709 | 4726,19 | 0,0706089 |
| 142 | 0,0430433 | 23,2324 | 66,279 | 4792,47 | 0,0715991 |
| 143 | 0,0433465 | 23,0699 | 63,7393 | 4856,21 | 0,0725514 |
| 144 | 0,0436496 | 22,9097 | 46,6943 | 4902,9 | 0,073249 |
| 145 | 0,0439527 | 22,7517 | 49,5642 | 4952,47 | 0,0739895 |
| 146 | 0,0442558 | 22,5959 | 18,907 | 4971,38 | 0,074272 |
| 147 | 0,044559 | 22,4422 | 44,7983 | 5016,17 | 0,0749412 |
| 148 | 0,0448621 | 22,2905 | 20,7504 | 5036,92 | 0,0752513 |
| 149 | 0,0451652 | 22,1409 | 2,8921 | 5039,82 | 0,0752945 |
| 150 | 0,0454683 | 21,9933 | 31,7209 | 5071,54 | 0,0757684 |
| 151 | 0,0457714 | 21,8477 | 0,117023 | 5071,65 | 0,0757701 |
| 152 | 0,0460746 | 21,7039 | 17,4522 | 5089,11 | 0,0760308 |
| 153 | 0,0463777 | 21,5621 | 38,413 | 5127,52 | 0,0766047 |
| 154 | 0,0466808 | 21,4221 | 1,66989 | 5129,19 | 0,0766297 |
| 155 | 0,0469839 | 21,2839 | 40,4424 | 5169,63 | 0,0772339 |
| 156 | 0,0472871 | 21,1474 | 7,07303 | 5176,7 | 0,0773396 |
| 157 | 0,0475902 | 21,0127 | 23,2338 | 5199,94 | 0,0776867 |
| 158 | 0,0478933 | 20,8797 | 26,6047 | 5226,54 | 0,0780841 |
| 159 | 0,0481964 | 20,7484 | 3,88141 | 5230,42 | 0,0781421 |
| 160 | 0,0484995 | 20,6188 | 73,2287 | 5303,65 | 0,0792362 |
| 161 | 0,0488027 | 20,4907 | 52,9258 | 5356,58 | 0,0800269 |
| 162 | 0,0491058 | 20,3642 | 7,47451 | 5364,05 | 0,0801385 |
| 163 | 0,0494089 | 20,2393 | 17,6281 | 5381,68 | 0,0804019 |
| 164 | 0,049712 | 20,1159 | 7,62842 | 5389,31 | 0,0805159 |
| 165 | 0,0500152 | 19,9939 | 35,3074 | 5424,62 | 0,0810434 |
| 166 | 0,0503183 | 19,8735 | 19,0602 | 5443,68 | 0,0813281 |
| 167 | 0,0506214 | 19,7545 | 2,84843 | 5446,53 | 0,0813707 |
| 168 | 0,0509245 | 19,6369 | 33,95 | 5480,48 | 0,0818779 |
| 169 | 0,0512276 | 19,5207 | 0,444164 | 5480,92 | 0,0818845 |

| | | | | | |
|-----|-----------|---------|----------|---------|-----------|
| 170 | 0,0515308 | 19,4059 | 32,2389 | 5513,16 | 0,0823662 |
| 171 | 0,0518339 | 19,2924 | 29,2729 | 5542,43 | 0,0828035 |
| 172 | 0,052137 | 19,1802 | 15,4473 | 5557,88 | 0,0830343 |
| 173 | 0,0524401 | 19,0694 | 19,8822 | 5577,76 | 0,0833313 |
| 174 | 0,0527433 | 18,9598 | 35,9936 | 5613,75 | 0,0838691 |
| 175 | 0,0530464 | 18,8514 | 12,3317 | 5626,09 | 0,0840533 |
| 176 | 0,0533495 | 18,7443 | 3,36801 | 5629,45 | 0,0841036 |
| 177 | 0,0536526 | 18,6384 | 9,29606 | 5638,75 | 0,0842425 |
| 178 | 0,0539557 | 18,5337 | 4,15126 | 5642,9 | 0,0843045 |
| 179 | 0,0542589 | 18,4302 | 3,14228 | 5646,04 | 0,0843515 |
| 180 | 0,054562 | 18,3278 | 1,68763 | 5647,73 | 0,0843767 |
| 181 | 0,0548651 | 18,2265 | 2,45969 | 5650,19 | 0,0844134 |
| 182 | 0,0551682 | 18,1264 | 5,69012 | 5655,88 | 0,0844984 |
| 183 | 0,0554714 | 18,0273 | 19,7317 | 5675,61 | 0,0847932 |
| 184 | 0,0557745 | 17,9293 | 9,27873 | 5684,89 | 0,0849318 |
| 185 | 0,0560776 | 17,8324 | 10,5135 | 5695,41 | 0,0850889 |
| 186 | 0,0563807 | 17,7366 | 24,9894 | 5720,39 | 0,0854623 |
| 187 | 0,0566838 | 17,6417 | 6,14441 | 5726,54 | 0,0855541 |
| 188 | 0,056987 | 17,5479 | 5,60918 | 5732,15 | 0,0856379 |
| 189 | 0,0572901 | 17,455 | 12,5394 | 5744,69 | 0,0858252 |
| 190 | 0,0575932 | 17,3632 | 0,274476 | 5744,96 | 0,0858293 |
| 191 | 0,0578963 | 17,2723 | 3,64019 | 5748,6 | 0,0858837 |
| 192 | 0,0581995 | 17,1823 | 6,0707 | 5754,67 | 0,0859744 |
| 193 | 0,0585026 | 17,0933 | 0,699174 | 5755,37 | 0,0859848 |
| 194 | 0,0588057 | 17,0052 | 5,01871 | 5760,39 | 0,0860598 |
| 195 | 0,0591088 | 16,9179 | 8,07524 | 5768,47 | 0,0861804 |
| 196 | 0,0594119 | 16,8316 | 2,33365 | 5770,8 | 0,0862153 |
| 197 | 0,0597151 | 16,7462 | 15,8451 | 5786,65 | 0,086452 |
| 198 | 0,0600182 | 16,6616 | 5,85551 | 5792,5 | 0,0865395 |
| 199 | 0,0603213 | 16,5779 | 0,779453 | 5793,28 | 0,0865512 |
| 200 | 0,0606244 | 16,495 | 16,4627 | 5809,74 | 0,0867971 |
| 201 | 0,0609276 | 16,4129 | 18,4627 | 5828,21 | 0,0870729 |
| 202 | 0,0612307 | 16,3317 | 2,24405 | 5830,45 | 0,0871065 |
| 203 | 0,0615338 | 16,2512 | 4,1843 | 5834,63 | 0,087169 |
| 204 | 0,0618369 | 16,1716 | 36,5819 | 5871,22 | 0,0877155 |
| 205 | 0,06214 | 16,0927 | 6,83436 | 5878,05 | 0,0878176 |
| 206 | 0,0624432 | 16,0146 | 12,7451 | 5890,8 | 0,088008 |
| 207 | 0,0627463 | 15,9372 | 10,3783 | 5901,17 | 0,0881631 |
| 208 | 0,0630494 | 15,8606 | 61,7145 | 5962,89 | 0,0890851 |
| 209 | 0,0633525 | 15,7847 | 9,1305 | 5972,02 | 0,0892215 |
| 210 | 0,0636557 | 15,7095 | 12,371 | 5984,39 | 0,0894063 |
| 211 | 0,0639588 | 15,6351 | 26,2709 | 6010,66 | 0,0897988 |
| 212 | 0,0642619 | 15,5613 | 20,9979 | 6031,66 | 0,0901125 |
| 213 | 0,064565 | 15,4883 | 88,8765 | 6120,53 | 0,0914403 |
| 214 | 0,0648681 | 15,4159 | 6,81439 | 6127,35 | 0,0915421 |
| 215 | 0,0651713 | 15,3442 | 17,0282 | 6144,38 | 0,0917965 |
| 216 | 0,0654744 | 15,2731 | 157,775 | 6302,15 | 0,0941537 |
| 217 | 0,0657775 | 15,2028 | 23,1534 | 6325,31 | 0,0944996 |
| 218 | 0,0660806 | 15,133 | 39,957 | 6365,26 | 0,0950965 |
| 219 | 0,0663838 | 15,0639 | 11,5371 | 6376,8 | 0,0952689 |
| 220 | 0,0666869 | 14,9955 | 32,0314 | 6408,83 | 0,0957474 |
| 221 | 0,06699 | 14,9276 | 41,2554 | 6450,09 | 0,0963638 |
| 222 | 0,0672931 | 14,8604 | 9,5549 | 6459,64 | 0,0965065 |
| 223 | 0,0675962 | 14,7937 | 39,2668 | 6498,91 | 0,0970932 |
| 224 | 0,0678994 | 14,7277 | 17,3858 | 6516,29 | 0,0973529 |
| 225 | 0,0682025 | 14,6622 | 23,6241 | 6539,92 | 0,0977059 |
| 226 | 0,0685056 | 14,5973 | 32,0307 | 6571,95 | 0,0981844 |
| 227 | 0,0688087 | 14,533 | 12,8097 | 6584,76 | 0,0983758 |
| 228 | 0,0691119 | 14,4693 | 54,7683 | 6639,53 | 0,099194 |
| 229 | 0,069415 | 14,4061 | 34,1362 | 6673,66 | 0,099704 |
| 230 | 0,0697181 | 14,3435 | 4,5379 | 6678,2 | 0,0997718 |
| 231 | 0,0700212 | 14,2814 | 52,5146 | 6730,72 | 0,100556 |
| 232 | 0,0703243 | 14,2198 | 50,0542 | 6780,77 | 0,101304 |

