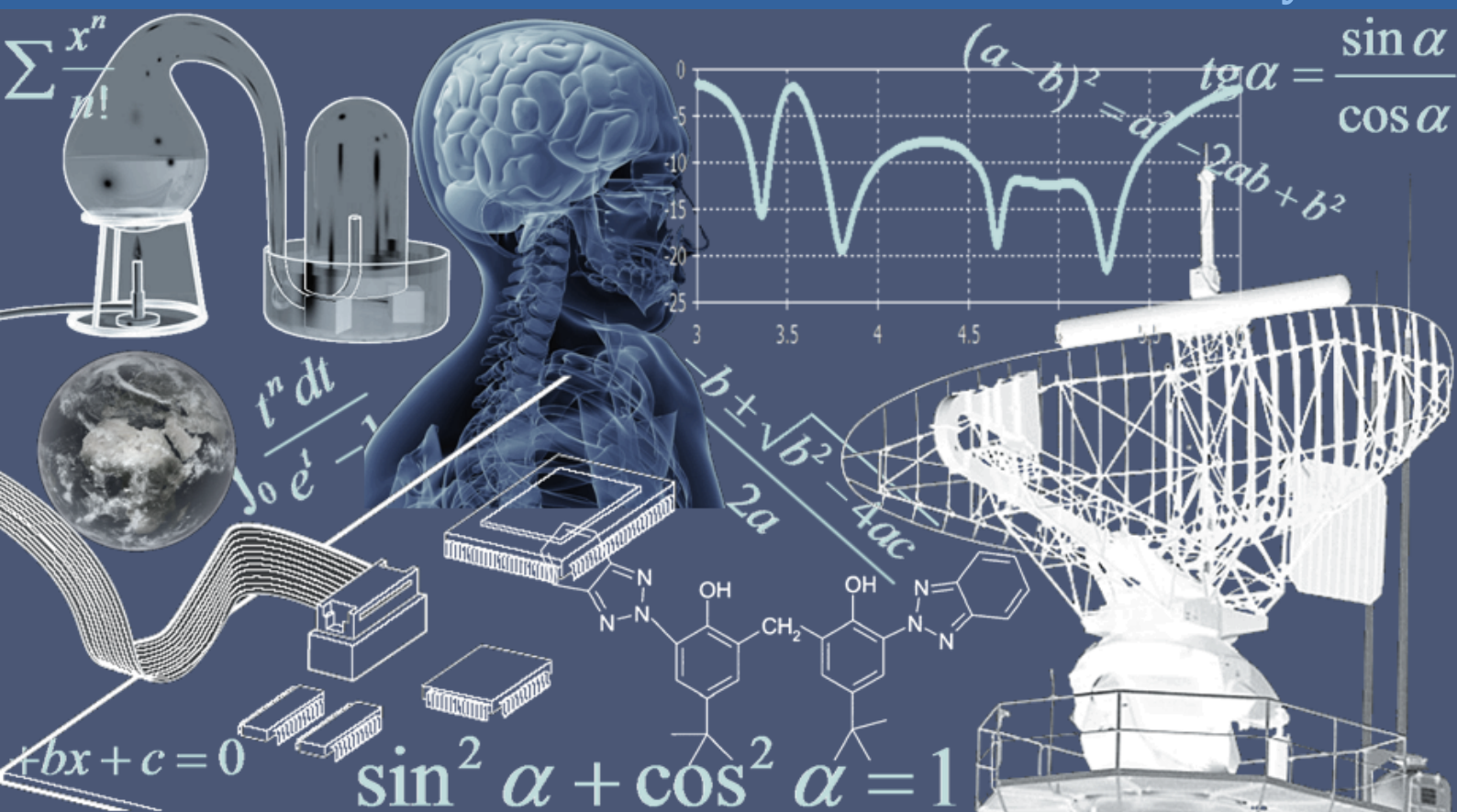


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 2 N. 2 February 2013



International Peer Reviewed Monthly Journal



International Journal of Innovation and Applied Studies

International Journal of Innovation and Applied Studies (ISSN: 2028-9324) is a peer reviewed multidisciplinary international journal publishing original and high-quality articles covering a wide range of topics in engineering, science and technology. IJIAS is an open access journal that publishes papers submitted in English, French and Spanish. The journal aims to give its contribution for enhancement of research studies and be a recognized forum attracting authors and audiences from both the academic and industrial communities interested in state-of-the art research activities in innovation and applied science areas, which cover topics including (but not limited to):

Agricultural and Biological Sciences, Arts and Humanities, Biochemistry, Genetics and Molecular Biology, Business, Management and Accounting, Chemical Engineering, Chemistry, Computer Science, Decision Sciences, Dentistry, Earth and Planetary Sciences, Economics, Econometrics and Finance, Energy, Engineering, Environmental Science, Health Professions, Immunology and Microbiology, Materials Science, Mathematics, Medicine, Neuroscience, Nursing, Pharmacology, Toxicology and Pharmaceuticals, Physics and Astronomy, Psychology, Social Sciences, Veterinary.

IJIAS hopes that Researchers, Graduate students, Developers, Professionals and others would make use of this journal publication for the development of innovation and scientific research. Contributions should not have been previously published nor be currently under consideration for publication elsewhere. All research articles, review articles, short communications and technical notes are pre-reviewed by the editor, and if appropriate, sent for blind peer review.

Accepted papers are available freely with online full-text content upon receiving the final versions, and will be indexed at major academic databases.

Table of Contents

Analyse de tendances dans la relation pluie-débit dans un contexte de changements climatiques: cas du bassin versant du N'zo-Sassandra (Ouest de la Côte d'Ivoire)	92-103
Rights of the Author: Possible Extensions under Copyright Law in India	104-112
The Vertical Dimension – An Orthodontist Perspective	113-117
L'usage de l'Internet au Maroc : Essai de mesure de la fracture numérique de second degré	118-130
A Fuzzy Production-Distribution Inventory Model with Shortage	131-137
Phytochemical Screening and In Vitro Anti-Bacterial Studies of the Ethanolic Extract of Citrus Senensis (Linn.) Peel against some Clinical Bacterial Isolates	138-145
Screening and antibacterial activity analysis of some important medicinal plants	146-152
Estimation of Errors: Mathematical Expressions of Temperature, Substrate Concentration and Enzyme Concentration based Formulas for obtaining intermediate values of the Rate of Enzymatic Reaction	153-172
La productivité dans le cadre de l'approche du développement endogène: Application au cas du Système Productif Local de Ksar-Hellal (Tunisie)	173-179
Tests préliminaires de récupération par cyanuration en bouteilles d'échantillons combinés de minerais latéritique et argileux de la province aurifère du Yaouré dans le Centre de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest)	180-188
Larvicidal Activities of Different Parts of <i>Artemisia vulgaris</i> Linn. against <i>Culex quinquefasciatus</i> Say. (Diptera: Culicidae)	189-195

Analyse de tendances dans la relation pluie-débit dans un contexte de changements climatiques: cas du bassin versant du N'zo-Sassandra (Ouest de la Côte d'Ivoire)

[Analysis of trends in the rainfall-runoff relation in the context of climate change: case of the N'zo-Sassandra watershed (Western Côte d'Ivoire)]

**KOUAMÉ Koffi Fernand¹, KOUASSI Amani Michel², N'GUESSAN Bi Tozan Michel³,
KOUAO Jean Muller¹, LASM Théophile¹ et SALEY Mahaman Bachir¹**

¹Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody, Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM), Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LSTEE),
22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

²Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), Département des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STeRMi), Laboratoire du Génie Civil, des Géosciences et des Sciences Géographiques,
BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

³Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), Département Infrastructures et Transports (IT),
Laboratoire du Génie Civil, des Géosciences et des Sciences Géographiques,
BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Copyright © 2013 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The study area is the N'zo-Sassandra watershed (Ivory Coast) located between longitudes 7°15' and 8°05' West and latitude 6°50' and 7°50' North. Its surface is estimated at 4310 km². The climate regime prevailing at the N'zo-Sassandra watershed at Kahin is a mountain climate (subequatorial regime) with annual rainfall amounts sometimes exceeding 2000 mm. N'zo-Sassandra has a single hydrological regime. The N'zo-Sassandra watershed is a part of the West forest zone characterized by a degraded dense forest. This study aims to identify trends in the rainfall-runoff relationship from an overall conceptual modeling monthly runoff. The data (rainfall, ETP, flow) used in this study cover the period of 1980-2000.

The methodological approach is based on the one hand, on the evaluation criteria of the model used (GR2M) and secondly, on the crossed simulations method (1980-2000). The results showed that the GR2M model was efficient and robust on the N'zo-Sassandra watershed. Indeed, the values of the Nash-Sutcliffe obtained are greater than 60% in the calibration phase (81.95%) as validation phase (72.40%). Degradation recorded at the Nash-Sutcliffe criterion passing the validation phase in the calibration phase is less in absolute value than 10%. In addition, it is shown that there is a vast majority of the positive signs in relation to the negative signs. These results highlight the existence of non-stationarity of the rainfall-runoff relation at the N'zo-Sassandra watershed during the period 1980-2000, suggesting a rising trend of monthly runoff.

KEYWORDS: Rainfall-runoff modeling, trend analysis, crossed simulations method, GR2M model, N'zo-Sassandra, Côte d'Ivoire.

RESUME: La zone d'étude est le bassin versant du N'zo-Sassandra (Ouest de la Côte d'Ivoire) qui se situe entre les longitudes 7° 15' et 8° 05' Ouest et les latitudes 6° 50' et 7° 50' Nord. Sa superficie est estimée à 4 310 Km². Le régime climatique régnant au niveau du bassin versant du N'zo-Sassandra à Kahin est un climat de montagne (régime subéquatorial) avec des hauteurs pluviométriques annuelles dépassant parfois les 2 000 mm. Le N'zo-Sassandra a un régime hydrologique simple. Le bassin versant du N'zo-Sassandra à Kahin fait partie de la zone forestière de l'Ouest caractérisée par une forêt dense dégradée. Cette étude a pour objectif d'identifier des tendances dans la relation pluie-débit à partir d'une modélisation

conceptuelle globale des écoulements mensuels. Les données utilisées (pluie, ETP, débit) dans le cadre de cette étude s'étendent sur la période 1980-2000. L'approche méthodologique de l'étude est basée d'une part, sur les critères d'évaluation du modèle utilisé (GR2M) et d'autre part, sur la méthode des simulations croisées (1980-2000). Les résultats de l'étude ont permis de montrer que le modèle GR2M a été performant et robuste sur le bassin versant du N'zo-Sassandra. Les résultats de la méthode des simulations croisées ont mis en évidence l'existence d'une non stationnarité de la relation pluie-débit au niveau du bassin versant du N'zo-Sassandra au cours de la période 1980-2000, qui suggère une tendance à la hausse des écoulements mensuels.