| | | | | | |
|-----|-----------|---------|----------|---------|----------|
| 233 | 0,0706275 | 14,1588 | 0,444735 | 6781,21 | 0,101311 |
| 234 | 0,0709306 | 14,0983 | 5,57585 | 6786,79 | 0,101394 |
| 235 | 0,0712337 | 14,0383 | 4,69728 | 6791,49 | 0,101464 |
| 236 | 0,0715368 | 13,9788 | 0,790511 | 6792,28 | 0,101476 |
| 237 | 0,07184 | 13,9198 | 0,761675 | 6793,04 | 0,101487 |
| 238 | 0,0721431 | 13,8613 | 2,71891 | 6795,76 | 0,101528 |
| 239 | 0,0724462 | 13,8033 | 19,4747 | 6815,23 | 0,101819 |
| 240 | 0,0727493 | 13,7458 | 4,16476 | 6819,4 | 0,101881 |
| 241 | 0,0730524 | 13,6888 | 17,9823 | 6837,38 | 0,10215 |
| 242 | 0,0733556 | 13,6322 | 10,2428 | 6847,62 | 0,102303 |
| 243 | 0,0736587 | 13,5761 | 18,595 | 6866,22 | 0,102581 |
| 244 | 0,0739618 | 13,5205 | 6,66752 | 6872,89 | 0,10268 |
| 245 | 0,0742649 | 13,4653 | 4,32271 | 6877,21 | 0,102745 |
| 246 | 0,0745681 | 13,4106 | 45,362 | 6922,57 | 0,103423 |
| 247 | 0,0748712 | 13,3563 | 55,2886 | 6977,86 | 0,104249 |
| 248 | 0,0751743 | 13,3024 | 2,88105 | 6980,74 | 0,104292 |
| 249 | 0,0754774 | 13,249 | 38,7606 | 7019,5 | 0,104871 |
| 250 | 0,0757805 | 13,196 | 8,13096 | 7027,63 | 0,104992 |
| 251 | 0,0760837 | 13,1434 | 15,9471 | 7043,58 | 0,105231 |
| 252 | 0,0763868 | 13,0913 | 5,91115 | 7049,49 | 0,105319 |
| 253 | 0,0766899 | 13,0395 | 13,2686 | 7062,76 | 0,105517 |
| 254 | 0,076993 | 12,9882 | 13,2228 | 7075,98 | 0,105715 |
| 255 | 0,0772962 | 12,9373 | 8,07171 | 7084,05 | 0,105835 |
| 256 | 0,0775993 | 12,8867 | 3,89201 | 7087,95 | 0,105893 |
| 257 | 0,0779024 | 12,8366 | 0,463526 | 7088,41 | 0,1059 |
| 258 | 0,0782055 | 12,7868 | 23,5508 | 7111,96 | 0,106252 |
| 259 | 0,0785086 | 12,7375 | 3,08793 | 7115,05 | 0,106298 |
| 260 | 0,0788118 | 12,6885 | 6,0425 | 7121,09 | 0,106389 |
| 261 | 0,0791149 | 12,6398 | 2,68371 | 7123,77 | 0,106429 |
| 262 | 0,079418 | 12,5916 | 8,63926 | 7132,41 | 0,106558 |
| 263 | 0,0797211 | 12,5437 | 20,7436 | 7153,16 | 0,106868 |
| 264 | 0,0800242 | 12,4962 | 3,13143 | 7156,29 | 0,106914 |
| 265 | 0,0803274 | 12,4491 | 6,20074 | 7162,49 | 0,107007 |
| 266 | 0,0806305 | 12,4023 | 13,9717 | 7176,46 | 0,107216 |
| 267 | 0,0809336 | 12,3558 | 3,22116 | 7179,68 | 0,107264 |
| 268 | 0,0812367 | 12,3097 | 11,5877 | 7191,27 | 0,107437 |
| 269 | 0,0815399 | 12,2639 | 0,725999 | 7192,0 | 0,107448 |
| 270 | 0,081843 | 12,2185 | 2,18239 | 7194,18 | 0,10748 |
| 271 | 0,0821461 | 12,1734 | 8,27216 | 7202,45 | 0,107604 |
| 272 | 0,0824492 | 12,1287 | 0,182962 | 7202,63 | 0,107607 |
| 273 | 0,0827523 | 12,0842 | 5,17795 | 7207,81 | 0,107684 |
| 274 | 0,0830555 | 12,0401 | 6,92036 | 7214,73 | 0,107788 |
| 275 | 0,0833586 | 11,9964 | 7,40404 | 7222,13 | 0,107898 |
| 276 | 0,0836617 | 11,9529 | 23,6877 | 7245,82 | 0,108252 |
| 277 | 0,0839648 | 11,9097 | 4,86655 | 7250,69 | 0,108325 |
| 278 | 0,084268 | 11,8669 | 27,0329 | 7277,72 | 0,108729 |
| 279 | 0,0845711 | 11,8244 | 24,523 | 7302,25 | 0,109095 |
| 280 | 0,0848742 | 11,7821 | 53,2816 | 7355,53 | 0,109891 |
| 281 | 0,0851773 | 11,7402 | 7,94151 | 7363,47 | 0,11001 |
| 282 | 0,0854804 | 11,6986 | 31,9005 | 7395,37 | 0,110486 |
| 283 | 0,0857836 | 11,6572 | 15,7259 | 7411,09 | 0,110721 |
| 284 | 0,0860867 | 11,6162 | 9,81764 | 7420,91 | 0,110868 |
| 285 | 0,0863898 | 11,5754 | 4,23573 | 7425,15 | 0,110931 |
| 286 | 0,0866929 | 11,535 | 3,66146 | 7428,81 | 0,110986 |
| 287 | 0,0869961 | 11,4948 | 0,764014 | 7429,57 | 0,110997 |
| 288 | 0,0872992 | 11,4549 | 4,19598 | 7433,77 | 0,11106 |
| 289 | 0,0876023 | 11,4152 | 20,4669 | 7454,24 | 0,111366 |
| 290 | 0,0879054 | 11,3759 | 9,74921 | 7463,99 | 0,111511 |
| 291 | 0,0882085 | 11,3368 | 2,1127 | 7466,1 | 0,111543 |
| 292 | 0,0885117 | 11,2979 | 1,49212 | 7467,59 | 0,111565 |
| 293 | 0,0888148 | 11,2594 | 42,209 | 7509,8 | 0,112196 |
| 294 | 0,0891179 | 11,2211 | 9,09029 | 7518,89 | 0,112332 |
| 295 | 0,089421 | 11,1831 | 3,97185 | 7522,86 | 0,112391 |

| | | | | | |
|-----|-----------|---------|----------|---------|----------|
| 296 | 0,0897242 | 11,1453 | 6,7073 | 7529,57 | 0,112491 |
| 297 | 0,0900273 | 11,1077 | 32,4379 | 7562,01 | 0,112976 |
| 298 | 0,0903304 | 11,0705 | 32,1648 | 7594,17 | 0,113456 |
| 299 | 0,0906335 | 11,0334 | 4,96765 | 7599,14 | 0,113531 |
| 300 | 0,0909366 | 10,9967 | 8,464 | 7607,6 | 0,113657 |
| 301 | 0,0912398 | 10,9601 | 22,6331 | 7630,24 | 0,113995 |
| 302 | 0,0915429 | 10,9238 | 1,61638 | 7631,85 | 0,114019 |
| 303 | 0,091846 | 10,8878 | 53,5983 | 7685,45 | 0,11482 |
| 304 | 0,0921491 | 10,852 | 3,07009 | 7688,52 | 0,114866 |
| 305 | 0,0924523 | 10,8164 | 30,1938 | 7718,71 | 0,115317 |
| 306 | 0,0927554 | 10,781 | 7,42489 | 7726,14 | 0,115428 |
| 307 | 0,0930585 | 10,7459 | 14,7924 | 7740,93 | 0,115649 |
| 308 | 0,0933616 | 10,711 | 37,8441 | 7778,78 | 0,116214 |
| 309 | 0,0936647 | 10,6764 | 8,25011 | 7787,03 | 0,116338 |
| 310 | 0,0939679 | 10,6419 | 35,0323 | 7822,06 | 0,116861 |
| 311 | 0,094271 | 10,6077 | 6,366 | 7828,42 | 0,116956 |
| 312 | 0,0945741 | 10,5737 | 0,790669 | 7829,22 | 0,116968 |
| 313 | 0,0948772 | 10,5399 | 39,6229 | 7868,84 | 0,11756 |
| 314 | 0,0951804 | 10,5064 | 15,6001 | 7884,44 | 0,117793 |
| 315 | 0,0954835 | 10,473 | 38,5385 | 7922,98 | 0,118369 |
| 316 | 0,0957866 | 10,4399 | 29,24 | 7952,22 | 0,118806 |
| 317 | 0,0960897 | 10,4069 | 1,04824 | 7953,27 | 0,118821 |
| 318 | 0,0963928 | 10,3742 | 9,29367 | 7962,56 | 0,11896 |
| 319 | 0,096696 | 10,3417 | 18,6225 | 7981,18 | 0,119238 |
| 320 | 0,0969991 | 10,3094 | 6,93707 | 7988,12 | 0,119342 |
| 321 | 0,0973022 | 10,2773 | 11,235 | 7999,35 | 0,11951 |
| 322 | 0,0976053 | 10,2453 | 19,1955 | 8018,55 | 0,119796 |
| 323 | 0,0979085 | 10,2136 | 12,6745 | 8031,22 | 0,119986 |
| 324 | 0,0982116 | 10,1821 | 7,2829 | 8038,51 | 0,120095 |
| 325 | 0,0985147 | 10,1508 | 8,13301 | 8046,64 | 0,120216 |
| 326 | 0,0988178 | 10,1196 | 9,4589 | 8056,1 | 0,120357 |
| 327 | 0,0991209 | 10,0887 | 27,3662 | 8083,46 | 0,120766 |
| 328 | 0,0994241 | 10,0579 | 1,10159 | 8084,57 | 0,120783 |
| 329 | 0,0997272 | 10,0274 | 13,3147 | 8097,88 | 0,120982 |
| 330 | 0,10003 | 9,99697 | 3,47729 | 8101,36 | 0,121034 |
| 331 | 0,100333 | 9,96677 | 7,65231 | 8109,01 | 0,121148 |
| 332 | 0,100637 | 9,93675 | 3,2617 | 8112,27 | 0,121197 |
| 333 | 0,10094 | 9,90691 | 4,13015 | 8116,4 | 0,121258 |
| 334 | 0,101243 | 9,87725 | 6,92152 | 8123,32 | 0,121362 |
| 335 | 0,101546 | 9,84776 | 33,0415 | 8156,37 | 0,121855 |
| 336 | 0,101849 | 9,81845 | 10,9364 | 8167,3 | 0,122019 |
| 337 | 0,102152 | 9,78932 | 78,6128 | 8245,91 | 0,123193 |
| 338 | 0,102455 | 9,76036 | 29,9513 | 8275,87 | 0,123641 |
| 339 | 0,102758 | 9,73156 | 22,3992 | 8298,26 | 0,123975 |
| 340 | 0,103062 | 9,70294 | 46,3829 | 8344,65 | 0,124668 |
| 341 | 0,103365 | 9,67449 | 10,9484 | 8355,6 | 0,124832 |
| 342 | 0,103668 | 9,6462 | 19,0135 | 8374,61 | 0,125116 |
| 343 | 0,103971 | 9,61808 | 16,6584 | 8391,27 | 0,125365 |
| 344 | 0,104274 | 9,59012 | 27,0904 | 8418,36 | 0,12577 |
| 345 | 0,104577 | 9,56232 | 15,9137 | 8434,27 | 0,126007 |
| 346 | 0,10488 | 9,53468 | 3,62059 | 8437,89 | 0,126061 |
| 347 | 0,105183 | 9,5072 | 43,6138 | 8481,51 | 0,126713 |
| 348 | 0,105487 | 9,47989 | 4,89292 | 8486,4 | 0,126786 |
| 349 | 0,10579 | 9,45272 | 25,3031 | 8511,7 | 0,127164 |
| 350 | 0,106093 | 9,42571 | 63,8966 | 8575,6 | 0,128119 |
| 351 | 0,106396 | 9,39886 | 30,9621 | 8606,56 | 0,128581 |
| 352 | 0,106699 | 9,37216 | 4,46137 | 8611,02 | 0,128648 |
| 353 | 0,107002 | 9,34561 | 69,4818 | 8680,5 | 0,129686 |
| 354 | 0,107305 | 9,31921 | 0,180157 | 8680,68 | 0,129689 |
| 355 | 0,107608 | 9,29296 | 42,7863 | 8723,47 | 0,130328 |
| 356 | 0,107911 | 9,26685 | 58,8978 | 8782,37 | 0,131208 |
| 357 | 0,108215 | 9,2409 | 19,1562 | 8801,52 | 0,131494 |
| 358 | 0,108518 | 9,21508 | 24,3744 | 8825,9 | 0,131858 |

| | | | | | |
|-----|----------|---------|---------|---------|----------|
| 359 | 0,108821 | 9,18942 | 17,871 | 8843,77 | 0,132125 |
| 360 | 0,109124 | 9,16389 | 15,4456 | 8859,22 | 0,132356 |
| 361 | 0,109427 | 9,1385 | 36,0205 | 8895,24 | 0,132894 |
| 362 | 0,10973 | 9,11326 | 40,0264 | 8935,26 | 0,133492 |
| 363 | 0,110033 | 9,08815 | 61,7487 | 8997,01 | 0,134415 |
| 364 | 0,110336 | 9,06319 | 20,4793 | 9017,49 | 0,134721 |
| 365 | 0,11064 | 9,03836 | 22,1537 | 9039,64 | 0,135052 |
| 366 | 0,110943 | 9,01366 | 15,2353 | 9054,88 | 0,135279 |
| 367 | 0,111246 | 8,9891 | 9,78479 | 9064,66 | 0,135425 |
| 368 | 0,111549 | 8,96467 | 47,4097 | 9112,07 | 0,136134 |
| 369 | 0,111852 | 8,94038 | 13,1372 | 9125,21 | 0,13633 |
| 370 | 0,112155 | 8,91622 | 35,8301 | 9161,04 | 0,136865 |
| 371 | 0,112458 | 8,89218 | 41,7932 | 9202,83 | 0,13749 |
| 372 | 0,112761 | 8,86828 | 10,2672 | 9213,1 | 0,137643 |
| 373 | 0,113065 | 8,8445 | 73,5868 | 9286,69 | 0,138742 |
| 374 | 0,113368 | 8,82086 | 28,5479 | 9315,24 | 0,139169 |
| 375 | 0,113671 | 8,79733 | 25,4052 | 9340,64 | 0,139548 |
| 376 | 0,113974 | 8,77394 | 22,8121 | 9363,45 | 0,139889 |
| 377 | 0,114277 | 8,75066 | 14,3463 | 9377,8 | 0,140104 |
| 378 | 0,11458 | 8,72751 | 19,0781 | 9396,88 | 0,140389 |
| 379 | 0,114883 | 8,70449 | 43,9579 | 9440,84 | 0,141045 |
| 380 | 0,115186 | 8,68158 | 26,0038 | 9466,84 | 0,141434 |
| 381 | 0,11549 | 8,65879 | 40,7185 | 9507,56 | 0,142042 |
| 382 | 0,115793 | 8,63613 | 22,6799 | 9530,24 | 0,142381 |
| 383 | 0,116096 | 8,61358 | 53,8662 | 9584,1 | 0,143186 |
| 384 | 0,116399 | 8,59115 | 56,4074 | 9640,51 | 0,144029 |
| 385 | 0,116702 | 8,56883 | 36,0129 | 9676,52 | 0,144567 |
| 386 | 0,117005 | 8,54663 | 93,9661 | 9770,49 | 0,14597 |
| 387 | 0,117308 | 8,52455 | 68,0893 | 9838,58 | 0,146988 |
| 388 | 0,117611 | 8,50258 | 11,3545 | 9849,93 | 0,147157 |
| 389 | 0,117915 | 8,48072 | 42,9236 | 9892,86 | 0,147799 |
| 390 | 0,118218 | 8,45897 | 26,2414 | 9919,1 | 0,148191 |
| 391 | 0,118521 | 8,43734 | 20,8102 | 9939,91 | 0,148501 |
| 392 | 0,118824 | 8,41582 | 62,0855 | 10002,0 | 0,149429 |
| 393 | 0,119127 | 8,3944 | 50,158 | 10052,2 | 0,150178 |
| 394 | 0,11943 | 8,3731 | 29,3774 | 10081,5 | 0,150617 |
| 395 | 0,119733 | 8,3519 | 49,2745 | 10130,8 | 0,151353 |
| 396 | 0,120036 | 8,33081 | 18,9849 | 10149,8 | 0,151637 |
| 397 | 0,120339 | 8,30982 | 28,7013 | 10178,5 | 0,152066 |
| 398 | 0,120643 | 8,28894 | 12,4443 | 10190,9 | 0,152252 |
| 399 | 0,120946 | 8,26817 | 20,4622 | 10211,4 | 0,152557 |
| 400 | 0,121249 | 8,2475 | 44,4222 | 10255,8 | 0,153221 |
| 401 | 0,121552 | 8,22693 | 2,55498 | 10258,4 | 0,153259 |
| 402 | 0,121855 | 8,20647 | 10,9755 | 10269,4 | 0,153423 |
| 403 | 0,122158 | 8,1861 | 7,26654 | 10276,6 | 0,153532 |
| 404 | 0,122461 | 8,16584 | 3,96059 | 10280,6 | 0,153591 |
| 405 | 0,122764 | 8,14568 | 19,9804 | 10300,6 | 0,15389 |
| 406 | 0,123068 | 8,12562 | 3,81974 | 10304,4 | 0,153947 |
| 407 | 0,123371 | 8,10565 | 4,87432 | 10309,3 | 0,154019 |
| 408 | 0,123674 | 8,08578 | 2,91012 | 10312,2 | 0,154063 |
| 409 | 0,123977 | 8,06601 | 2,05767 | 10314,2 | 0,154094 |
| 410 | 0,12428 | 8,04634 | 3,62178 | 10317,8 | 0,154148 |
| 411 | 0,124583 | 8,02676 | 31,7311 | 10349,6 | 0,154622 |
| 412 | 0,124886 | 8,00728 | 18,2335 | 10367,8 | 0,154894 |
| 413 | 0,125189 | 7,98789 | 18,4485 | 10386,3 | 0,15517 |
| 414 | 0,125493 | 7,9686 | 12,2038 | 10398,5 | 0,155352 |
| 415 | 0,125796 | 7,9494 | 7,63388 | 10406,1 | 0,155466 |
| 416 | 0,126099 | 7,93029 | 29,5146 | 10435,6 | 0,155907 |
| 417 | 0,126402 | 7,91127 | 5,11938 | 10440,7 | 0,155984 |
| 418 | 0,126705 | 7,89234 | 19,6476 | 10460,4 | 0,156277 |
| 419 | 0,127008 | 7,87351 | 21,1432 | 10481,5 | 0,156593 |
| 420 | 0,127311 | 7,85476 | 3,02734 | 10484,5 | 0,156638 |
| 421 | 0,127614 | 7,8361 | 7,33068 | 10491,9 | 0,156748 |

| | | | | | |
|-----|----------|---------|----------|---------|----------|
| 422 | 0,127918 | 7,81754 | 4,58634 | 10496,5 | 0,156816 |
| 423 | 0,128221 | 7,79905 | 3,19328 | 10499,7 | 0,156864 |
| 424 | 0,128524 | 7,78066 | 34,3822 | 10534,0 | 0,157378 |
| 425 | 0,128827 | 7,76235 | 34,0162 | 10568,1 | 0,157886 |
| 426 | 0,12913 | 7,74413 | 13,4476 | 10581,5 | 0,158087 |
| 427 | 0,129433 | 7,726 | 13,8511 | 10595,4 | 0,158294 |
| 428 | 0,129736 | 7,70794 | 17,479 | 10612,8 | 0,158555 |
| 429 | 0,130039 | 7,68998 | 0,89889 | 10613,7 | 0,158568 |
| 430 | 0,130343 | 7,67209 | 17,7846 | 10631,5 | 0,158834 |
| 431 | 0,130646 | 7,65429 | 7,40868 | 10638,9 | 0,158945 |
| 432 | 0,130949 | 7,63657 | 6,18092 | 10645,1 | 0,159037 |
| 433 | 0,131252 | 7,61894 | 11,4416 | 10656,5 | 0,159208 |
| 434 | 0,131555 | 7,60138 | 0,572252 | 10657,1 | 0,159217 |
| 435 | 0,131858 | 7,58391 | 7,04099 | 10664,2 | 0,159322 |
| 436 | 0,132161 | 7,56651 | 8,30804 | 10672,5 | 0,159446 |
| 437 | 0,132464 | 7,5492 | 5,55001 | 10678,0 | 0,159529 |
| 438 | 0,132768 | 7,53196 | 1,89788 | 10679,9 | 0,159557 |
| 439 | 0,133071 | 7,51481 | 1,55518 | 10681,5 | 0,15958 |
| 440 | 0,133374 | 7,49773 | 1,16237 | 10682,6 | 0,159598 |
| 441 | 0,133677 | 7,48073 | 5,49627 | 10688,1 | 0,15968 |
| 442 | 0,13398 | 7,4638 | 12,8132 | 10700,9 | 0,159871 |
| 443 | 0,134283 | 7,44695 | 9,80664 | 10710,7 | 0,160018 |
| 444 | 0,134586 | 7,43018 | 1,27959 | 10712,0 | 0,160037 |
| 445 | 0,134889 | 7,41348 | 11,516 | 10723,5 | 0,160209 |
| 446 | 0,135192 | 7,39686 | 2,06026 | 10725,6 | 0,16024 |
| 447 | 0,135496 | 7,38031 | 18,8706 | 10744,5 | 0,160522 |
| 448 | 0,135799 | 7,36384 | 27,6102 | 10772,1 | 0,160934 |
| 449 | 0,136102 | 7,34744 | 12,0847 | 10784,2 | 0,161115 |
| 450 | 0,136405 | 7,33111 | 5,60741 | 10789,8 | 0,161198 |
| 451 | 0,136708 | 7,31486 | 4,86472 | 10794,6 | 0,161271 |
| 452 | 0,137011 | 7,29867 | 0,745144 | 10795,4 | 0,161282 |
| 453 | 0,137314 | 7,28256 | 16,9571 | 10812,3 | 0,161536 |
| 454 | 0,137617 | 7,26652 | 23,7854 | 10836,1 | 0,161891 |
| 455 | 0,137921 | 7,25055 | 18,3567 | 10854,5 | 0,162165 |
| 456 | 0,138224 | 7,23465 | 24,0933 | 10878,6 | 0,162525 |
| 457 | 0,138527 | 7,21882 | 3,84092 | 10882,4 | 0,162583 |
| 458 | 0,13883 | 7,20306 | 8,17497 | 10890,6 | 0,162705 |
| 459 | 0,139133 | 7,18736 | 25,8229 | 10916,4 | 0,16309 |
| 460 | 0,139436 | 7,17174 | 15,6201 | 10932,0 | 0,163324 |
| 461 | 0,139739 | 7,15618 | 55,9918 | 10988,0 | 0,16416 |
| 462 | 0,140042 | 7,14069 | 11,9402 | 11000,0 | 0,164339 |
| 463 | 0,140346 | 7,12527 | 27,7135 | 11027,7 | 0,164753 |
| 464 | 0,140649 | 7,10991 | 66,6092 | 11094,3 | 0,165748 |
| 465 | 0,140952 | 7,09462 | 9,47795 | 11103,8 | 0,165889 |
| 466 | 0,141255 | 7,0794 | 34,2929 | 11138,1 | 0,166402 |
| 467 | 0,141558 | 7,06424 | 5,3212 | 11143,4 | 0,166481 |
| 468 | 0,141861 | 7,04915 | 5,71354 | 11149,1 | 0,166567 |
| 469 | 0,142164 | 7,03412 | 33,27 | 11182,4 | 0,167064 |
| 470 | 0,142467 | 7,01915 | 5,65706 | 11188,0 | 0,167148 |
| 471 | 0,142771 | 7,00425 | 85,1847 | 11273,2 | 0,168421 |
| 472 | 0,143074 | 6,98941 | 82,5508 | 11355,8 | 0,169654 |
| 473 | 0,143377 | 6,97463 | 37,0413 | 11392,8 | 0,170208 |
| 474 | 0,14368 | 6,95992 | 58,8713 | 11451,7 | 0,171087 |
| 475 | 0,143983 | 6,94526 | 60,2967 | 11512,0 | 0,171988 |
| 476 | 0,144286 | 6,93067 | 47,7514 | 11559,7 | 0,172701 |
| 477 | 0,144589 | 6,91614 | 6,40756 | 11566,1 | 0,172797 |
| 478 | 0,144892 | 6,90167 | 21,5497 | 11587,7 | 0,173119 |
| 479 | 0,145196 | 6,88727 | 68,3804 | 11656,1 | 0,174141 |
| 480 | 0,145499 | 6,87292 | 31,3125 | 11687,4 | 0,174608 |
| 481 | 0,145802 | 6,85863 | 55,9929 | 11743,4 | 0,175445 |
| 482 | 0,146105 | 6,8444 | 87,6863 | 11831,1 | 0,176755 |
| 483 | 0,146408 | 6,83023 | 33,1131 | 11864,2 | 0,17725 |
| 484 | 0,146711 | 6,81612 | 46,9018 | 11911,1 | 0,17795 |