MOTS-CLEFS: Modélisation pluie-débit, analyse de tendance, méthode de simulations croisées, modèle GR2M, N'zo-Sassandra, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

La communauté internationale s'est engagée à réduire de moitié, d'ici 2015, la proportion des personnes qui n'ont pas accès à l'eau potable ou qui n'ont pas les moyens de s'en procurer et à mettre fin à l'exploitation irrationnelle des ressources en eau, en formulant des stratégies de gestion de l'eau aux niveaux régional, national et local, permettant notamment d'assurer aussi bien un accès équitable qu'un approvisionnement adéquat [1]. A l'origine de cette déclaration, les constats suivants sont observés : la ressource en eau douce facilement accessible ne représente que 2,5% de l'hydrosphère terrestre ; la population mondiale s'accroît et change ses habitudes de consommation. Pour assurer leur pérennité, les sociétés humaines se doivent de garantir la durabilité de leur approvisionnement en eau. Aussi, la question de la stationnarité du régime hydrologique des bassins versants est-elle une préoccupation récurrente des gestionnaires de la ressource en eau, qui doivent prendre de lourdes décisions d'investissement dans un contexte rendu incertain par les changements climatiques [2]. Là où les pressions sur les ressources en eau sont fortes, on suit avec anxiété les évolutions qui pourraient remettre en cause une situation déjà tendue. Si le thème du changement climatique lié au réchauffement global a été largement médiatisé au cours de la dernière décennie, il existe une autre source de non-stationnarité qui revient à l'attention du public de façon récurrente : il s'agit du changement de l'aptitude des bassins versants à transformer la pluie en écoulement (souterrain ou de surface) utilisable par l'homme [2]. On peut identifier deux grands types de méthodes permettant de détecter les non-stationnarités (ou les tendances) dans le comportement hydrologique d'un bassin versant [2]-[4]:

- Les méthodes utilisant un modèle hydrologique fondé sur une représentation explicite des phénomènes physiques mis en jeu;
- Les méthodes fondées sur le principe des bassins versants appariés (bassins réels ou simulés).

Cette dernière méthode constitue la référence pour toutes les études d'impact des opérations de gestion des bassins versants sur l'hydrologie [2]. Cependant, il est difficile de disposer d'un bassin de référence dont l'occupation du sol soit restée la même pendant toute la durée de l'étude. Le plus souvent, on ne dispose de données de débit et de pluie que pour un seul bassin versant (le bassin versant modifié). Il est alors très difficile de juger d'un changement de comportement, dans la mesure où les périodes « avant changement » et « après changement » diffèrent forcément du point de vue climatique. Ces observations mettent en évidence la nécessité de l'utilisation d'un modèle pluie-débit [2], [5]-[7].

Une modélisation au pas de temps mensuel a été choisie pour cette étude. En effet, pour les évolutions d'origines anthropiques ou liées à des variations climatiques, le pas de temps mensuel est adapté à de telles études.

Les études menées à l'Ouest de la Côte d'Ivoire et particulièrement sur le bassin versant du N'zo-Sassandra montrent l'importance des changements climatiques dans cette région marquée par une tendance à la sécheresse qui s'est manifestée à partir du début de la décennie 1970 [8]-[12]. Les fluctuations pluviométriques observées se sont en effet produites sur plusieurs années consécutives, et concernent l'ensemble du bassin versant. Ces changements climatiques ont engendré une baisse des débits des cours d'eau. Aussi, la région ouest de la Côte d'Ivoire regorge-t-elle encore de forêts susceptibles d'être exploitées [13]. L'importance socio-économique que représente cette région entraîne des mutations de populations vers elle. Cette pression démographique a déjà des effets sur l'occupation du sol [13]. Les changements climatiques couplés aux modifications de l'occupation du sol soulèvent des questions de développement, notamment en ce qui concerne la disponibilité des ressources en eau. Les travaux de [14]-[16] ont montré que les changements climatiques liés à la dynamique de l'occupation du sol ont eu, entre autres pour impacts, la modification de la relation pluie-débit. Au regard de l'importance économique que constitue la région ouest, nous voulons tenter d'étudier la tendance dans la relation pluie-débit dans cette zone au relief très accidenté avec une végétation de forêt dense.

Cette étude a pour objectif d'identifier des tendances dans la relation pluie-débit à partir d'une modélisation conceptuelle mensuelle dans le bassin versant du N'zo-Sassandra. La méthodologie a consisté d'une part, à évaluer le modèle utilisé sur le bassin test à partir des critères de performance et de robustesse, et d'autre part, à appliquer la méthode des simulations croisées à partir du modèle GR2M, sur plusieurs sous-périodes de 5 ans.

2 PRESENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude est le bassin versant du N'zo à Kahin, sous-bassin du fleuve Sassandra. Il est compris entre les longitudes Ouest de coordonnées 7°15' et 8°05' et les latitudes Nord de coordonnées 6°50' et 7°50' (Fig. 1). La superficie du bassin est estimée à 4 310 Km². Le N'zo, cours d'eau d'ordre 6 (méthode de Strahler), prend sa source dans les monts, dans une région située entre Biankouma et Man et coule globalement dans une direction Nord-Sud. C'est un affluent de la rive gauche du fleuve Sassandra.

Le régime climatique régnant au niveau du bassin versant du N'zo-Sassandra à Kahin est un climat de montagne (régime subéquatorial) avec des hauteurs pluviométriques annuelles dépassant parfois les 2 000 mm. L'orientation des reliefs majeurs par rapport aux vents dominants et la répartition des altitudes par rapport aux zones atmosphériques, sont autant de facteurs qui militent en faveur de ce climat de montagne. Cependant, la distribution spatiale des précipitations est faite selon un gradient essentiellement de direction NE- SW. Le bassin versant du N'zo-Sassandra à Kahin est soumis à deux saisons:

- Une saison sèche qui s'étend de novembre à février, avec des précipitations moyennes mensuelles dépassant rarement 50 mm. Les plus faibles valeurs des précipitations sont observées pendant le mois de janvier avec à peine 5 mm de pluie ;
- Une saison de pluies qui s'étend de mars à octobre. Les mois d'août et septembre sont les mois les plus pluvieux, avec des moyennes mensuelles dépassant 300 mm. Les paramètres climatiques ci-dessous ont été évalués sur la période 1971-2000. Les températures annuelles varient globalement entre 15 °C et 33 °C avec une moyenne de 25 °C. Une moyenne de 2 272 heures d'ensoleillement par an est enregistrée. L'humidité relative varie entre 61 et 99% avec une valeur moyenne de 98% à Man. Les vents de direction N-S (Harmattan et Alizé boréal) sont dominants en saison sèche tandis qu'en saison des pluies, c'est le vent de la mousson de direction NW- SE qui prédomine.

Le N'zo a un régime hydrologique simple (un minimum en février et un maximum en septembre). En effet, une période de faibles écoulements allant de décembre à mai est observée, ainsi qu'une période de forts écoulements allant de juin à novembre. Le bassin versant du N'zo-Sassandra à Kahin fait partie de la zone forestière de l'Ouest caractérisée par une forêt dense. Cependant, on assiste à une dynamique régressive de la forêt au profit des cultures/jachères due à des pratiques agricoles et une exploitation forestière accélérée [13]. Une partie de cette végétation est conservée sous forme de forêts classées (Ira, Sangouiné, Gueouélé, Mont Tonkoui, Goin-Debé, Scio) dans lesquelles l'exploitation forestière est autorisée mais, les défrichements agricoles sont interdits.

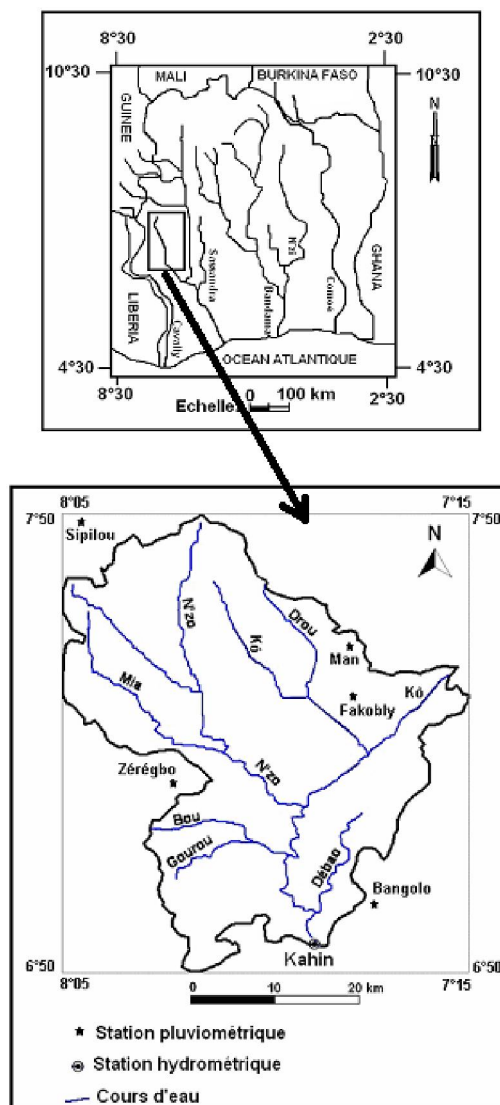


Fig. 1. Présentation du bassin versant du N'zo-Sassandra.

Ces domaines forestiers permanents de l'Etat doivent permettre de garantir l'équilibre écologique. En effet, l'occupation du sol influence la quantité d'eau disponible pour l'écoulement de surface et l'infiltration selon la nature des végétaux. Les sols du bassin versant du N'zo-Sassandra sont constitués essentiellement de sols ferralitiques et de sols hydromorphes. Le bassin versant du N'zo-Sassandra à Kahin appartient à la région la plus accidentée de la Côte d'Ivoire. Les altitudes des sommets sont généralement supérieures à 800 m et dépassent parfois les 1 000 m. L'altitude moyenne des bas plateaux est égale à 300 m. La côte minimale du N'zo est de 225 m.

3 DONNEES ET METHODES

3.1 DONNEES

Au cours de cette étude, nous ne partons pas d'une idée *a priori* du fonctionnement physique de la transformation pluie-débit, mais nous partons seulement des données qui reflètent la réalité d'une manière implicite. En effet, le calage et la validation d'un modèle nécessitent des séries de données observées. La pluviométrie et l'évapotranspiration reflètent les phénomènes climatologiques. Le débit, mesuré à l'exutoire, révèle le fonctionnement hydrologique du bassin versant. Les données utilisées concernent les précipitations, les évapotranspirations potentielles (ETP) (calculées avec la méthode de Thornthwaite) et les débits. Les données pluviométriques proviennent des stations de Bangolo, Fakobly, Man, Sipilou et Zérégho. Ces stations qui sont situées à l'intérieur et près du bassin, ont été sélectionnées pour la fiabilité et la représentativité spatiale et temporelle de leurs données (Fig. 1).