| | | | | | |
|-----|----------|---------|---------|---------|----------|
| 485 | 0,147014 | 6,80206 | 64,5913 | 11975,7 | 0,178915 |
| 486 | 0,147317 | 6,78807 | 15,3666 | 11991,0 | 0,179145 |
| 487 | 0,14762 | 6,77413 | 86,7791 | 12077,8 | 0,180441 |
| 488 | 0,147924 | 6,76025 | 18,1495 | 12096,0 | 0,180713 |
| 489 | 0,148227 | 6,74642 | 48,934 | 12144,9 | 0,181444 |
| 490 | 0,14853 | 6,73265 | 14,3088 | 12159,2 | 0,181657 |
| 491 | 0,148833 | 6,71894 | 70,2758 | 12229,5 | 0,182707 |
| 492 | 0,149136 | 6,70528 | 14,3855 | 12243,9 | 0,182922 |
| 493 | 0,149439 | 6,69168 | 21,1484 | 12265,0 | 0,183238 |
| 494 | 0,149742 | 6,67814 | 15,9185 | 12280,9 | 0,183476 |
| 495 | 0,150045 | 6,66465 | 4,4995 | 12285,4 | 0,183543 |
| 496 | 0,150349 | 6,65121 | 4,49354 | 12289,9 | 0,18361 |
| 497 | 0,150652 | 6,63783 | 39,4337 | 12329,4 | 0,1842 |
| 498 | 0,150955 | 6,6245 | 5,48549 | 12334,8 | 0,184281 |
| 499 | 0,151258 | 6,61122 | 28,779 | 12363,6 | 0,184711 |
| 500 | 0,151561 | 6,598 | 13,7423 | 12377,4 | 0,184917 |
| 501 | 0,151864 | 6,58483 | 81,5291 | 12458,9 | 0,186135 |
| 502 | 0,152167 | 6,57171 | 1,24953 | 12460,1 | 0,186153 |
| 503 | 0,15247 | 6,55865 | 17,3917 | 12477,5 | 0,186413 |
| 504 | 0,152774 | 6,54563 | 13,9101 | 12491,4 | 0,186621 |
| 505 | 0,153077 | 6,53267 | 6,68557 | 12498,1 | 0,186721 |
| 506 | 0,15338 | 6,51976 | 2,49284 | 12500,6 | 0,186758 |
| 507 | 0,153683 | 6,5069 | 4,87271 | 12505,5 | 0,186831 |
| 508 | 0,153986 | 6,49409 | 9,34829 | 12514,8 | 0,186971 |
| 509 | 0,154289 | 6,48134 | 1,45171 | 12516,3 | 0,186992 |
| 510 | 0,154592 | 6,46863 | 12,6538 | 12528,9 | 0,187181 |
| 511 | 0,154895 | 6,45597 | 8,15694 | 12537,1 | 0,187303 |
| 512 | 0,155199 | 6,44336 | 5,26093 | 12542,4 | 0,187382 |
| 513 | 0,155502 | 6,4308 | 28,0606 | 12570,4 | 0,187801 |
| 514 | 0,155805 | 6,41829 | 26,646 | 12597,1 | 0,188199 |
| 515 | 0,156108 | 6,40583 | 16,8455 | 12613,9 | 0,188451 |
| 516 | 0,156411 | 6,39341 | 54,6167 | 12668,5 | 0,189267 |
| 517 | 0,156714 | 6,38104 | 51,1627 | 12719,7 | 0,190031 |
| 518 | 0,157017 | 6,36873 | 13,8583 | 12733,6 | 0,190238 |
| 519 | 0,15732 | 6,35645 | 35,3939 | 12768,9 | 0,190767 |
| 520 | 0,157624 | 6,34423 | 2,75529 | 12771,7 | 0,190808 |
| 521 | 0,157927 | 6,33205 | 14,6658 | 12786,4 | 0,191027 |
| 522 | 0,15823 | 6,31992 | 18,3095 | 12804,7 | 0,191301 |
| 523 | 0,158533 | 6,30784 | 15,4934 | 12820,2 | 0,191532 |
| 524 | 0,158836 | 6,2958 | 23,3924 | 12843,6 | 0,191882 |
| 525 | 0,159139 | 6,28381 | 25,1183 | 12868,7 | 0,192257 |
| 526 | 0,159442 | 6,27186 | 9,13232 | 12877,8 | 0,192394 |
| 527 | 0,159745 | 6,25996 | 10,4897 | 12888,3 | 0,19255 |
| 528 | 0,160048 | 6,24811 | 18,7704 | 12907,1 | 0,192831 |
| 529 | 0,160352 | 6,23629 | 9,96107 | 12917,0 | 0,192979 |
| 530 | 0,160655 | 6,22453 | 73,5766 | 12990,6 | 0,194079 |
| 531 | 0,160958 | 6,21281 | 5,42194 | 12996,0 | 0,19416 |
| 532 | 0,161261 | 6,20113 | 31,9191 | 13028,0 | 0,194637 |
| 533 | 0,161564 | 6,18949 | 9,02222 | 13037,0 | 0,194771 |
| 534 | 0,161867 | 6,1779 | 34,5987 | 13071,6 | 0,195288 |
| 535 | 0,16217 | 6,16636 | 67,0138 | 13138,6 | 0,196289 |
| 536 | 0,162473 | 6,15485 | 11,3585 | 13149,9 | 0,196459 |
| 537 | 0,162777 | 6,14339 | 26,3642 | 13176,3 | 0,196853 |
| 538 | 0,16308 | 6,13197 | 53,9218 | 13230,2 | 0,197659 |
| 539 | 0,163383 | 6,12059 | 30,8859 | 13261,1 | 0,19812 |
| 540 | 0,163686 | 6,10926 | 33,0209 | 13294,1 | 0,198613 |
| 541 | 0,163989 | 6,09797 | 1,91266 | 13296,0 | 0,198642 |
| 542 | 0,164292 | 6,08672 | 8,89067 | 13304,9 | 0,198775 |
| 543 | 0,164595 | 6,07551 | 79,8873 | 13384,8 | 0,199968 |
| 544 | 0,164898 | 6,06434 | 19,633 | 13404,5 | 0,200262 |
| 545 | 0,165202 | 6,05321 | 42,0237 | 13446,5 | 0,200889 |
| 546 | 0,165505 | 6,04212 | 1,54871 | 13448,0 | 0,200913 |
| 547 | 0,165808 | 6,03108 | 46,1642 | 13494,2 | 0,201602 |

| | | | | | |
|-----|----------|---------|----------|---------|----------|
| 548 | 0,166111 | 6,02007 | 18,9541 | 13513,2 | 0,201885 |
| 549 | 0,166414 | 6,00911 | 38,6556 | 13551,8 | 0,202463 |
| 550 | 0,166717 | 5,99818 | 25,0644 | 13576,9 | 0,202837 |
| 551 | 0,16702 | 5,9873 | 36,4265 | 13613,3 | 0,203382 |
| 552 | 0,167323 | 5,97645 | 16,6739 | 13630,0 | 0,203631 |
| 553 | 0,167627 | 5,96564 | 2,82411 | 13632,8 | 0,203673 |
| 554 | 0,16793 | 5,95487 | 12,7795 | 13645,6 | 0,203864 |
| 555 | 0,168233 | 5,94414 | 8,21354 | 13653,8 | 0,203987 |
| 556 | 0,168536 | 5,93345 | 1,78101 | 13655,6 | 0,204013 |
| 557 | 0,168839 | 5,9228 | 6,2119 | 13661,8 | 0,204106 |
| 558 | 0,169142 | 5,91219 | 8,38786 | 13670,2 | 0,204231 |
| 559 | 0,169445 | 5,90161 | 29,1319 | 13699,3 | 0,204666 |
| 560 | 0,169748 | 5,89107 | 26,5688 | 13725,9 | 0,205063 |
| 561 | 0,170052 | 5,88057 | 3,66199 | 13729,5 | 0,205118 |
| 562 | 0,170355 | 5,87011 | 11,7934 | 13741,3 | 0,205294 |
| 563 | 0,170658 | 5,85968 | 27,8312 | 13769,2 | 0,20571 |
| 564 | 0,170961 | 5,84929 | 17,592 | 13786,7 | 0,205973 |
| 565 | 0,171264 | 5,83894 | 6,22149 | 13793,0 | 0,206066 |
| 566 | 0,171567 | 5,82862 | 15,6706 | 13808,6 | 0,2063 |
| 567 | 0,17187 | 5,81834 | 24,1958 | 13832,8 | 0,206661 |
| 568 | 0,172173 | 5,8081 | 23,1115 | 13855,9 | 0,207007 |
| 569 | 0,172477 | 5,79789 | 22,4327 | 13878,4 | 0,207342 |
| 570 | 0,17278 | 5,78772 | 30,5339 | 13908,9 | 0,207798 |
| 571 | 0,173083 | 5,77758 | 27,6489 | 13936,6 | 0,208211 |
| 572 | 0,173386 | 5,76748 | 67,9231 | 14004,5 | 0,209226 |
| 573 | 0,173689 | 5,75742 | 5,80187 | 14010,3 | 0,209313 |
| 574 | 0,173992 | 5,74739 | 18,481 | 14028,8 | 0,209589 |
| 575 | 0,174295 | 5,73739 | 92,6901 | 14121,5 | 0,210974 |
| 576 | 0,174598 | 5,72743 | 27,5693 | 14149,0 | 0,211385 |
| 577 | 0,174901 | 5,7175 | 14,41 | 14163,4 | 0,211601 |
| 578 | 0,175205 | 5,70761 | 16,5162 | 14180,0 | 0,211847 |
| 579 | 0,175508 | 5,69775 | 50,8434 | 14230,8 | 0,212607 |
| 580 | 0,175811 | 5,68793 | 11,7071 | 14242,5 | 0,212782 |
| 581 | 0,176114 | 5,67814 | 1,02133 | 14243,5 | 0,212797 |
| 582 | 0,176417 | 5,66838 | 7,80579 | 14251,3 | 0,212914 |
| 583 | 0,17672 | 5,65866 | 37,6467 | 14289,0 | 0,213476 |
| 584 | 0,177023 | 5,64897 | 47,7031 | 14336,7 | 0,214189 |
| 585 | 0,177326 | 5,63932 | 5,23243 | 14341,9 | 0,214267 |
| 586 | 0,17763 | 5,62969 | 14,8518 | 14356,8 | 0,214489 |
| 587 | 0,177933 | 5,6201 | 43,8543 | 14400,6 | 0,215144 |
| 588 | 0,178236 | 5,61054 | 2,27531 | 14402,9 | 0,215178 |
| 589 | 0,178539 | 5,60102 | 12,4541 | 14415,3 | 0,215364 |
| 590 | 0,178842 | 5,59153 | 0,117742 | 14415,5 | 0,215366 |
| 591 | 0,179145 | 5,58206 | 4,3441 | 14419,8 | 0,215431 |
| 592 | 0,179448 | 5,57264 | 13,503 | 14433,3 | 0,215633 |
| 593 | 0,179751 | 5,56324 | 6,71553 | 14440,0 | 0,215733 |
| 594 | 0,180055 | 5,55387 | 7,52588 | 14447,6 | 0,215845 |
| 595 | 0,180358 | 5,54454 | 2,73611 | 14450,3 | 0,215886 |
| 596 | 0,180661 | 5,53523 | 6,35589 | 14456,6 | 0,215981 |
| 597 | 0,180964 | 5,52596 | 88,2628 | 14544,9 | 0,2173 |
| 598 | 0,181267 | 5,51672 | 8,58681 | 14553,5 | 0,217428 |
| 599 | 0,18157 | 5,50751 | 19,3862 | 14572,9 | 0,217718 |
| 600 | 0,181873 | 5,49833 | 7,82371 | 14580,7 | 0,217835 |
| 601 | 0,182176 | 5,48918 | 2,82718 | 14583,5 | 0,217877 |
| 602 | 0,18248 | 5,48007 | 15,3582 | 14598,9 | 0,218106 |
| 603 | 0,182783 | 5,47098 | 2,74881 | 14601,6 | 0,218147 |
| 604 | 0,183086 | 5,46192 | 15,862 | 14617,5 | 0,218384 |
| 605 | 0,183389 | 5,45289 | 50,6118 | 14668,1 | 0,219141 |
| 606 | 0,183692 | 5,44389 | 71,8982 | 14740,0 | 0,220215 |
| 607 | 0,183995 | 5,43493 | 29,3837 | 14769,4 | 0,220654 |
| 608 | 0,184298 | 5,42599 | 60,2467 | 14829,6 | 0,221554 |
| 609 | 0,184601 | 5,41708 | 31,4591 | 14861,1 | 0,222024 |
| 610 | 0,184905 | 5,4082 | 14,329 | 14875,4 | 0,222238 |

| | | | | | |
|-----|----------|---------|---------|---------|----------|
| 611 | 0,185208 | 5,39935 | 35,5869 | 14911,0 | 0,222769 |
| 612 | 0,185511 | 5,39052 | 24,3352 | 14935,4 | 0,223133 |
| 613 | 0,185814 | 5,38173 | 11,9506 | 14947,3 | 0,223312 |
| 614 | 0,186117 | 5,37296 | 15,0021 | 14962,3 | 0,223536 |
| 615 | 0,18642 | 5,36423 | 3,72867 | 14966,0 | 0,223591 |
| 616 | 0,186723 | 5,35552 | 5,18792 | 14971,2 | 0,223669 |
| 617 | 0,187026 | 5,34684 | 37,8956 | 15009,1 | 0,224235 |
| 618 | 0,187329 | 5,33819 | 2,24737 | 15011,4 | 0,224269 |
| 619 | 0,187633 | 5,32956 | 1,23427 | 15012,6 | 0,224287 |
| 620 | 0,187936 | 5,32097 | 20,4605 | 15033,1 | 0,224593 |
| 621 | 0,188239 | 5,3124 | 6,34602 | 15039,4 | 0,224688 |
| 622 | 0,188542 | 5,30386 | 11,8875 | 15051,3 | 0,224865 |
| 623 | 0,188845 | 5,29535 | 6,59226 | 15057,9 | 0,224964 |
| 624 | 0,189148 | 5,28686 | 1,45253 | 15059,3 | 0,224985 |
| 625 | 0,189451 | 5,2784 | 4,39902 | 15063,7 | 0,225051 |
| 626 | 0,189754 | 5,26997 | 31,7599 | 15095,5 | 0,225526 |
| 627 | 0,190058 | 5,26156 | 42,3868 | 15137,9 | 0,226159 |
| 628 | 0,190361 | 5,25318 | 12,9874 | 15150,9 | 0,226353 |
| 629 | 0,190664 | 5,24483 | 40,5773 | 15191,5 | 0,226959 |
| 630 | 0,190967 | 5,23651 | 22,3638 | 15213,8 | 0,227293 |
| 631 | 0,19127 | 5,22821 | 21,5937 | 15235,4 | 0,227616 |
| 632 | 0,191573 | 5,21994 | 66,3237 | 15301,7 | 0,228607 |
| 633 | 0,191876 | 5,21169 | 6,87606 | 15308,6 | 0,228709 |
| 634 | 0,192179 | 5,20347 | 33,7685 | 15342,4 | 0,229214 |
| 635 | 0,192483 | 5,19528 | 22,8769 | 15365,3 | 0,229556 |
| 636 | 0,192786 | 5,18711 | 4,46343 | 15369,7 | 0,229622 |
| 637 | 0,193089 | 5,17896 | 70,9134 | 15440,6 | 0,230682 |
| 638 | 0,193392 | 5,17085 | 39,2407 | 15479,9 | 0,231268 |
| 639 | 0,193695 | 5,16275 | 13,9806 | 15493,9 | 0,231477 |
| 640 | 0,193998 | 5,15469 | 43,5612 | 15537,4 | 0,232128 |
| 641 | 0,194301 | 5,14665 | 42,02 | 15579,4 | 0,232756 |
| 642 | 0,194604 | 5,13863 | 9,64517 | 15589,1 | 0,2329 |
| 643 | 0,194908 | 5,13064 | 28,3365 | 15617,4 | 0,233323 |
| 644 | 0,195211 | 5,12267 | 35,6828 | 15653,1 | 0,233856 |
| 645 | 0,195514 | 5,11473 | 40,491 | 15693,6 | 0,234461 |
| 646 | 0,195817 | 5,10681 | 31,2869 | 15724,9 | 0,234928 |
| 647 | 0,19612 | 5,09892 | 65,975 | 15790,8 | 0,235914 |
| 648 | 0,196423 | 5,09105 | 2,01093 | 15792,9 | 0,235944 |
| 649 | 0,196726 | 5,0832 | 80,9835 | 15873,8 | 0,237154 |
| 650 | 0,197029 | 5,07538 | 5,44552 | 15879,3 | 0,237235 |
| 651 | 0,197333 | 5,06759 | 36,1173 | 15915,4 | 0,237775 |
| 652 | 0,197636 | 5,05982 | 44,5649 | 15960,0 | 0,238441 |
| 653 | 0,197939 | 5,05207 | 11,3838 | 15971,4 | 0,238611 |
| 654 | 0,198242 | 5,04434 | 12,3614 | 15983,7 | 0,238795 |
| 655 | 0,198545 | 5,03664 | 1,57751 | 15985,3 | 0,238819 |
| 656 | 0,198848 | 5,02896 | 2,54652 | 15987,8 | 0,238857 |
| 657 | 0,199151 | 5,02131 | 66,5222 | 16054,4 | 0,239851 |
| 658 | 0,199454 | 5,01368 | 77,5347 | 16131,9 | 0,241009 |
| 659 | 0,199758 | 5,00607 | 34,6055 | 16166,5 | 0,241526 |
| 660 | 0,200061 | 4,99848 | 165,586 | 16332,1 | 0,244 |
| 661 | 0,200364 | 4,99092 | 72,1793 | 16404,3 | 0,245078 |
| 662 | 0,200667 | 4,98338 | 64,369 | 16468,6 | 0,24604 |
| 663 | 0,20097 | 4,97587 | 39,2299 | 16507,9 | 0,246626 |
| 664 | 0,201273 | 4,96837 | 47,529 | 16555,4 | 0,247336 |
| 665 | 0,201576 | 4,9609 | 35,6864 | 16591,1 | 0,247869 |
| 666 | 0,201879 | 4,95345 | 85,8013 | 16676,9 | 0,249151 |
| 667 | 0,202182 | 4,94603 | 51,2377 | 16728,1 | 0,249917 |
| 668 | 0,202486 | 4,93862 | 29,0411 | 16757,2 | 0,250351 |
| 669 | 0,202789 | 4,93124 | 80,2045 | 16837,4 | 0,251549 |
| 670 | 0,203092 | 4,92388 | 17,9512 | 16855,3 | 0,251817 |
| 671 | 0,203395 | 4,91654 | 52,3036 | 16907,6 | 0,252599 |
| 672 | 0,203698 | 4,90923 | 21,6376 | 16929,3 | 0,252922 |
| 673 | 0,204001 | 4,90193 | 39,4438 | 16968,7 | 0,253511 |