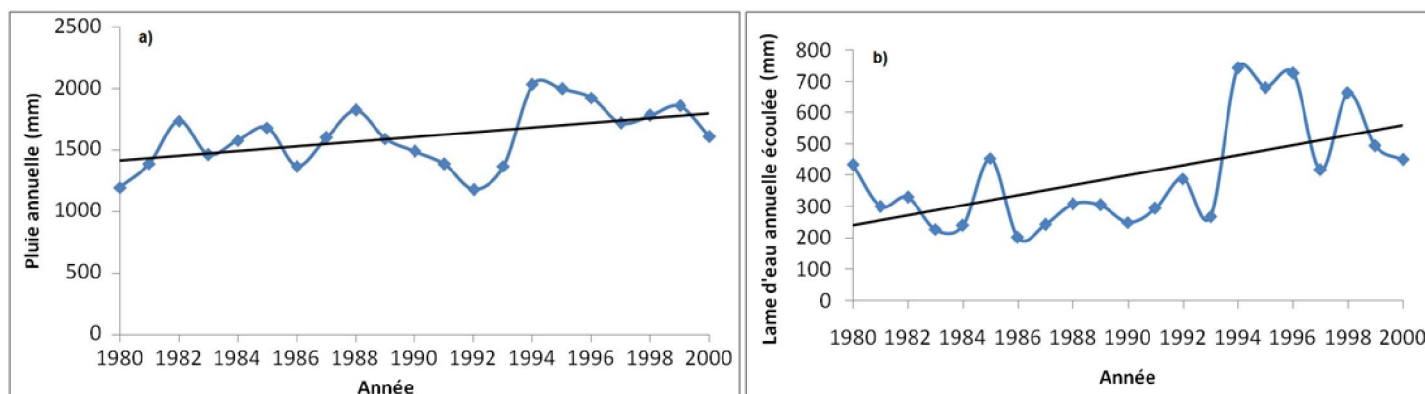


Fig. 2. Tendance générale des pluies et des lames d'eau annuelles écoulées (bassin versant du N'zo-Sassandra 1980-2000)

Les valeurs moyennes des précipitations ont été calculées à partir de la méthode des moyennes arithmétiques. Les différentes données ont été mises à notre disposition par la société de météorologie nationale (SODEXAM : Société de Développement et d'Exploitation Aéronautique, Aéroportuaire et Météorologique-Côte d'Ivoire). Les données hydrométriques ont été fournies par la Direction de l'Office National de l'Eau Potable (ONEP). La station retenue est celle de Kahin (Fig. 1). L'évapotranspiration potentielle (ETP) qui est une donnée essentielle du modèle utilisé, exprime la demande climatique et intervient dans la fonction de production du modèle. Les valeurs d'ETP ont été estimées à l'aide de la méthode de Thornthwaite [17] à partir des données de températures de la station de Man et des pluies mensuelles présentées précédemment. Ces valeurs ont été calculées au pas de temps mensuel selon les exigences de la méthode de Thornthwaite. Les données de températures ont été fournies par la SODEXAM. La période 1980-2000 a été choisie pour un synchronisme des données (pluie, ETP et débits). En effet, les données de débits de la station de Kahin sont disponibles à partir de 1980. Ces différentes données (pluies, débits et ETP), définies au pas de temps mensuel, ont servi à l'étude des tendances dans la relation pluie-débit dans le bassin versant du N'zo-Sassandra.

Les précipitations moyennes annuelles varient entre 1181 mm et 2034 mm avec une moyenne de 1610 mm, un écart-type de 246 mm et un coefficient de variation de 15%. Quant aux lames d'eau écoulées, elles oscillent entre 202 mm et 743 mm avec une moyenne de 401 mm, un écart-type de 172 mm et un coefficient de variation de 43%. Le coefficient de variation des lames d'eau écoulée représente près de trois (3) fois celui des pluies annuelles. Les données de pluie annuelle sont homogènes alors que les données de lames d'eau écoulée sont hétérogènes. Les variations interannuelles des précipitations (Fig. 2a) et des débits (Fig. 2b) sur la période 1980-2000 montrent que malgré des valeurs faibles enregistrées avant 1993, une tendance générale à la hausse est mise en évidence au niveau des deux paramètres.

La figure 3 présente la corrélation entre les pluies et lames d'eau écoulées au pas de temps annuel. Un ajustement du nuage de points à partir de la régression linéaire a permis de montrer qu'il existe une bonne corrélation d'une valeur de 0,68 entre le débit annuel et la pluie annuelle dans le bassin versant du N'zo-Sassandra.

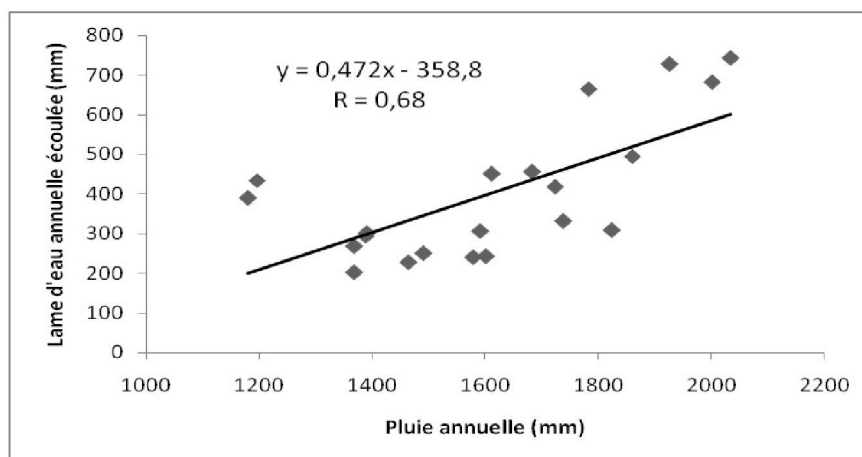


Fig. 3. Corrélation entre lame d'eau annuelle écoulée et pluie annuelle (1980-2000)

3.2 DESCRIPTION DU MODELE GR2M

La modélisation hydrologique est beaucoup utilisée ces dernières années [1, 18, 19, 20, 21, 22]. Du pas de temps horaire jusqu'au pas de temps pluriannuel, il existe de nombreux modèles fonctionnant à chaque pas de temps. Un certain nombre d'études réalisées en Côte d'Ivoire utilisant les modèles conceptuels, ont été présentés dans la littérature hydrologique [19, 20, 21, 23]. Plusieurs modèles (GR2M, GR4J, Conway, Yates, WBM, ou encore VUB) ont été utilisés au cours des travaux de ces auteurs. Notre choix a porté sur le modèle GR2M [24]. Ce modèle a l'avantage d'être peu consommateur de données (précipitation, évapotranspiration et débit pour le calage) enregistrées par nos réseaux climatologiques. La description exhaustive du modèle GR2M version Mouelhi peut être consultée auprès des auteurs tels que [17, 24, 25]. De façon simplifiée, on retient que le modèle GR2M est constitué d'un réservoir de production qui régit la fonction de production et qui est caractérisé par sa capacité maximale et d'un réservoir «eau gravitaire» qui régit la fonction de transfert. Ce modèle mensuel de bilan d'eau est régi par deux paramètres à caler (X_1 et X_2). Le premier paramètre (X_1) représente la capacité maximale du réservoir «sol». Le deuxième paramètre (X_2) représente le paramètre d'échange souterrain au niveau du réservoir «eau gravitaire». Un nombre de deux paramètres libres dans un modèle conceptuel global est suffisant pour représenter la relation pluie-débit au pas de temps mensuel [24]. Les possibilités de succès dans des études de non stationnarité passent par l'utilisation de modèles à peu de paramètres qui est une condition nécessaire pour réduire les incertitudes du calage et garantir au modélisateur une bonne compréhension du comportement du modèle [26]. D'autres versions du modèle GR2M ont été déjà utilisées en Afrique de l'Ouest en général et en Côte d'Ivoire en particulier [19, 23, 27]. La version utilisée a déjà démontré sa performance et sa robustesse sur le bassin versant du N'zi-Bandama [28]. Les données d'entrée du modèle GR2M sont la pluie et l'ETP et les données de sortie sont les débits.

3.3 PRINCIPE DE LA MODELISATION PLUIE-DEBIT

L'évaluation du modèle GR2M s'est appuyée sur le principe du split-sample test qui consiste à faire le calage sur les deux tiers (2/3) de l'échantillon de données disponibles et de faire la validation sur le tiers (1/3) restant et vice versa [29]. Il nous semble en effet que ce test est assez robuste pour évaluer les qualités premières requises pour un modèle [29]. La longueur de la période de calage a été choisie de façon à permettre une estimation robuste des paramètres, grâce à un jeu de données aussi riches que possibles. La période d'étude (1980-2000) comprend une phase homogène sèche (1980-1986) qui correspond au 1/3 de la série et une phase homogène humide (1987-2000) qui correspond au 2/3 de la série.

3.4 CRITERE MATHEMATIQUE D'OPTIMISATION DU MODELE : CRITERE DE NASH-SUTCLIFFE

Le choix final de modèle repose tout d'abord sur la performance. La cohérence n'intervient que si les performances des modèles en concurrence pour chaque pas de temps demeurent très proches. Le critère d'optimisation utilisé dans le cadre de cette étude est le critère de Nash-Sutcliffe (équation 1), car il est l'un des critères les plus performants [30]. Ce critère adimensionnel permet de juger la qualité de l'ajustement et facilite la comparaison des ajustements sur différents bassins dont les écoulements correspondent à des ordres de grandeur différents. Il est défini par l'équation 1 [31]:

$$Nash - Sutcliffe = 100 \left[1 - \frac{\sum (Q_o^i - Q_c^i)^2}{\sum (Q_o^i - Q_m)^2} \right] \quad (1)$$

Où : Q_o^i : débits mensuels observés ; Q_c^i : débits mensuels calculés ; Q_m : débit moyen observé sur l'ensemble de la période d'observation sans lacune.

La valeur du critère de Nash-Sutcliffe est comprise entre $-\infty$ et 100%. Le modèle est considéré comme performant quand les débits estimés se rapprochent des débits observés, c'est-à-dire quand la valeur du critère de Nash-Sutcliffe est proche de 100%. Ainsi, une performance supérieure ou égale à 60% peut être jugée satisfaisante [29]. Les performances en termes de critère de Nash-Sutcliffe sont l'image de l'adéquation du modèle et du jeu de paramètres calés au bassin étudié. L'analyse des résultats de simulation est portée sur les performances des modèles au calage et en validation. En effet, les performances au calage sont moins révélatrices des réelles capacités de simulation des modèles. Celles-ci sont mieux exprimées par la validation [26]. Le calage a été réalisé de façon manuelle par recherche d'un minimum du critère de Nash-Sutcliffe.

3.5 EVALUATION DE LA ROBUSTESSE DU MODELE ET ANALYSE DES DEBITS SIMULES

L'une des techniques les plus utilisées, pour évaluer la robustesse d'un modèle dans des situations les plus proches possibles de celles dans lesquelles il est censé fonctionner, est la technique du double échantillon [28, 29]. Cette technique permet de tester l'adaptabilité des modèles quelle que soit leur complexité. Dans le cas où l'on disposerait d'observations se présentant comme des séries chronologiques (cas des pas de temps mensuel), il suffira de subdiviser la période d'observation de chaque bassin versant en sous-périodes, avec calage sur une période et contrôle sur le reste des observations, tout en veillant à réserver une période de mise en route. Cette tâche est répétée de façon à caler successivement sur toutes les sous-périodes. La robustesse des différents modèles est évaluée par la différence des valeurs du critère de Nash-Sutcliffe en phase de calage et en phase de validation. Outre l'évaluation à l'aide d'un critère numérique, une analyse comparative des débits observés aux débits simulés a été réalisée. Le tracé de diagrammes de dispersion des débits simulés en fonction des débits observés a aussi permis d'apprécier la qualité de la modélisation effectuée.