| | | | | | |
|-----|----------|---------|---------|---------|----------|
| 674 | 0,204304 | 4,89466 | 73,0899 | 17041,8 | 0,254603 |
| 675 | 0,204607 | 4,88741 | 10,6019 | 17052,4 | 0,254761 |
| 676 | 0,204911 | 4,88018 | 76,4148 | 17128,8 | 0,255903 |
| 677 | 0,205214 | 4,87297 | 21,543 | 17150,4 | 0,256225 |
| 678 | 0,205517 | 4,86578 | 32,5041 | 17182,9 | 0,256711 |
| 679 | 0,20582 | 4,85862 | 64,4387 | 17247,3 | 0,257673 |
| 680 | 0,206123 | 4,85147 | 28,3077 | 17275,6 | 0,258096 |
| 681 | 0,206426 | 4,84435 | 75,2687 | 17350,9 | 0,259221 |
| 682 | 0,206729 | 4,83724 | 120,514 | 17471,4 | 0,261021 |
| 683 | 0,207032 | 4,83016 | 6,31695 | 17477,7 | 0,261116 |
| 684 | 0,207336 | 4,8231 | 121,03 | 17598,7 | 0,262924 |
| 685 | 0,207639 | 4,81606 | 113,96 | 17712,7 | 0,264626 |
| 686 | 0,207942 | 4,80904 | 29,6891 | 17742,4 | 0,26507 |
| 687 | 0,208245 | 4,80204 | 54,6171 | 17797,0 | 0,265886 |
| 688 | 0,208548 | 4,79506 | 50,9349 | 17847,9 | 0,266647 |
| 689 | 0,208851 | 4,7881 | 16,9523 | 17864,9 | 0,2669 |
| 690 | 0,209154 | 4,78116 | 36,3596 | 17901,2 | 0,267443 |
| 691 | 0,209457 | 4,77424 | 74,775 | 17976,0 | 0,26856 |
| 692 | 0,209761 | 4,76734 | 28,9097 | 18004,9 | 0,268992 |
| 693 | 0,210064 | 4,76046 | 44,3422 | 18049,3 | 0,269655 |
| 694 | 0,210367 | 4,7536 | 31,2844 | 18080,6 | 0,270122 |
| 695 | 0,21067 | 4,74676 | 136,499 | 18217,1 | 0,272161 |
| 696 | 0,210973 | 4,73994 | 49,9922 | 18267,0 | 0,272908 |
| 697 | 0,211276 | 4,73314 | 38,4666 | 18305,5 | 0,273483 |
| 698 | 0,211579 | 4,72636 | 100,535 | 18406,1 | 0,274985 |
| 699 | 0,211882 | 4,7196 | 5,42189 | 18411,5 | 0,275066 |
| 700 | 0,212186 | 4,71286 | 50,1396 | 18461,6 | 0,275815 |
| 701 | 0,212489 | 4,70613 | 26,6522 | 18488,3 | 0,276213 |
| 702 | 0,212792 | 4,69943 | 12,3377 | 18500,6 | 0,276398 |
| 703 | 0,213095 | 4,69275 | 32,8136 | 18533,4 | 0,276888 |
| 704 | 0,213398 | 4,68608 | 68,5971 | 18602,0 | 0,277913 |
| 705 | 0,213701 | 4,67943 | 7,76017 | 18609,8 | 0,278029 |
| 706 | 0,214004 | 4,6728 | 47,9581 | 18657,7 | 0,278745 |
| 707 | 0,214307 | 4,6662 | 17,1253 | 18674,9 | 0,279001 |
| 708 | 0,21461 | 4,6596 | 22,8817 | 18697,7 | 0,279343 |
| 709 | 0,214914 | 4,65303 | 20,6619 | 18718,4 | 0,279651 |
| 710 | 0,215217 | 4,64648 | 104,174 | 18822,6 | 0,281208 |
| 711 | 0,21552 | 4,63994 | 91,4919 | 18914,1 | 0,282575 |
| 712 | 0,215823 | 4,63343 | 68,1825 | 18982,2 | 0,283593 |
| 713 | 0,216126 | 4,62693 | 87,0976 | 19069,3 | 0,284895 |
| 714 | 0,216429 | 4,62045 | 102,7 | 19172,0 | 0,286429 |
| 715 | 0,216732 | 4,61399 | 35,3575 | 19207,4 | 0,286957 |
| 716 | 0,217035 | 4,60754 | 22,36 | 19229,8 | 0,287291 |
| 717 | 0,217339 | 4,60112 | 57,6491 | 19287,4 | 0,288152 |
| 718 | 0,217642 | 4,59471 | 7,47051 | 19294,9 | 0,288264 |
| 719 | 0,217945 | 4,58832 | 6,26213 | 19301,1 | 0,288358 |
| 720 | 0,218248 | 4,58194 | 17,8072 | 19319,0 | 0,288624 |
| 721 | 0,218551 | 4,57559 | 22,708 | 19341,7 | 0,288963 |
| 722 | 0,218854 | 4,56925 | 18,2545 | 19359,9 | 0,289236 |
| 723 | 0,219157 | 4,56293 | 79,6471 | 19439,6 | 0,290426 |
| 724 | 0,21946 | 4,55663 | 15,2437 | 19454,8 | 0,290653 |
| 725 | 0,219764 | 4,55034 | 27,1183 | 19481,9 | 0,291058 |
| 726 | 0,220067 | 4,54408 | 55,5315 | 19537,5 | 0,291888 |
| 727 | 0,22037 | 4,53783 | 15,0265 | 19552,5 | 0,292113 |
| 728 | 0,220673 | 4,53159 | 5,87251 | 19558,4 | 0,2922 |
| 729 | 0,220976 | 4,52538 | 3,28404 | 19561,6 | 0,292249 |
| 730 | 0,221279 | 4,51918 | 19,4376 | 19581,1 | 0,29254 |
| 731 | 0,221582 | 4,513 | 13,0263 | 19594,1 | 0,292734 |
| 732 | 0,221885 | 4,50683 | 28,4441 | 19622,5 | 0,293159 |
| 733 | 0,222189 | 4,50068 | 2,0355 | 19624,6 | 0,29319 |
| 734 | 0,222492 | 4,49455 | 10,389 | 19635,0 | 0,293345 |
| 735 | 0,222795 | 4,48844 | 15,0921 | 19650,1 | 0,29357 |
| 736 | 0,223098 | 4,48234 | 4,03424 | 19654,1 | 0,293631 |

| | | | | | |
|-----|----------|---------|----------|---------|----------|
| 737 | 0,223401 | 4,47626 | 15,3993 | 19669,5 | 0,293861 |
| 738 | 0,223704 | 4,47019 | 7,31269 | 19676,8 | 0,29397 |
| 739 | 0,224007 | 4,46414 | 9,90063 | 19686,7 | 0,294118 |
| 740 | 0,22431 | 4,45811 | 5,65878 | 19692,4 | 0,294202 |
| 741 | 0,224614 | 4,45209 | 1,49321 | 19693,9 | 0,294225 |
| 742 | 0,224917 | 4,44609 | 7,58709 | 19701,4 | 0,294338 |
| 743 | 0,22522 | 4,44011 | 11,3135 | 19712,8 | 0,294507 |
| 744 | 0,225523 | 4,43414 | 23,8181 | 19736,6 | 0,294863 |
| 745 | 0,225826 | 4,42819 | 22,6487 | 19759,2 | 0,295201 |
| 746 | 0,226129 | 4,42225 | 17,3302 | 19776,6 | 0,29546 |
| 747 | 0,226432 | 4,41633 | 55,1261 | 19831,7 | 0,296284 |
| 748 | 0,226735 | 4,41043 | 87,1781 | 19918,9 | 0,297586 |
| 749 | 0,227038 | 4,40454 | 12,135 | 19931,0 | 0,297768 |
| 750 | 0,227342 | 4,39867 | 177,285 | 20108,3 | 0,300416 |
| 751 | 0,227645 | 4,39281 | 44,1557 | 20152,4 | 0,301076 |
| 752 | 0,227948 | 4,38697 | 112,277 | 20264,7 | 0,302753 |
| 753 | 0,228251 | 4,38114 | 107,596 | 20372,3 | 0,304361 |
| 754 | 0,228554 | 4,37533 | 195,603 | 20567,9 | 0,307283 |
| 755 | 0,228857 | 4,36954 | 20,6513 | 20588,6 | 0,307592 |
| 756 | 0,22916 | 4,36376 | 220,428 | 20809,0 | 0,310885 |
| 757 | 0,229463 | 4,35799 | 101,21 | 20910,2 | 0,312397 |
| 758 | 0,229767 | 4,35224 | 76,6771 | 20986,9 | 0,313542 |
| 759 | 0,23007 | 4,34651 | 169,815 | 21156,7 | 0,316079 |
| 760 | 0,230373 | 4,34079 | 17,9767 | 21174,7 | 0,316348 |
| 761 | 0,230676 | 4,33509 | 11,9866 | 21186,7 | 0,316527 |
| 762 | 0,230979 | 4,3294 | 70,807 | 21257,5 | 0,317585 |
| 763 | 0,231282 | 4,32372 | 0,397149 | 21257,9 | 0,317591 |
| 764 | 0,231585 | 4,31806 | 42,8961 | 21300,8 | 0,318232 |
| 765 | 0,231888 | 4,31242 | 44,3575 | 21345,1 | 0,318894 |
| 766 | 0,232192 | 4,30679 | 92,5447 | 21437,7 | 0,320277 |
| 767 | 0,232495 | 4,30117 | 52,5728 | 21490,2 | 0,321062 |
| 768 | 0,232798 | 4,29557 | 34,1432 | 21524,4 | 0,321573 |
| 769 | 0,233101 | 4,28999 | 63,7434 | 21588,1 | 0,322525 |
| 770 | 0,233404 | 4,28442 | 24,7834 | 21612,9 | 0,322895 |
| 771 | 0,233707 | 4,27886 | 110,849 | 21723,8 | 0,324551 |
| 772 | 0,23401 | 4,27332 | 5,18884 | 21728,9 | 0,324629 |
| 773 | 0,234313 | 4,26779 | 26,1321 | 21755,1 | 0,325019 |
| 774 | 0,234617 | 4,26227 | 31,1988 | 21786,3 | 0,325485 |
| 775 | 0,23492 | 4,25677 | 14,7762 | 21801,1 | 0,325706 |
| 776 | 0,235223 | 4,25129 | 15,3126 | 21816,4 | 0,325935 |
| 777 | 0,235526 | 4,24582 | 11,6045 | 21828,0 | 0,326108 |
| 778 | 0,235829 | 4,24036 | 24,1712 | 21852,1 | 0,326469 |
| 779 | 0,236132 | 4,23492 | 32,509 | 21884,6 | 0,326955 |
| 780 | 0,236435 | 4,22949 | 5,51174 | 21890,2 | 0,327037 |
| 781 | 0,236738 | 4,22407 | 14,5822 | 21904,7 | 0,327255 |
| 782 | 0,237042 | 4,21867 | 44,9122 | 21949,7 | 0,327926 |
| 783 | 0,237345 | 4,21328 | 69,42 | 22019,1 | 0,328963 |
| 784 | 0,237648 | 4,20791 | 43,8887 | 22063,0 | 0,329619 |
| 785 | 0,237951 | 4,20255 | 7,30536 | 22070,3 | 0,329728 |
| 786 | 0,238254 | 4,1972 | 34,7672 | 22105,0 | 0,330248 |
| 787 | 0,238557 | 4,19187 | 99,6033 | 22204,6 | 0,331736 |
| 788 | 0,23886 | 4,18655 | 24,7482 | 22229,4 | 0,332105 |
| 789 | 0,239163 | 4,18124 | 37,7739 | 22267,2 | 0,33267 |
| 790 | 0,239467 | 4,17595 | 54,2176 | 22321,4 | 0,33348 |
| 791 | 0,23977 | 4,17067 | 52,579 | 22374,0 | 0,334265 |
| 792 | 0,240073 | 4,1654 | 26,8258 | 22400,8 | 0,334666 |
| 793 | 0,240376 | 4,16015 | 12,1363 | 22412,9 | 0,334847 |
| 794 | 0,240679 | 4,15491 | 15,3696 | 22428,3 | 0,335077 |
| 795 | 0,240982 | 4,14969 | 34,7872 | 22463,1 | 0,335597 |
| 796 | 0,241285 | 4,14447 | 1,52053 | 22464,6 | 0,335619 |
| 797 | 0,241588 | 4,13927 | 8,18995 | 22472,8 | 0,335742 |
| 798 | 0,241891 | 4,13409 | 2,11842 | 22474,9 | 0,335773 |
| 799 | 0,242195 | 4,12891 | 11,0724 | 22486,0 | 0,335939 |

| | | | | | |
|-----|----------|---------|----------|---------|----------|
| 800 | 0,242498 | 4,12375 | 11,0351 | 22497,0 | 0,336104 |
| 801 | 0,242801 | 4,1186 | 8,04516 | 22505,1 | 0,336224 |
| 802 | 0,243104 | 4,11347 | 37,3672 | 22542,4 | 0,336782 |
| 803 | 0,243407 | 4,10834 | 16,547 | 22559,0 | 0,337029 |
| 804 | 0,24371 | 4,10323 | 29,5244 | 22588,5 | 0,33747 |
| 805 | 0,244013 | 4,09814 | 6,43519 | 22594,9 | 0,337567 |
| 806 | 0,244316 | 4,09305 | 51,2178 | 22646,1 | 0,338332 |
| 807 | 0,24462 | 4,08798 | 0,334827 | 22646,5 | 0,338337 |
| 808 | 0,244923 | 4,08292 | 1,14688 | 22647,6 | 0,338354 |
| 809 | 0,245226 | 4,07787 | 3,54848 | 22651,2 | 0,338407 |
| 810 | 0,245529 | 4,07284 | 27,8646 | 22679,0 | 0,338823 |
| 811 | 0,245832 | 4,06782 | 14,4117 | 22693,5 | 0,339038 |
| 812 | 0,246135 | 4,06281 | 3,33464 | 22696,8 | 0,339088 |
| 813 | 0,246438 | 4,05781 | 3,1529 | 22699,9 | 0,339135 |
| 814 | 0,246741 | 4,05283 | 62,7097 | 22762,7 | 0,340072 |
| 815 | 0,247045 | 4,04785 | 54,9722 | 22817,6 | 0,340894 |
| 816 | 0,247348 | 4,04289 | 5,91608 | 22823,5 | 0,340982 |
| 817 | 0,247651 | 4,03794 | 65,2543 | 22888,8 | 0,341957 |
| 818 | 0,247954 | 4,03301 | 51,0396 | 22939,8 | 0,342719 |
| 819 | 0,248257 | 4,02808 | 44,5539 | 22984,4 | 0,343385 |
| 820 | 0,24856 | 4,02317 | 3,34404 | 22987,7 | 0,343435 |
| 821 | 0,248863 | 4,01827 | 55,8506 | 23043,6 | 0,344269 |
| 822 | 0,249166 | 4,01338 | 65,8385 | 23109,4 | 0,345253 |
| 823 | 0,24947 | 4,00851 | 24,4561 | 23133,9 | 0,345618 |
| 824 | 0,249773 | 4,00364 | 24,0532 | 23157,9 | 0,345978 |
| 825 | 0,250076 | 3,99879 | 36,7814 | 23194,7 | 0,346527 |
| 826 | 0,250379 | 3,99395 | 13,7334 | 23208,4 | 0,346732 |
| 827 | 0,250682 | 3,98912 | 34,4086 | 23242,9 | 0,347246 |
| 828 | 0,250985 | 3,9843 | 64,4214 | 23307,3 | 0,348209 |
| 829 | 0,251288 | 3,97949 | 8,67531 | 23316,0 | 0,348339 |
| 830 | 0,251591 | 3,9747 | 67,8252 | 23383,8 | 0,349352 |
| 831 | 0,251895 | 3,96992 | 18,8527 | 23402,6 | 0,349633 |
| 832 | 0,252198 | 3,96514 | 52,5907 | 23455,2 | 0,350419 |
| 833 | 0,252501 | 3,96038 | 9,28365 | 23464,5 | 0,350558 |
| 834 | 0,252804 | 3,95564 | 21,8553 | 23486,4 | 0,350884 |
| 835 | 0,253107 | 3,9509 | 12,1034 | 23498,5 | 0,351065 |
| 836 | 0,25341 | 3,94617 | 11,4311 | 23509,9 | 0,351236 |
| 837 | 0,253713 | 3,94146 | 47,5567 | 23557,5 | 0,351946 |
| 838 | 0,254016 | 3,93675 | 44,4488 | 23601,9 | 0,352611 |
| 839 | 0,254319 | 3,93206 | 101,886 | 23703,8 | 0,354133 |
| 840 | 0,254623 | 3,92738 | 5,6905 | 23709,5 | 0,354218 |
| 841 | 0,254926 | 3,92271 | 65,5925 | 23775,1 | 0,355198 |
| 842 | 0,255229 | 3,91805 | 112,464 | 23887,5 | 0,356878 |
| 843 | 0,255532 | 3,9134 | 7,47882 | 23895,0 | 0,35699 |
| 844 | 0,255835 | 3,90877 | 96,8979 | 23991,9 | 0,358437 |
| 845 | 0,256138 | 3,90414 | 69,6503 | 24061,6 | 0,359478 |
| 846 | 0,256441 | 3,89953 | 28,3764 | 24089,9 | 0,359902 |
| 847 | 0,256744 | 3,89492 | 127,979 | 24217,9 | 0,361814 |
| 848 | 0,257048 | 3,89033 | 21,4667 | 24239,4 | 0,362134 |
| 849 | 0,257351 | 3,88575 | 11,3377 | 24250,7 | 0,362304 |
| 850 | 0,257654 | 3,88118 | 65,9819 | 24316,7 | 0,36329 |
| 851 | 0,257957 | 3,87662 | 21,5645 | 24338,3 | 0,363612 |
| 852 | 0,25826 | 3,87207 | 14,853 | 24353,1 | 0,363834 |
| 853 | 0,258563 | 3,86753 | 8,30202 | 24361,4 | 0,363958 |
| 854 | 0,258866 | 3,863 | 8,80408 | 24370,2 | 0,364089 |
| 855 | 0,259169 | 3,85848 | 19,4166 | 24389,6 | 0,364379 |
| 856 | 0,259473 | 3,85397 | 7,26653 | 24396,9 | 0,364488 |
| 857 | 0,259776 | 3,84947 | 63,7713 | 24460,7 | 0,365441 |
| 858 | 0,260079 | 3,84499 | 49,918 | 24510,6 | 0,366186 |
| 859 | 0,260382 | 3,84051 | 27,5551 | 24538,2 | 0,366598 |
| 860 | 0,260685 | 3,83605 | 15,5488 | 24553,7 | 0,36683 |
| 861 | 0,260988 | 3,83159 | 36,1331 | 24589,8 | 0,36737 |
| 862 | 0,261291 | 3,82715 | 65,9425 | 24655,8 | 0,368355 |

| | | | | | |
|-----|----------|---------|----------|---------|----------|
| 863 | 0,261594 | 3,82271 | 5,50527 | 24661,3 | 0,368438 |
| 864 | 0,261898 | 3,81829 | 15,463 | 24676,7 | 0,368669 |
| 865 | 0,262201 | 3,81387 | 61,4802 | 24738,2 | 0,369587 |
| 866 | 0,262504 | 3,80947 | 8,68555 | 24746,9 | 0,369717 |
| 867 | 0,262807 | 3,80507 | 38,4678 | 24785,4 | 0,370292 |
| 868 | 0,26311 | 3,80069 | 45,4064 | 24830,8 | 0,37097 |
| 869 | 0,263413 | 3,79632 | 2,36007 | 24833,1 | 0,371005 |
| 870 | 0,263716 | 3,79195 | 137,307 | 24970,5 | 0,373057 |
| 871 | 0,264019 | 3,7876 | 42,2694 | 25012,7 | 0,373688 |
| 872 | 0,264323 | 3,78326 | 18,0954 | 25030,8 | 0,373958 |
| 873 | 0,264626 | 3,77892 | 41,059 | 25071,9 | 0,374572 |
| 874 | 0,264929 | 3,7746 | 20,8404 | 25092,7 | 0,374883 |
| 875 | 0,265232 | 3,77029 | 13,4211 | 25106,1 | 0,375084 |
| 876 | 0,265535 | 3,76598 | 45,5765 | 25151,7 | 0,375765 |
| 877 | 0,265838 | 3,76169 | 32,245 | 25184,0 | 0,376246 |
| 878 | 0,266141 | 3,7574 | 66,3379 | 25250,3 | 0,377237 |
| 879 | 0,266444 | 3,75313 | 45,6556 | 25296,0 | 0,37792 |
| 880 | 0,266747 | 3,74886 | 90,7874 | 25386,7 | 0,379276 |
| 881 | 0,267051 | 3,74461 | 159,987 | 25546,7 | 0,381666 |
| 882 | 0,267354 | 3,74036 | 1,75638 | 25548,5 | 0,381692 |
| 883 | 0,267657 | 3,73613 | 26,8819 | 25575,4 | 0,382094 |
| 884 | 0,26796 | 3,7319 | 108,005 | 25683,4 | 0,383708 |
| 885 | 0,268263 | 3,72768 | 10,9869 | 25694,4 | 0,383872 |
| 886 | 0,268566 | 3,72348 | 41,1993 | 25735,6 | 0,384487 |
| 887 | 0,268869 | 3,71928 | 2,63185 | 25738,2 | 0,384527 |
| 888 | 0,269172 | 3,71509 | 21,966 | 25760,2 | 0,384855 |
| 889 | 0,269476 | 3,71091 | 32,967 | 25793,1 | 0,385347 |
| 890 | 0,269779 | 3,70674 | 5,01261 | 25798,1 | 0,385422 |
| 891 | 0,270082 | 3,70258 | 16,3867 | 25814,5 | 0,385667 |
| 892 | 0,270385 | 3,69843 | 62,7289 | 25877,2 | 0,386604 |
| 893 | 0,270688 | 3,69429 | 12,8506 | 25890,1 | 0,386796 |
| 894 | 0,270991 | 3,69016 | 15,7884 | 25905,9 | 0,387032 |
| 895 | 0,271294 | 3,68603 | 8,05379 | 25913,9 | 0,387152 |
| 896 | 0,271597 | 3,68192 | 1,12777 | 25915,1 | 0,387169 |
| 897 | 0,271901 | 3,67781 | 7,37083 | 25922,4 | 0,387279 |
| 898 | 0,272204 | 3,67372 | 35,4686 | 25957,9 | 0,387809 |
| 899 | 0,272507 | 3,66963 | 2,26908 | 25960,2 | 0,387843 |
| 900 | 0,27281 | 3,66556 | 31,7294 | 25991,9 | 0,388317 |
| 901 | 0,273113 | 3,66149 | 18,206 | 26010,1 | 0,388589 |
| 902 | 0,273416 | 3,65743 | 56,7337 | 26066,8 | 0,389437 |
| 903 | 0,273719 | 3,65338 | 8,47321 | 26075,3 | 0,389563 |
| 904 | 0,274022 | 3,64934 | 6,08742 | 26081,4 | 0,389654 |
| 905 | 0,274326 | 3,6453 | 4,75454 | 26086,2 | 0,389725 |
| 906 | 0,274629 | 3,64128 | 0,643956 | 26086,8 | 0,389735 |
| 907 | 0,274932 | 3,63727 | 19,268 | 26106,1 | 0,390023 |
| 908 | 0,275235 | 3,63326 | 1,11609 | 26107,2 | 0,390039 |
| 909 | 0,275538 | 3,62926 | 9,76774 | 26117,0 | 0,390185 |
| 910 | 0,275841 | 3,62527 | 17,6459 | 26134,6 | 0,390449 |
| 911 | 0,276144 | 3,6213 | 33,8115 | 26168,4 | 0,390954 |
| 912 | 0,276447 | 3,61732 | 11,8595 | 26180,3 | 0,391131 |
| 913 | 0,276751 | 3,61336 | 3,70459 | 26184,0 | 0,391187 |
| 914 | 0,277054 | 3,60941 | 18,3221 | 26202,3 | 0,39146 |
| 915 | 0,277357 | 3,60546 | 52,9245 | 26255,2 | 0,392251 |
| 916 | 0,27766 | 3,60153 | 0,288454 | 26255,5 | 0,392255 |
| 917 | 0,277963 | 3,5976 | 19,9362 | 26275,4 | 0,392553 |
| 918 | 0,278266 | 3,59368 | 6,0739 | 26281,5 | 0,392644 |
| 919 | 0,278569 | 3,58977 | 12,3368 | 26293,9 | 0,392828 |
| 920 | 0,278872 | 3,58587 | 2,85664 | 26296,7 | 0,392871 |
| 921 | 0,279176 | 3,58198 | 12,0612 | 26308,8 | 0,393051 |
| 922 | 0,279479 | 3,57809 | 8,08519 | 26316,9 | 0,393172 |
| 923 | 0,279782 | 3,57421 | 30,5091 | 26347,4 | 0,393628 |
| 924 | 0,280085 | 3,57035 | 22,4217 | 26369,8 | 0,393963 |
| 925 | 0,280388 | 3,56649 | 13,3528 | 26383,1 | 0,394162 |