3.6 METHODE D'ETUDE DE LA NON-STATIONNARITE HYDROLOGIQUE

Plusieurs méthodes existent dans l'étude de la relation pluie-débit. Il y a celles basées sur des analyses simples et celles basées sur une modélisation pluie-débit. Une approche simple est celle par exemple qui consiste à l'étude du coefficient d'écoulement qui traduit le rendement du bassin versant au cours des années (débit annuel/pluie annuelle) [14]. Parmi les approches s'appuyant sur la modélisation pluie-débit, on peut citer l'approche de simulation croisée, l'approche basée sur l'analyse des résidus de simulation, l'approche basée sur l'analyse des paramètres de calage, etc. La simulation croisée des débits annuels, appliquée au moyen du modèle en « S » ou modèle de Mouelhi et l'approche du coefficient d'écoulement, ont été utilisées avec succès par [14] sur le bassin versant du N'zi-Bandama en Côte d'Ivoire. L'approche basée sur l'analyse des performances des modèles a été également appliquée sur le bassin versant du N'zi-Bandama par [15] à partir du modèle en « S » de Mouelhi. Malgré les difficultés que présente la modélisation, notamment en raison de la forte variabilité spatio-temporelle des précipitations et de la faible disponibilité des observations (densité et fiabilité), l'approche de la simulation croisée, basée sur la modélisation pluie-débit est plus robuste que les autres méthodes utilisées pour l'étude des tendances dans la relation pluie-débit [14]. [3] sont parvenus également à cette conclusion. Ainsi, la caractérisation de la tendance dans la relation pluie-débit a été réalisée à partir de l'approche des simulations croisées sur la période 1980-2000 [2, 3, 14, 16]. L'approche des simulations croisées a consisté à découper une série de données en sous-séries indépendantes d'une longueur de 5 ans. Cette approche part du principe que le calage permet de caractériser le comportement hydrologique du modèle sur la période de calage (sous-période de 5 ans). En appliquant ensuite le modèle calé sur toutes les autres sous-périodes, c'est-à-dire en gardant les mêmes paramètres, on obtient l'écoulement qu'aurait donné le bassin s'il était resté dans les conditions de la période de calage. En renouvelant cette opération après chaque contrôle, on peut ainsi construire une matrice de tendance. Pour cette étude, la variable cible considérée est le débit moyen mensuel transformé en lame d'eau (mm). Dans l'interprétation des matrices de simulations, chaque valeur est remplacée par un signe, traduisant une évolution croissante ou décroissante de la variable hydrologique considérée dans le temps. A cet effet, chaque valeur de la matrice est remplacée par un «+» ou un «-», suivant que les valeurs sont supérieures ou inférieures à la valeur de la diagonale. La valeur située sur la diagonale représente pour chaque ligne la meilleure référence, dans la mesure où il s'agit de la valeur la plus proche de la valeur réellement observée (car prédite par le modèle calé sur la période en question). La comparaison s'effectue ligne par ligne, car il est nécessaire de se placer dans des conditions d'égale pluviométrie. Si les «+» sont majoritaires, cela signifie que la variable hydrologique simulée dans la matrice a tendance à croître avec le temps, si les «-» sont majoritaires, c'est l'inverse.

4 RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 RESULTATS D'EVALUATION DU MODELE GR2M

L'évaluation du modèle GR2M porte sur l'examen des valeurs de performance traduit par le critère de Nash-Sutcliffe et l'examen des tracés des hydrogrammes observés et simulés en phase de calage et en validation. Le tableau 1 regroupe les valeurs du critère de Nash-Sutcliffe obtenues lors des différentes procédures de calage et validation.

Tableau 1. Performances en phases de calage et de validation du modèle GR2M à la station de Kahin

Calage		Validation	
Période	Nash (%)	Période	Nash (%)
1980-1993	77,40	1994-2000	82,90
1994-2000	86,50	1980-1993	61,90
Moyenne	81,95	Moyenne	72,40

L'observation des valeurs du critère de Nash-Sutcliffe du tableau 1 montrent que le GR2M a été performant sur le bassin versant du N'zo-Sassandra d'exutoire Kahin. En effet, les valeurs du critère de Nash-Sutcliffe obtenues sont supérieures à 60% en calage (81,95%) comme en validation (72,40%). La dégradation enregistrée par le critère de Nash en validation vis-à-vis du calage, et qui définit le critère de robustesse du modèle est acceptable. Elle est en moyenne de -9,55% dont la valeur absolue est inférieure à 10%, ce qui traduit la robustesse du modèle GR2M version Mouelhi sur le bassin versant du N'zo-Sassandra.

Les hydrogrammes obtenus sont également de bonne qualité dans l'ensemble. La dynamique des écoulements étant bien respectée (Fig. 4). En général, les débits de pointe sont bien situés dans le temps mais sous-estimés en phase de validation. Les étiages sont mieux reproduits que les pointes de crues.

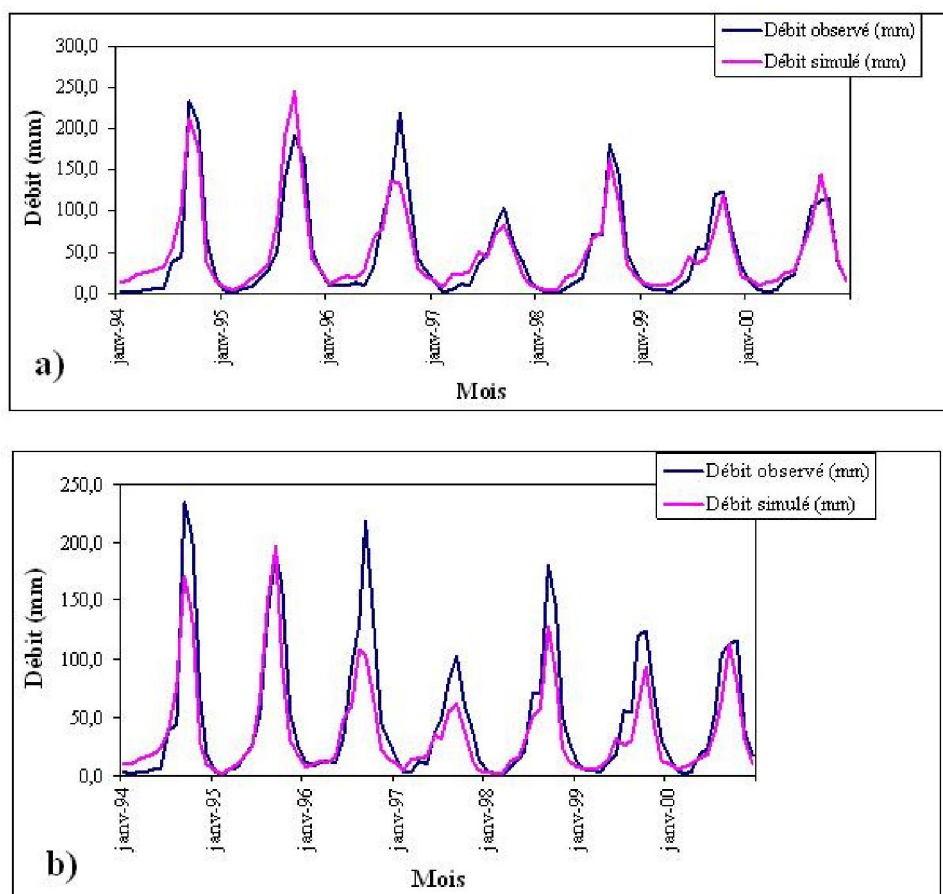


Fig. 4. Hydrogrammes observés et simulés par GR2M en phase de calage (a) et en validation (b) sur le N'zo-Sassandra à Kahin

Le modèle GR2M a montré sa capacité à simuler les écoulements au niveau du bassin versant du N'zo-Sassandra à Kahin. Le modèle GR2M version Mouelhi est donc performant et robuste sur la zone d'étude. De ce fait, il a été utilisé pour l'étude de la tendance dans la relation pluie-débit dans le bassin versant du N'zo-Sassandra à Kahin.

4.2 CARACTERISATION DE LA RELATION PLUIE-DEBIT

La matrice de simulation issue des opérations de simulations croisées est présentée dans le tableau 2 avec en gras, la valeur de référence pour une ligne considérée. Les valeurs du tableau 2 représentent les lames d'eau moyennes annuelles écoulées simulées à partir du modèle GR2M sur les sous-périodes de 5 ans.

Tableau 2. *Matrice de simulations croisées des lames d'eau écoulées (mm) (1980-2000).*

	1980-1984	1985-1989	1990-1994	1995-1999
1980-1984	20,77	31,82	30,27	39,29
1985-1989	16,94	26,54	25,24	33,14
1990-1994	21,22	32,34	30,36	39,46
1995-1999	26,85	39,97	38,23	48,86

Pour une analyse plus simple de cette matrice, chaque ligne de celle-ci a été normée par rapport à la valeur située sur la diagonale (qui représente la valeur proche de celle réellement observée). En exprimant le résultat en pourcentage, des valeurs «100 » sont obtenues sur la diagonale. Le tableau 3 montre la matrice de tendances normées issue de la matrice du tableau 2.

Tableau 3. *Matrice de simulations normées (1980-2000).*

	1980-1984	1985-1989	1990-1994	1995-1999
1980-1984	100	151	146	188
1985-1989	64	100	95	125
1990-1994	70	107	100	130
1995-1999	55	82	78	100

La matrice de tendances normées a été transformée en matrice de signes. Les résultats de cette transformation sont consignés dans le tableau 4. Puisqu'il faut se placer dans le sens de l'évolution progressive dans le temps du débit moyen annuel, la moitié supérieure du tableau a été considérée. Les gains et pertes y sont matérialisés respectivement par des signes « + » et des signes « - ».

Tableau 4. *Matrice des signes (1980-2000).*

1980-1984	1985-1989	1990-1994	1995-1999
0	+	+	+
	0	-	+
		0	+
			0

Une analyse visuelle de la matrice des signes (Tableau 4) met en évidence un total de cinq (5) signes « + », contre un seul signe « - ».

4.3 DISCUSSION

Le modèle GR2M version Mouelhi, avec deux paramètres de calage (X_1 et X_2), a été utilisé pour la modélisation des débits mensuels dans le bassin versant du N'zo-Sassandra. Les performances obtenues en calage comme en validation sont en général supérieures à 60%. Aussi, les valeurs du critère de robustesse sont-elles généralement inférieures à 10% en valeur absolue. Ces résultats témoignent de la performance et de la robustesse du modèle GR2M version Mouelhi sur le bassin

versant du N'zo-Sassandra à Kahin. Cette performance et cette robustesse ont été également démontrées par ce modèle dans le bassin versant du N'zi-Bandama [28]. D'autres auteurs ont utilisé d'autres versions de ce modèle pour des études en Afrique de l'Ouest [20, 21, 23, 27]. Au niveau de la Côte d'Ivoire, Ardoin (2004) a appliqué le modèle GR2M au bassin versant du Sassandra. Les résultats obtenus montrent que pour le calage, les performances fluctuent entre 62% et 90,2% avec une moyenne de 83,4%. En validation, les performances varient entre 21,1% et 83,4% avec une moyenne de 55,5%. Les performances sont plus satisfaisantes en calage sur le bassin versant du Sassandra que sur le bassin versant du N'zi-Bandama. Par contre, elles sont plus satisfaisantes sur le N'zi-Bandama que le Sassandra en validation. Les résultats de [32] sur l'ensemble des sept (7) bassins tests répartis entre le Burkina Faso, le Mali et la Côte d'Ivoire, ont permis de se rendre compte d'une manière générale que les calages du modèle GR2M sont de bonne qualité. La moyenne du critère de Nash-Sutcliffe est égale à 76% avec la plupart des valeurs supérieures à 60%. En phase de validation, une dégradation du critère de Nash-Sutcliffe a été observée. La moyenne du critère n'est plus que de 48% avec l'apparition de valeurs négatives du critère de Nash-Sutcliffe. Des performances de 73%, 78% et 79% respectivement à Dimbokro, Fétékro et M'bahiakro en phase de calage par l'application du modèle GR2M version Mouelhi sur le bassin versant du N'zi-Bandama ont été obtenues par [28]. En validation, les performances sont respectivement de 73%, 76% et 79%. Ce qui donne des valeurs de critère de robustesse de 0%, -2% et -1% respectivement à Dimbokro, Fétékro et M'bahiakro. Les résultats de performance obtenus sur les différents bassins tests s'inscrivent dans l'ordre des performances obtenues en général sur les bassins versants ouest africains avec la même version du modèle GR2M et d'autres versions. Ces résultats sont confirmés par [33], qui affirment que la version Mouelhi du modèle GR2M, qui est celle utilisée au cours de cette étude, paraît la plus performante. Les valeurs du critère de robustesse traduisant les écarts de variation entre les performances moyennes du calage à la validation sont comprises entre 0 et 10% en valeur absolue. Ces résultats démontrent la robustesse du modèle GR2M. Cette robustesse du modèle mise en évidence au cours de cette étude est conforme aux résultats obtenus par d'autres auteurs tels que [27, 28, 32].

Au regard de sa qualité (performance et robustesse), le modèle GR2M a été utilisé pour l'étude de la tendance dans la relation pluie-débit. Les résultats de la méthode des simulations croisées montre qu'il y a une grande majorité des signes (+) par rapport aux signes (-). Ces résultats suggèrent une tendance à produire des débits mensuels de plus en plus forts au cours de la période 1980-2000. Il ressort que l'hypothèse de stationnarité de l'écoulement mensuel dans le bassin versant du N'zo-Sassandra peut être rejetée. Les résultats obtenus au cours de cette étude, ont mis donc en évidence une non stationnarité dans la réponse hydrologique du bassin versant du N'zo-Sassandra. Ces résultats montrent que des changements importants ont pu affecter le bassin du N'zo-Sassandra à Kahin de façon générale qui seraient non seulement contenus dans les données hydrométriques, pluviométriques et évaporatoires, mais aussi dans les caractéristiques physiographiques du bassin [14]. Des variations saisonnières, annuelles et interannuelles des précipitations ont été révélées sur l'ensemble du bassin [9, 11]. Ces fluctuations climatiques influencent l'état d'humidité du sol, la couverture végétale, et d'autres facteurs physiographiques capables de modifier l'hydrologie du bassin. La modification de l'occupation du sol dans le bassin versant du N'zi-Bandama, mise en évidence par [13] est une conséquence de la forte anthropisation du bassin. Ces paramètres climatiques et physiques sont des facteurs de l'évolution de la relation pluie-débit [2, 4, 14, 15, 16, 28]. Plusieurs auteurs ont mis en évidence des non stationnarités dans la tendance de la relation pluie-débit à partir de modèles globaux aux pas de temps mensuel et annuel, sur le bassin versant du N'zi-Bandama suggérant une baisse des écoulements mensuels et annuels [14, 15, 16, 28]. Ces résultats sont contraires à ceux obtenus sur le bassin versant du N'zo-Sassandra au niveau de la tendance. Cette différence dans la tendance pourrait s'expliquer par les caractéristiques physiographiques, particulièrement le relief qui est très accidenté dans le bassin du N'zo-Sassandra et le couvert végétal (forêt dense) qui est en forte dégradation du fait des cultures pérennes (café, cacao) [13, 34]. Aux caractéristiques physiographiques, on peut ajouter les périodes d'études qui diffèrent. Ainsi, l'augmentation des précipitations enregistrées au cours de la période d'étude associée à la forte dégradation du couvert végétal et au relief élevé va se traduire par une hausse des écoulements.

5 CONCLUSION

Les résultats de simulation obtenus avec le modèle GR2M version Mouelhi sur le bassin versant du N'zo-Sassandra à Kahin sont satisfaisants et ont montré que le modèle GR2M version Mouelhi est performant et robuste. Il a donc attesté de sa capacité à simuler les écoulements au niveau du bassin versant du N'zo-Sassandra à Kahin. En effet, les valeurs du critère de Nash-Sutcliffe obtenues, au cours de cette étude, sont en moyenne de 81,95% en phase de calage et 72,40% en phase de validation. La valeur du critère de robustesse (-9,55%) est acceptable. La méthode des simulations croisées a été jugée capable de détecter des changements dans les tendances de la relation pluie-débit du bassin versant du N'zo-Sassandra. S'appuyant sur le modèle conceptuel mensuel GR2M, les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence une non stationnarité de la relation pluie-débit au niveau du bassin versant du N'zo-Sassandra au cours de la période 1980-2000 qui suggère une tendance à la hausse des écoulements mensuels. Nous pensons que la méthode des simulations croisées

couplée à un modèle mensuel peut être utilisée pour mettre en évidence des tendances dans la relation pluie-débit en Afrique de l'Ouest de façon générale et en Côte d'Ivoire en particulier. Dans une perspective de variabilité climatique et de pression anthropique plus accrue, la zone ouest étant aujourd'hui le pôle de l'attraction agricole, on est en droit de redouter une modification plus intense des réponses hydrologiques dans le bassin versant du N'zo-Sassandra. Aussi, ces tendances ne pourraient-elles pas être traitées par d'autres approches telles que l'usage du coefficient d'écoulement qui est basé uniquement sur des observations?

REMERCIEMENTS

Les auteurs de cet article remercient la société nationale de météorologie (SODEXAM) et la Direction de l'Office National de l'Eau Potable (ONEP) pour la mise à disposition des données nécessaires à la réalisation de ce travail. Ils remercient également les instructeurs dont les critiques et les suggestions ont permis d'améliorer le présent article.

REFERENCES

- [1] N. Varado, "Contribution au développement d'une modélisation hydrologique distribuée. Application au bassin versant de la Donga, au Bénin", Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, France, 320 p., 2004.
- [2] V. Andreassian, "Impact de l'évolution du couvert végétal forestier sur le comportement hydrologique des bassins versants," Thèse de Doctorat de l'Université de Paris 6, 262 p., 2002.
- [3] V. Andreassian, E. Parent et C. Michel, "A distribution-free test to detect gradual changes in watershed behavior," *Water resources research*, vol. 39, no. 9, pp. 1-11, 2003.
- [4] V. Andreassian, "Waters and forests: from controversy to scientific debate," *Journal of Hydrology*, Vol. 291, pp.1-27, 2004.
- [5] B.S. Ardoin, A. Dezetter, E. Servat, G. Mahe, J.E. Paturel, C. Dieulin, et J.F. Boyer, "Analyse de la variabilité des ressources en eau en Afrique de l'Ouest sahélienne par modélisation hydrologique à grand pas de temps et d'espace," *Journal de l'Eau et de l'Environnement*, vol. 3, pp. 5-13, 2003.
- [6] G. Mahé, J.E. Paturel, E. Servat, D. Conway, A. Dezetter, "The impact of land use change on soil water holding capacity and river flow modelling in the Nakambe River, Burkina Faso," *Journal of Hydrology*, vol. 300, pp.33-43, 2005.
- [7] A. Dezetter, S. Girard, J.E. Paturel, G. MAHÉ, B.S. Ardoin et E. Servat, "Simulation of runoff in West Africa : is there a single data-model combination that produces the best simulation results ?," *Journal of Hydrology*, vol. 354, no. 1-4, pp. 203-212, 2008.
- [8] T. Lasm, "Hydrogéologie des réservoirs fracturés de socle : analyses statistique et géostatistique de la fracturation et des propriétés hydrauliques. Application à la région des montagnes de Côte d'Ivoire (domaine archéen)," Thèse de Doctorat de l'Université de Poitiers, France, 274 p, 2000.
- [9] I. Savane, K.M. Coulibaly et P. Gioan, "Variabilité climatique et ressources en eaux souterraines dans la région semi-montagneuse de Man », *Sécheresse*, vol. 4, no. 12, pp. 231-237, 2001.
- [10] M.B. Saley, "Système d'informations hydrogéologiques à référence spatiale, discontinuités pseudo-images et cartographies thématiques des ressources en eau de la région semi-montagneuse de Man (Ouest de la Côte d'Ivoire)," Thèse de Doctorat, Université de Cocody-Abidjan, 211p., 2003.
- [11] B.T.A. Goula, I. Savané, B. Konan, V. Fadika et G.B. Kouadio, "Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'zo et N'zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide)," *Vertigo*, vol. 1, pp. 1-12, 2006.
- [12] K.F. Kouamé, "Gestion intégrée des ressources en eau en Afrique tropicale humide. Cas du bassin versant du N'zo à l'Ouest de la Côte d'Ivoire. Contribution de la télédétection, des systèmes d'informations géographiques et de la modélisation hydrologique," Thèse de Doctorat d'État, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 250 p., 2011.
- [13] Y.T. Brou, "Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire," Mémoire pour l'Habilitation à Diriger des Recherches, Université des Sciences et Technologie de Lille, 226 p., 2005.
- [14] A.M. Kouassi, K.F. Kouamé, M.B. Saley et Y.B. Koffi, "Identification de tendances dans la relation pluie-débit et recharge des aquifères dans un contexte de variabilité hydroclimatique : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire," *European Journal of Scientific Research*, vol. 16, no. 3, pp. 412-427, 2007.
- [15] A.M., Kouassi, K.F. Kouamé, B.T.A. Goula, T. Lasm, J.E. Paturel et J. Biémi, "Influence de la variabilité climatique et de la modification de l'occupation du sol sur la relation pluie-débit à partir d'une modélisation globale du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire," *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, vol. 11, pp. 207-229, 2008.
- [16] A.M. Kouassi, B.T.M. N'guessan, K.F. Kouamé, K.A. Kouamé, J.C. Okaingni et J. Biemi, "Application de la méthode des simulations croisées à l'analyse de tendances dans la relation pluie-débit à partir du modèle GR2M: cas du bassin