| | | | | | |
|-----|----------|---------|----------|---------|----------|
| 926 | 0,280691 | 3,56263 | 2,36621 | 26385,5 | 0,394198 |
| 927 | 0,280994 | 3,55879 | 4,31633 | 26389,8 | 0,394262 |
| 928 | 0,281297 | 3,55496 | 4,92151 | 26394,8 | 0,394336 |
| 929 | 0,2816 | 3,55113 | 6,6722 | 26401,4 | 0,394435 |
| 930 | 0,281904 | 3,54731 | 9,37069 | 26410,8 | 0,394575 |
| 931 | 0,282207 | 3,5435 | 25,6184 | 26436,4 | 0,394958 |
| 932 | 0,28251 | 3,5397 | 10,449 | 26446,9 | 0,395114 |
| 933 | 0,282813 | 3,53591 | 4,17794 | 26451,0 | 0,395176 |
| 934 | 0,283116 | 3,53212 | 7,10423 | 26458,1 | 0,395283 |
| 935 | 0,283419 | 3,52834 | 8,97514 | 26467,1 | 0,395417 |
| 936 | 0,283722 | 3,52457 | 32,5903 | 26499,7 | 0,395904 |
| 937 | 0,284025 | 3,52081 | 7,93209 | 26507,6 | 0,396022 |
| 938 | 0,284329 | 3,51706 | 3,92337 | 26511,6 | 0,396081 |
| 939 | 0,284632 | 3,51331 | 47,0697 | 26558,6 | 0,396784 |
| 940 | 0,284935 | 3,50957 | 82,6417 | 26641,3 | 0,398019 |
| 941 | 0,285238 | 3,50584 | 5,79673 | 26647,1 | 0,398105 |
| 942 | 0,285541 | 3,50212 | 46,6419 | 26693,7 | 0,398802 |
| 943 | 0,285844 | 3,49841 | 192,884 | 26886,6 | 0,401684 |
| 944 | 0,286147 | 3,4947 | 76,0828 | 26962,7 | 0,40282 |
| 945 | 0,28645 | 3,49101 | 5,15272 | 26967,8 | 0,402897 |
| 946 | 0,286754 | 3,48732 | 116,803 | 27084,6 | 0,404642 |
| 947 | 0,287057 | 3,48363 | 59,6539 | 27144,3 | 0,405534 |
| 948 | 0,28736 | 3,47996 | 14,5861 | 27158,9 | 0,405751 |
| 949 | 0,287663 | 3,47629 | 47,4759 | 27206,4 | 0,406461 |
| 950 | 0,287966 | 3,47263 | 38,2536 | 27244,6 | 0,407032 |
| 951 | 0,288269 | 3,46898 | 77,3131 | 27321,9 | 0,408187 |
| 952 | 0,288572 | 3,46534 | 42,8794 | 27364,8 | 0,408828 |
| 953 | 0,288875 | 3,4617 | 67,007 | 27431,8 | 0,409829 |
| 954 | 0,289179 | 3,45807 | 50,606 | 27482,4 | 0,410585 |
| 955 | 0,289482 | 3,45445 | 94,1169 | 27576,5 | 0,411991 |
| 956 | 0,289785 | 3,45084 | 59,2269 | 27635,8 | 0,412876 |
| 957 | 0,290088 | 3,44723 | 22,5697 | 27658,3 | 0,413213 |
| 958 | 0,290391 | 3,44363 | 56,7053 | 27715,0 | 0,41406 |
| 959 | 0,290694 | 3,44004 | 59,3119 | 27774,3 | 0,414947 |
| 960 | 0,290997 | 3,43646 | 7,03875 | 27781,4 | 0,415052 |
| 961 | 0,2913 | 3,43288 | 63,6669 | 27845,0 | 0,416003 |
| 962 | 0,291604 | 3,42931 | 71,206 | 27916,3 | 0,417067 |
| 963 | 0,291907 | 3,42575 | 7,58023 | 27923,8 | 0,41718 |
| 964 | 0,29221 | 3,4222 | 34,4578 | 27958,3 | 0,417695 |
| 965 | 0,292513 | 3,41865 | 40,4973 | 27998,8 | 0,4183 |
| 966 | 0,292816 | 3,41511 | 7,2213 | 28006,0 | 0,418408 |
| 967 | 0,293119 | 3,41158 | 36,8678 | 28042,9 | 0,418958 |
| 968 | 0,293422 | 3,40806 | 7,57315 | 28050,5 | 0,419072 |
| 969 | 0,293725 | 3,40454 | 31,8171 | 28082,3 | 0,419547 |
| 970 | 0,294028 | 3,40103 | 102,65 | 28184,9 | 0,42108 |
| 971 | 0,294332 | 3,39753 | 27,0653 | 28212,0 | 0,421485 |
| 972 | 0,294635 | 3,39403 | 65,5331 | 28277,5 | 0,422464 |
| 973 | 0,294938 | 3,39054 | 149,321 | 28426,8 | 0,424695 |
| 974 | 0,295241 | 3,38706 | 45,7998 | 28472,6 | 0,425379 |
| 975 | 0,295544 | 3,38359 | 122,039 | 28594,7 | 0,427202 |
| 976 | 0,295847 | 3,38012 | 27,3175 | 28622,0 | 0,42761 |
| 977 | 0,29615 | 3,37666 | 20,3672 | 28642,4 | 0,427915 |
| 978 | 0,296453 | 3,37321 | 68,5797 | 28710,9 | 0,428939 |
| 979 | 0,296757 | 3,36977 | 0,826954 | 28711,8 | 0,428952 |
| 980 | 0,29706 | 3,36633 | 94,2144 | 28806,0 | 0,430359 |
| 981 | 0,297363 | 3,3629 | 89,8616 | 28895,8 | 0,431702 |
| 982 | 0,297666 | 3,35947 | 32,9666 | 28928,8 | 0,432194 |
| 983 | 0,297969 | 3,35605 | 46,5731 | 28975,4 | 0,43289 |
| 984 | 0,298272 | 3,35264 | 23,1577 | 28998,5 | 0,433236 |
| 985 | 0,298575 | 3,34924 | 138,057 | 29136,6 | 0,435299 |
| 986 | 0,298878 | 3,34584 | 6,78408 | 29143,4 | 0,4354 |
| 987 | 0,299182 | 3,34245 | 114,517 | 29257,9 | 0,437111 |

| | | | | | |
|-----|----------|---------|---------|---------|----------|
| 988 | 0,299485 | 3,33907 | 78,2446 | 29336,1 | 0,43828 |
| 989 | 0,299788 | 3,33569 | 23,7423 | 29359,9 | 0,438634 |
| 990 | 0,300091 | 3,33232 | 72,5144 | 29432,4 | 0,439718 |
| 991 | 0,300394 | 3,32896 | 34,4076 | 29466,8 | 0,440232 |
| 992 | 0,300697 | 3,3256 | 87,226 | 29554,0 | 0,441535 |
| 993 | 0,301 | 3,32226 | 122,541 | 29676,6 | 0,443366 |
| 994 | 0,301303 | 3,31891 | 1,63829 | 29678,2 | 0,44339 |
| 995 | 0,301607 | 3,31558 | 42,247 | 29720,5 | 0,444021 |
| 996 | 0,30191 | 3,31225 | 22,9457 | 29743,4 | 0,444364 |
| 997 | 0,302213 | 3,30893 | 11,7622 | 29755,2 | 0,44454 |

L'estimation de l'auto-corrélation pour Les Diff (l'efficience du marché Egyptien)

| | | | <i>Lower 95,0%</i> | <i>Upper 95,0%</i> |
|------------|------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| <i>Lag</i> | <i>Autocorrelation</i> | <i>Std. Error</i> | <i>Prob. Limit</i> | <i>Prob. Limit</i> |
| 1 | 0,155171 | 0,0173841 | -0,0340722 | 0,0340722 |
| 2 | 0,03995 | 0,0177977 | -0,034883 | 0,034883 |
| 3 | 0,111911 | 0,0178248 | -0,0349361 | 0,0349361 |
| 4 | 0,0928598 | 0,0180359 | -0,0353498 | 0,0353498 |
| 5 | 0,109806 | 0,0181798 | -0,0356318 | 0,0356318 |
| 6 | 0,0260023 | 0,0183791 | -0,0360225 | 0,0360225 |
| 7 | 0,050628 | 0,0183903 | -0,0360443 | 0,0360443 |
| 8 | -0,00358343 | 0,0184323 | -0,0361268 | 0,0361268 |
| 9 | 0,0421755 | 0,0184325 | -0,0361272 | 0,0361272 |
| 10 | 0,069308 | 0,0184617 | -0,0361843 | 0,0361843 |
| 11 | -0,061646 | 0,0185401 | -0,0363381 | 0,0363381 |
| 12 | -0,0267498 | 0,018602 | -0,0364593 | 0,0364593 |
| 13 | 0,0391269 | 0,0186136 | -0,0364821 | 0,0364821 |
| 14 | -0,0102406 | 0,0186384 | -0,0365308 | 0,0365308 |
| 15 | 0,0375661 | 0,0186401 | -0,0365341 | 0,0365341 |
| 16 | 0,0688952 | 0,018663 | -0,0365789 | 0,0365789 |
| 17 | -0,0449863 | 0,0187397 | -0,0367292 | 0,0367292 |
| 18 | 0,00472782 | 0,0187723 | -0,0367931 | 0,0367931 |
| 19 | 0,116769 | 0,0187727 | -0,0367939 | 0,0367939 |
| 20 | 0,0530931 | 0,0189909 | -0,0372216 | 0,0372216 |
| 21 | 0,0102224 | 0,0190357 | -0,0373094 | 0,0373094 |
| 22 | 0,0180844 | 0,0190374 | -0,0373126 | 0,0373126 |
| 23 | -0,00533047 | 0,0190426 | -0,0373228 | 0,0373228 |
| 24 | 0,0333718 | 0,019043 | -0,0373237 | 0,0373237 |

Cette table montre les auto-corrélations estimées entre les valeurs du diff. à de divers retards. Le coefficient d'auto-corrélation du retard k mesure la corrélation entre les valeurs du diff au temps t et au temps $t-k$. En outre montrées sont des limites de probabilité de 95,0% autour de 0. Si les limites de probabilité à un retard particulier ne contiennent pas le coefficient estimé, il y a une corrélation statistiquement significative à ce retard au niveau de confiance de 95,0%. Dans ce cas-ci, 15 des 24 coefficients d'auto-corrélation sont statistiquement significatifs au niveau de confiance de 95,0%, impliquant que la série chronologique peut ne pas être complètement aléatoire (le bruit blanc).

ANNEXE 5

MÉTHODE DE CALCUL D'ERREUR

Soit e_t l'erreur sur la prévision à la période t , on définit e_t comme la différence entre la valeur estimée de la prévision et la valeur réelle.

$$e_t = F_t - D_t$$

Soient $e_1, e_2, e_3, \dots, e_n$ l'erreur observée sur les n périodes considérées, alors : la déviation absolue moyenne (MAD) sera :

$$MAD = (1/n) \sum_{i=1}^n |e_i| ,$$

et l'erreur moyenne au carré (MSE) sera :

$$MSE = (1/n) \sum_{i=1}^n e_i^2 .$$

Finalement l'erreur absolue exprimée en pourcentage sera :

$$MAPE = \left[(1/n) \sum_{i=1}^n |e_i / D_i| \right] \times 100 .$$