- versant du N'zi-Bandama (Côte d'Ivoire)," *Comptes Rendus Académie des Sciences Géoscience*, vol. 344, no. 5, pp.288-296, 2012.
- [17] A.M. Kouassi, "Caractérisation d'une modification éventuelle de la relation pluie-débit et ses impacts sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire," Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody-Abidjan, 210 p., 2007.
- [18] E. SERVAT, B. Kouamé, A. Dezetter et J.E. Paturel, "Modélisation pluie-débit et régionalisation: le programme ERREAU en Côte d'Ivoire," Edition CEMAGREF, FRIEND, troisième rapport 1994-1997, 431 p., 1997.
- [19] B.S. Ardoin, A. Dezetter, E. Servat et C. Bocquillon, "Redéfinition des fonctions de production des modèles globaux de relation pluie-débit en milieu semi-aride africain," Publication IAHS, vol. 274, pp. 197-203, 2002.
- [20] J.E. Paturel, M. Ouedraogo, G. Mahé, E. Servat et E. Dezetter, "Utilisation de modèles hydrologiques pour évaluer les ressources en eau de surface et leur évolution spatio-temporelle- application à l'Afrique de l'Ouest," IAHS Publication, vol. 280, pp. 117-123, 2003a.
- [21] J.E. Paturel, M. Ouedraogo, G. Mahé, E. Servat et E. Dezetter, "The influence of distributed input data on the hydrological modelling of monthly river flow regimes in West Africa," *Hydrological Sciences Journal*, vol. 48, no. 6, pp. 881-890, 2003b.
- [22] G. Mahé, J.E. Paturel, E. Servat, D. Conway, et E. Dezetter, "The impact of land use change on soil water holding capacity and river flow modelling in the Nakambe River, Burkina Faso," *Journal of Hydrology*, vol. 300, pp. 33-43., 2005.
- [23] M. Ouedraogo, E. Servat, J.E. Paturel, H. Lubès-Niel et J.M. Masson, "Caractérisation d'une modification éventuelle de la relation pluie-débit autour des années 1970 en Afrique de l'Ouest et centrale non sahélienne," IAHS Publication, vol. 252, pp. 315-321, 1998.
- [24] C. Mouelhi, "Vers une chaîne cohérente de modèles pluie-débit conceptuels globaux aux pas de temps pluriannuel, annuel, mensuel et journalier," Thèse de Doctorat de l'Ecole nationale du génie rural des eaux et forêts de Paris, France, 274 p., 2003.
- [25] S. Mouelhi, C. Michel, C. Perrin et V. Andréassian, "Stepwise development of a two parameter monthly water balance model," *Journal de l'Hydrologie*, vol. 318, pp. 200-214, 2006.
- [26] O. Nascimento, "Appréciation à l'aide d'un modèle empirique des effets d'actions anthropiques sur la relation pluie-débit à l'échelle d'un bassin versant," Thèse de Doctorat de l'Ecole Nationale de Ponts et Chaussées, France, 390 p., 1995.
- [27] B.S. Ardoin, "Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne," Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, France, 330 p., 2004.
- [28] A.M. Kouassi, K.F. Kouamé, Y.B. Koffi, K.A. Kouamé, S. Oularé et J. Biemi, "Modélisation des débits mensuels par un modèle conceptuel: application à la caractérisation de la relation pluie-débit dans le bassin versant du N'zi-Bandama (Côte d'Ivoire)," *Journal Africain de Communication Scientifique et Technologique*, vol. 11, pp. 1409-1425, 2011.
- [29] C. Perrin, "Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers d'une approche comparative," Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, France, 287 p., 2000.
- [30] C. Perrin, C. Michel et V. Andréassian, "Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation," *Journal of Hydrology*, vol. 279, pp. 275-289, 2003.
- [31] J.E. Nash et J.V. Sutcliffe, "River flow forecasting through conceptual models. Part I - A discussion of principles," *Journal of Hydrology*, vol. 27, no. 3, pp. 282-290, 1970.
- [32] M. Ouedraogo, "Contribution à l'étude de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest. Analyse des conséquences d'une sécheresse persistante : normes hydrologiques et modélisation régionale," Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, France, 257 p., 2001.
- [33] C. Perrin, C. Michel et V. Andréassian, "Modèles hydrologiques du génie rural (GR)," Rapport, Edition CEMAGREF, 100 p., 2007.
- [34] S. Bigot, Y.T. Brou, J. Oszwaid et A. Diedhou, "Facteurs de la variabilité pluviométrique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales," *Sécheresse*, vol. 16, no. 1, pp. 5-13, 2005.

Rights of the Author: Possible Extensions under Copyright Law in India

Dr. Navdeep Kour Sasan

The Law School,
University of Jammu,
Jammu, Jammu & Kashmir, India

Copyright © 2013 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Copyright is an intellectual property right and is creation of a statute. In India, the Copyright Act of 1957 forms the basis of protection of the copyright works. The owners of the copyright enjoy variety of rights in the form of economic and moral rights. These rights are transferable and the subsequent owner enjoys certain economic benefits, almost similar to those of the author of the work. Keeping in mind the interest of the authors who transfer their copyright to the producers of the cinematograph films or the sound recordings, some new provisions have been inserted by the Copyright (Amendment) Act, 2012, which has been drafted in a very impartial manner so as to empathize the authors of the literary or musical works that are included in the cinematograph films or the sound recordings by the producers of such works. For enjoying the fruits of their labor and skill, the authors of the aforesaid works have been embargoed not to assign or waive their right to receive royalties on equal basis with the producers of the respective works. Besides, the authors of the work, independent of their copyright in the work, have also been conferred with the certain special rights.

KEYWORDS: Intellectual Property, Copyright, Author, Economic rights, Moral rights.

1 INTRODUCTION

The perception that an author of the work should have an exclusive copyright in his work of intellectual creativity, took a solid shape in the eighteenth century. As before it, the publishers or the entrepreneurs exploiting the work considered them as the major risk-takers; they, thus, acquired the work from the author and organized its printing and sale. This resulted into the evolutionary conflicts of interests on the question of the ownership and authorship of the work [1]. The conflicts, however, were later resolved by conferring statutory rights to the creator of the works. In India, the copyright in different works has been given to its creators by law governing the copyright, which has been passed and amended from time to time. After independence of India, the Copyright Act of 1957 (hereinafter, Copyright Act or the principal Act) confers copyright or an 'exclusive right' to the author of the work. The Act contemplates that no copyright exists in any work, other than provided in the Copyright Act (Section 16 of the Copyright Act, 1957). Copyright is a unique kind of intellectual property [2], which is the outcome of human intellect and comes into existence as soon as it is created. There is a need to protect this work of the human genius so as to encourage the authors of the work to contribute more to the field, which in turn would promote the intellects to produce more new works in the field and also which is necessary to continue the inflow of new technological thoughts. Economy of the nation depends to some extent upon the import and export of such material, thus there is a great need to protect such works. In order to grow in the state of interdependence, it is necessary that the originators of the work must be rewarded with some monopoly rights and at the same time, it is also important to maintain a balance between the authors' rights and the public interest. For that purpose, the works, whether published or unpublished, but falling within the gamut of the copyright laws, must be protected against infringement. The copyright can be granted for the new and original works and for those which are not just an imitation of protected works. However, the novelty and originality of thought for granting protection under the copyright laws, necessarily is not to be weighed on the same footing as that of the patents. The copyright law, however, does not require that the intellectual investment in a work must necessarily be original or new, rather, the standard of originality required for copyright is low (as held in *Jagdish Prasad Gupta v. Parmeshwar Prasad Singh*, AIR 1966 Pat. 1965). What is required under copyright law is that the manner of expression of the thought must be original.

The degree of originality in case of works forming subject matter of copyright is not similar as required in case of a patent, which demands non-obviousness, besides novelty and usefulness of the invention for claiming protection and no anticipation of the work should be there by those possessing skill in that pertinent art. Besides, the copyright protection to the author of the work finds its justification in the fact that he who produces something with his skill and labour, normally would be allowed to enjoy the fruits of his labour. The Madras High Court, while explaining the basis of protection to the work of intellectual creation, in the case of **Sulamanglam R. Jayalakshmi v. Meta Musical** (AIR 2000 Mad. 454) **said:**

"The primary function of copyright law is to protect the fruits of man's work, labour, skill or test from annexation by the other people. [3]"

The copyright exists in the expression and not mere idea. The manifestation of the idea in some substantial form, i.e. book, work of art, music, drama, film, sound recording, etc., would qualify that work for protection as a 'copyright work'. The Supreme Court of India in a leading case of **R. G. Anand v. Delux Films** (AIR 1978 SC 1613) very lucidly declared that there can be no copyright in an idea, subject matter, themes, plot or historical facts [4]. It appears from the term 'copyright' that it is a single right enjoyed by the owner of the work, but in fact the copyright consists of a bundle of legal rights in the same work. The owner of the work not only possess the right as such; for certain limited period; to prevent others from copying his work, or doing any other act which according to the copyright law can only be done by the author of the work, nevertheless, the law also grants him some economic as well as moral rights. The conferment of these rights, however, is not unlimited so as to give absolute monopoly to the owner of the work where he gets absolute freedom to determine as to who can access his ideas or information, but, on the contrary, the law seeks to establish an equilibrium between the rights of the owner and the public interest in having access to ideas and information with equally important public interest in encouraging and rewarding the formulation and publication of such ideas and information.

This article is an earnest and conscientious effort to explore into the field of copyright, where the author of the work is granted with exclusive rights to deal with his work in a manner and the extent provided by law. To deal with the issue in question, it would not be out of place if I draw a line of distinction between the individual rights on one hand and the public interest on the other. For the purpose, the article is divided into three parts. First part deals with the ascertainment of the question as to who can enjoy the so called exclusive right in a copyright work. In order to answer this question, it becomes pertinent to ascertain as to who is the owner of the work. For this purpose, the concept of authorship and ownership is discussed and dealt in with a great precision. The second part relates to finding answer to the question on the rights of the author. In this context it is significant to discuss as to what are various economic and moral rights enjoyed by the author as extensions of the exclusive rights and copyright protection? Lastly, based upon the law enacted on the subject matter of copyright in 1957 and in the light various amendments including the new amendment in 2012, and the case law wherever available on the subject as laid down by the courts in India, conclusion has been drawn at the end of the article.

2 LOCUS STANDI: WHO CAN CLAIM OWNERSHIP?

In general, the 'author' of the work is the 'first owner' of the copyright with respect to his work (Section 17 of Copyright Act, 1957). However, this impression is subject to other provisions of the Copyright Act, which provide for such instances where the author of the work may not be the owner of the work. Prior to dealing with these circumstances, it becomes indispensable to determine as to who can be the author of the work? Author means (Section 2(d) of the Copyright Act, 1957):

- i. the author of the work in relation to a literary or dramatic work;
- ii. the composer in relation to a musical work;
- iii. the artist in relation to an artistic work other than a photograph;
- iv. the person taking the photograph, in relation to a photograph;
- v. the producer in relation to a cinematograph film or sound recording; and
- vi. the person who causes the work to be created in relation to any literary, dramatic, musical and artistic work which is computer generated.

The 'composer' and the 'producer,' as the authors of the musical works and the cinematograph films respectively, have been further defined in the Copyright law. The 'composer' in relation to a musical work means the person who composes the music regardless of whether he records it in any form of graphical notation (Section 2 (ffa) of the Copyright Act, 1957). The 'producer' in relation to a cinematograph film means a person who takes the initiative and responsibility for making the work (Section 2 (uu) of the Copyright Act, 1957). With the objective to recognize the intellectual contributions of the principal director in the cinematograph films, concept of joint authorship of producer and the principal director was proposed in the Copyright (Amendment) Bill, 2010 [5]. Accordingly, it was proposed that as per clause 2(d) (vi) both producer and the principal director would be the authors of the cinematograph film. Also sub clause (vi) in relation to the sound recording, the producer was proposed to be the author. Further, clause 2 (z) defining the term 'work of joint authorship' was proposed to

be modified by insertion of an Explanation clarifying that the cinematograph film would be treated as a work of joint authorship except in cases where the producer and principal directors are same persons. However, these proposed provisions in the 2010 Amendment Bill did not find any mention in the 2012 Amendment Act where the definition of the author, especially, the producer of the cinematograph film, has been kept unchanged. This might possibly be due to the opposition by the representatives of Film and Television Producers Guild of India made during the consultation process held with regards to the Copyright (Amendment) Bill, 2010, where the proposed co-ownership to the principal director was considered by them as unfair and unjustified on the fact that it would be the producer who was to face the potential risk of loss as compared to the principal director who charges upfront fee for his services, irrespective of any profit or loss. It was also emphasized that the contract negotiated freely between the producer and the director could be made in a way so as to incorporate the percentage of profit to be shared by them (as in [5]).

The Copyright Act provides for such classes of persons, who though not the authors of the work, yet become the first owners of the copyright of a work under certain circumstances. Clauses (a) to (e) of Section 17 (1) of the Copyright Act enumerate such instances where not the author but someone else for whom work is done in course of employment and to certain extent and for certain purposes can have the ownership. The provisions conferring ownership to others, those who may be:

- The proprietor of the newspaper, magazine or similar periodical [s.17 (a)];
- The person who has paid value consideration for the work [s.17 (b)];
- The employer under a contract of service or apprenticeship [s. 17 (c)];
- 4. The person who delivers or on whose behalf the speech is delivered or an address is made [s. 17 (cc)] (Inserted by the Copyright (Amendment) Act, 1983) ;
- 5. Government in case of Government work [s. 17 (d)];
- 6. Public undertakings [s. 17 (dd)] (Inserted by the Copyright (Amendment) Act, 1983); and
- 7. e. International Organizations [s. 17 (e)].

Clause 2(v) under the 2010 Amendment Bill sought to amend Section 17 of the principal Act of 1957, where under producer and principal director were to be treated jointly as the first owner of the copyright after the bill was to be passed as 2010 Amendment Act, however, the same could not be passed. Later, the Copyright (Amendment) Act, 2012, added that in section 17 of the principal Act, in clause (e) the following proviso shall be inserted at the end, namely:

"Provided that in case of any work incorporated in a cinematograph work, nothing contained in clauses (b) and (c) shall affect the right of the author in the work referred to in clause (a) of sub-section (1) of section 13." (Section 13 (1) (a) of the Copyright Act, 1957, deals with the original literary, dramatic, musical and artistic works).

The Supreme Court, in the case of **Vicco Laboratories v. Art Commercial Advertising Pvt. Ltd.**, AIR 2001 SC 2753, rejected the claim of ownership made by the petitioner in the famous T.V. Serial "*Yeh Jo Hai Zindagi*", on the ground that the petitioner failed to establish that the respondent produced the serial acting as his agent or produced it during the course of his employment or for any valuable consideration paid by him to the respondent or at the instance of the respondent.

As it is evident from the provisions contained in Section 17 that there are certain exceptions to the rule that the author is the first owner of his work, it would also be not inappropriate if a question arises in our minds as to what if the first owner who is not the author of the work assigns the work to some third person? Does the right of the author of the work to claim royalty comes to an end after he creates the work for valuable consideration? In **Indian Performing Rights Society v. Eastern India Motion Pictures**, AIR 1977 SC 1443, the Supreme Court laid down that when a cinematograph film producer commissions a composer of a music or lyricist for a reward or valuable consideration for the purpose, the producer of a cinematograph film could defeat the rights of a music composer or the lyricist in the manner stipulated in the provisions (b) and (c) of Section 17 of the Copyright Act, 1957(See [3] at 53). Also in case of **Eastern Motion Pictures v. Performing Rights Society** AIR 1978 Cal 477, the Calcutta High Court held that when a cinematograph film producer commissions a composer of music or a lyricist for reward or valuable consideration for the purpose of making his cinematograph film, then the first owner of such music or lyrics would be the producer of the film (See [3] at 53). Though, no definitional changes were brought in clause (2) (d) by the 2012 amendment of the copyright law, nonetheless, certain provisions protecting the economic interests of the authors of the copyright work have been incorporated. The Copyright (Amendment) Act, 2012 also brought some changes to the provisions of Section 17 and 18 of the principal Act of 1957. In Section 19 of the principal Act, the words 'royalty and any other consideration payable' have been substituted in sub-section (3) for the words 'royalty payable, if any'. Besides sub-section (8), sub-sections (9) and (10) have been inserted in Section 19, which also protect the economic interests of the authors of the work. Sub- section (9) reads as:

"No assignment of copyright in any work to make a cinematograph film shall affect the right of the author of the work to claim an equal share of royalties and consideration payable in case of utilization of the work in any other form other than for the communication to the public of the work, along with the cinematograph film in a cinema hall."

Further, sub-section (10) provides as:

"No assignment of copyright in any work to make a sound recording which does not form part of any cinematograph film shall affect the right of the author of the work to claim an equal share of royalties and consideration payable for any utilization of such work in any form."

Both the above new inserted provisions protect the economic rights of the authors of the work irrespective of any consideration paid to them by the person who commissions them for producing that work. Moreover, proviso inserted after sub-section (1) of Section 18 prohibits the author of the literary or musical work, included in the cinematograph film, to assign or waive the right to receive royalties to be shared on an equal basis with the assignee of the copyright for the utilization of such work in any form other than the communication to the public, of the work along with the cinematograph film in a cinema hall. Additionally, the economic interests of author of literary or musical work whose work is included in the sound recording but do not form the part of the cinematograph film, are protected by imposing a prohibition to assign or waive the right to receive the royalties to share on equal basis with the assignee of the copyright for any utilization of such work. Moreover, in Section 34 and 35 of the principal Act, for the words 'owner of rights' the words 'author and other owners of right' have been substituted, wherever they appeared in the principal Act before the enactment of the Copyright (Amendment) Act, 2012.

Notwithstanding anything in sub-section (9) and (10) of Section 19, if it is found that the ownership vests with a single author or it is a work of joint authorship: depending upon the number of authors; the rights would be enjoyed equally by all of them. In the case of **Levy v. Rutley**, 1871 LR 6 CP 523, the court held that in order to constitute joint authorship, it is necessary that there should be a common design and co-operation in carrying out the design. If two persons agree to jointly write a play, agreeing on the general outline and design and sharing the labour of working it out, each author would be contributing to the whole production and they might be said to be the joint authors of it, but to constitute joint authorship, there must be a common design (See [2] at 309). Similarly, the Delhi High Court in the case of **Najma Heptulla v. M/S Orient Longman Ltd.**, AIR 1989 Del 63, took the issue of authorship of a book entitled: "*India Wins Freedom*", and observed that the work was the result of active and close intellectual collaboration between two persons, namely, Maulana Abul Kalam and Humayun Kabir. In the work in question, it was found that the work was result of the contribution of both of them, where one provided the material for the book, whereas, the other wrote the same in English. It was, thus, held that such a work could not be considered as a sole creation of either of the two, and was a work of joint authorship. The Copyright Act, 1957 under Section 2(z) recognizes the work of joint authorship and defines it as:

"a work produced by the collaboration of two or more authors in which the contribution of one author is not distinct from the contribution of the other author or authors."

The new amendment in the Copyright law has increased the horizon of the author's rights, which earlier could be restricted when that work was created in course of employment of others, or for a valuable consideration or when it was a commissioned work, especially, in case the work was created for the purpose of its inclusion in the cinematograph film.

3 RIGHTS OF THE AUTHOR

The Copyright Act, 1957 protects not only the economic or commercial interests of the author, but also his social interests in the form of moral rights or certain special rights. Besides, their protection under the Berne Convention for the Protection of Literary and Artistic Works, 1886, and the Universal Copyright Convention, 1952, these rights are also protected by the Copyright Act, 1957. Section 13 of the Copyright Act, deals with the subject matters which can be protected as copyright works. Various classes of works have been mentioned so as to include original literary, dramatic, musical and artistic works; cinematograph films and sound recordings. Section 14 of the Copyright Act as amended in 1994, defines copyright as an exclusive right to the owner of the copyright and also confers some economic rights to the author along with permission to do certain acts in respect of a work or with respect to any substantial part of such work. Section 51 of the Copyright Act explains the infringement of the copyright in general, whereby an act of a person without license from the owner of the copyright or the Registrar of Copyright, or in contravention of any conditions imposed by a competent authority under the Act, does anything, the exclusive right of doing which is conferred upon the owner of the copyright; or permits for profit the use of any place for the communication of the work to the public where such communication constitutes an infringement of the copyright, unless he had a knowledge of the same (Substituted by the Copyright (Amendment) Act, 1994), or where a

person for the purpose of sale, trade, etc., displays or offers for sale the infringing copies of the work, under section 51 shall be guilty for the offence of copyright infringement. Thus, no person other than the owner of the copyright can do anything with respect to the work in which the copyright subsists. The Privy Council in **Macmillan and Co. Ltd. v. K & J Cooper**, AIR 1924 PC 75, while explaining the basis of copyright law held: "The moral basis on which the principle of protective provisions of Copyright Act rests is the Eighth Commandment- i.e., "Thou shall not steal". The owner's work is protected besides his entitlement to earn monetary gain from the work produced by his intellectual labour. In **Garware Plastics and Polyester Ltd., Bombay v. M/S Telelink**, AIR 1989 Bom.33, the Bombay High Court observed: "The Copyright Act is meant to protect the owner of the copyright against unauthorized performance of his work thereby entitling him monetary gain from his intellectual property."

The Economic rights confer upon the author of the work to derive profits by exploitation of his work. For the purpose of convenience we can classify economic rights as:

1. Right to Reproduce work;
2. Right to Adaptation and Translation of work;
3. Right to Distribute Copies of work or Commercial Rental;
4. Right of Public Performance; and
5. Right to Broadcast work

3.1 RIGHT TO REPRODUCE WORK

The most fundamental and valuable right of the author is the right to reproduce his work. This right is recognized by the Berne Convention on the Protection of Literary and Artistic Works, 1886, by the Universal Copyright Convention, 1952 and also by the Indian law on copyright contained in the Copyright Act, 1957. Section 14 of the Copyright Act confers the right to the author of the work to reproduce his work or to authorize others to do so. In case of literary, dramatic or musical works, as well as computer programmes, the right is not restricted to reproduce the work in the same form; rather the reproduction of the work can be done in any material form, including the storing of it in any medium by electronic means (Sections 14 (a) (i) and 14 (b) (i)). In case of artistic works, the right extends to reproduce the work in any material form including depiction in three dimensions of a two dimensional work or in two dimensions of a three dimensional work (Section 14 (c) (i), substituted by the Copyright (Amendment) Act, 2012). In case of cinematograph film, the reproduction right extends to the making of copies of the film including photographs of any images forming part of the film and storing it in any medium by electronic or other means (Section 14 (d) (i), substituted by the Copyright (Amendment) Act, 2012). From the different provisions discussed under Section 14 of the Copyright Act, one can infer that the term 'reproduction' is used for the literary, dramatic, musical and artistic works, whereas, the words 'make any copy' and 'make an sound recording' has been used to express the right of reproduction in case of cinematograph films and sound recordings respectively. The Copyright Act, however, does not define the term 'reproduction' or 'copy'. In order to explain the meaning of these terms, the court in case of **Star India (P) Ltd. v. Leo Burnett India (P) Ltd.**, (2003) 27 PTC 81 Bom, discussed the following points some of which were: (1) What is the meaning of right to reproduce Under Section 14 (d) of the Copyright Act of 1957 with respect to the cinematograph film? (2) Is reproduction right of cinematograph film different from that granted in case of literary, dramatic, musical or artistic works? In this case, a telecast of commercial by the defendants (in February 2000) for a consumer product "Tide Detergent", with a title: 'Kyon Ki Bahu Bhi Kabhi Saas Banegi' created a controversy, wherein the plaintiff who was the owner of television serial 'Kyon Ki Saas Bhi Kabhi Bahu Thi' ; a cinematograph film within the meaning of Section 2(f) of the Copyright Act (Substituted by Act 38 of 1994, Section 2, for clause (f), w. e. f., May 10, 1995), contended that the overall impression of any viewer, who sees both the works, would be that the subsequent work of the defendants is a copy of the original work of the plaintiffs and that it was sufficient to create an impression in the minds of the viewers that the plaintiffs are whole heartedly and unreservedly endorsing the product of the defendants, who used the identical characters being played by the same artists in their commercial. The question which came for the consideration for the court was whether the commercial made by the defendants is a copy of the work of the plaintiff. The while explaining the meaning of the term 'reproduction' and the 'copy of the work', used in Section 14 with respect to the literary, dramatic, musical, artistic works or computer programmes, on one hand and that for the cinematograph film and sound recording on the other, held that their extent varies in degree only, where one confers the exclusive right to reproduce the work in any mater form in case of the former category of works and in the latter to make copy of the respective works, which means making of the physical copy of the film itself. Consequently, such interpretation by the court gave a green signal to the telecast of the commercial that could not be treated as the copy of the work and the production of same cinematograph film by another would not amount the infringement of the copyright of the first film as making copy of the work without consent of the owner would constitute an infringement of the work. Also that if the subsequent film has been produced separately and even if it resembles the first film, it would not amount to infringement as it is not the copy of first film which as such has been prohibited by the law [6]-

[7]. The scope of the right to reproduce a work, thus, depends upon the nature of the subject matter in question. As in case of literary works, the reproduction right stretches to a series of works, which are considered as literary works under Section 2(o) of the Copyright (Amendment) Act, 1994. The Courts in India have declared that copyright subsists in various literary works such as dissertation, question papers, encyclopedias, dictionaries, head notes of Law Reports, etc (See [4], pp.27-28).

3.2 RIGHT TO ADAPTATION AND TRANSLATION OF WORK

Section 2 (a) of the principal Act defines the term 'adaptation', which, depending upon the nature of the work, confers the author with a right to convert the work into other form, or the right to perform the work in public, or to abridge the work, or to make any arrangement or transcription of the work, or rearrangement or alteration of the work (For the detailed definition of the term 'adaptation', see; Section 2(a) of the Copyright Act, 1957). Adaptation is usually understood to involve adapting an already existing work, in which the copyright subsists, from one form to another, for example, from novel to a drama or film, or from two dimensional to three dimensional form, etc. Once the work is adapted, the author of the work can enjoy the reproduction right or the right to make copies of work depending upon the nature of the work so adapted. However, adaptations also permit alterations to the work in same form, as publication of the new edition of the book, where modifications in the law book so as to incorporate new developments in the field. In case of artistic works, especially, the 'works of architecture' as defined under section 2 (b) (Substituted for the words 'architectural works of art' by the Copyright (Amendment) Act, 1994), which means any building or structure having character or design, or any model for such building or structure, the owner of the work such as building often alters the maps of the buildings from time to time so as to make the house more modern as per the trend in the property market or otherwise, that may frequently lead to conflict with the copyright of the author of the work, who in this case would be an architect. Thus, in such works the question arises whether alteration is permissible to the owner of the work as against the author of the work? In order to protect the works of architecture and works relative to architecture against unauthorized reproduction by the owners of the work, and also resolve this issue of conflicting interests of the owner and the author, the UNESCO and the WIPO suggested a way-out so as to protect the owner from the act of infringement against the author on one hand, and protection of the economic interest of the author, which is as under:

"The author of the work of architecture should enjoy the exclusive right of authorizing alterations of that work, except where the alteration is of a kind that is of great importance to the owner of the building or other similar construction and that does not amount to a distortion, mutilation or other modification which would be prejudicial to the honour or reputation of the author of the work of architecture." [8]

The owner of the copyright can prevent others from reducing the contents of the work and by simply omitting certain material and copying some, and then claiming copyright on it. As abridgement of the work involves a sense of judging the things, skill, labour, etc., every abridgement does not entitle the creator of the abridged work a copyright in that work. A genuine abridgement of the work amounts to the creation of an original work, which can entitle the author of that work with the copyright. Thus, copying certain passages and omitting others would not entitle the author of that work a copyright. Thus, a digest of any literary work is an abridgement. In the case of **Raghubathan v. All India Reporter**, AIR 1971 Bom. 48, the Bombay High Court held that a genuine abridgement of the literary work is an original work and is the subject matter of copyright abridgement amounts to the reproduction of an original work in a much more precise and concise way (See [4], pp. 28). In case of translated works, as in **Blackwood & Sons Ltd. v. Parsuraman**, AIR 1959 Mad. 410, the Madras High Court held that a translation is entitled to the copyright protection and also reproduction of that work in any other language, without the consent of the owner, would amount to infringement of the original work [9]. However, the right of translation itself vests in the owner of the work, which is capable of translation, as in case of literary works. Lord Atkinson in the case of **Macmillan and Co. Ltd. v. K & J Cooper**, AIR 1924 PC 75, observed that in order "to constitute a true and equitable abridgement, the entire work must be preserved in its precise import and exact meaning, and then the act of abridgement is an exertion of the individuality employed in molding and transferring a large work into a small compass, thus rendering it less expensive and more convenient both to the time and use of the reader." (See [2], pp. 278) Besides that "independent labor must be apparent." (See [2], pp. 278)

3.3 RIGHT TO DISTRIBUTE COPIES OF WORK AND COMMERCIAL RENTAL

The right to distribution implies sale, lease, rental, lending, etc., of the work to the public. In other words, possession of copies of the work by any of the methods of distribution amounts to 'distribution'. The right to distribute the copies of the work vests exclusively by the first owner of the work. The right to distribute the copies of the cinematograph work was not expressly mentioned in the Berne Convention on Literary and Artistic Works, 1886. The right to distribute the cinematograph works, however, under the Copyright Act, 1957, is conferred upon the author of the work in a different manner, by giving

him right to sell or of commercial rental. Under Section 14 (d) (ii), gives right to sell or give on commercial rental or offer for sale or for such rental, any copy of the film (Substituted by the Copyright (Amendment) Act, 2012). Further, in case of sound recordings, right to distribute the copies is available in the same manner as in case of the cinematograph film (Section 14 (e) (ii), substituted by the Copyright (Amendment) Act, 2012). However, the right to issue copies of the work to the public not being the copies in circulation is available in case of literary, dramatic, musical or artistic works (Section 14 (a) (ii) and (c) (iii) of the Copyright Act, 1957). In the case of a computer programme, distribution right can be inferred from the provision contained in Section 14 (b) (ii), (Substituted by the Copyright (Amendment) Act, 1999), which confers on the holder of the right, a right to sell or give on commercial rental or offer for sale or commercial rental any copy of the computer programme. But where the computer programme itself is not the essential object of rental, the concept of commercial rental does not apply in that case. The question which needs to be answered at this stage is whether right to distribute gets exhausted in relation to the copy after its first sale? Article 6 of the TRIPS Agreement contains the a reference to the doctrine of exhaustion, whereby, exhaustion of the distribution right has been subjected to the provisions of Articles 3 and 4 of the TRIPA Agreement, which refer to the principles of National Treatment (NT clause) and the Most- favored Nation Treatment (MFN clause). The so called '*first sale doctrine*' or the '*doctrine of exhaustion*' is explicitly recognized in the U.S. (17 U.S.C. s.109(a)). The Doctrine says that once someone buys a legitimate copy of a work, they can do whatever they want with it, including sell it to others, or lend it out, or whatever. They just can't make extra copies of it. In a very famous case of **Bobbs-Merrill Co. v. Straus**, (210 U.S. 339 (1908)) [10], the Supreme Court of the United States held that once the owner of the copyrighted work, Bobbs- Merrill, has sold his book called '*The Castaway*' without any restriction regarding sale by the purchaser of that article, parts with all his right to control the sale of it, By selling his copies at wholesale, the owner exhausts his right to vend and cannot restrict later on by instituting a suit of infringement, against the retailer, Straus, from reselling the copies at a second hand price, that is, below what is mentioned on each copy. The court found that the copyright law, basically, gave the owner of the right to restrict others from making their own copies of the work. However, it did not give them the rights to control what happened to books after they sold them. In India, however, the owner of the computer programmes, which are the objects of the copyright, and also the owner of the sound recordings have been conferred with the commercial rental rights, which do not thus attract the first sale doctrine and are clear exceptions to this rule. But in case of dramatic, musical, artistic and literary works, other than the computer programmes, the use of the words '*not being copies already in circulation*,' itself suggest that the right of the author to distribute the copies of his work extends only to the extent of new copies which have to be sold for the first time and not beyond that. Thus, the doctrine of exhaustion is applicable in respect to certain works which are not the subject of commercial rental; however, subject to other provisions, as Section 53 A, inserted by the Copyright (Amendment) Act, 1994 that permits share in the resale of the work where the value of resale is rupees ten thousand or more, though not explicitly referred in the Indian copyright law. In respect of distribution rights, in contrast to the American first- sale doctrine, some countries grant to the artists or their heirs, the right to follow (*droit de suite*, a French maxim), which means a right to receive a fee on resale of their works of art. In India, resale share to the author; if he is the first owner of the rights under Section 17, or to his legal heirs; in the original copy of a painting, sculpture or drawing, or of the original manuscript of a literary or dramatic work or musical work, in the case of resale for a price exceeds ten thousand rupees. Despite the fact that the copyright has been assigned, he has a right to share in the resale price of such original copy or manuscript in accordance with the provisions of Section 53 A. The resale share right, however shall come to an end after the expiration of the term of the copyright.

3.4 RIGHT OF PUBLIC PERFORMANCE

The Copyright law in India recognizes the right of the public performance in respect of the literary, dramatic or musical works. Section 2 (q) of the Copyright Act defines the term performance in relation to performer's right to mean any visual or acoustic presentation made live by one or more performers (Substituted by the Copyright (Amendment) Act, 1994). An actor, singer, musician, dancer, acrobat, juggler, conjurer, snake charmer, a person delivering a lecture or any other person who makes a performance is a performer within the meaning of Section 2 (qq) of the Copyright Act. However, a proviso has been inserted by the Copyright (Amendment) Act to clause (qq) of Section 2, which provides that "in a cinematograph film a person whose performance is casual or incidental in nature and, in the normal course of the practice of the industry, is not acknowledged anywhere including in the credits of the film shall not be treated as a performer except for the purpose of the clause (b) of section 38B."

3.5 RIGHT TO BROADCAST WORK

The Rome Convention of 1961 defines the term 'broadcasting' under Article 3 (f). Under it broadcasting means transmission by wireless means for public reception of sounds or images or sounds and images. Even simultaneous broadcasting by one broadcasting organization of the broadcast of another broadcasting organization has also been covered by the Convention

under the term 'rebroadcasting.' On the pattern of the Indian copyright law also defines the term 'broadcast' to mean communication to the public by any means of wireless diffusion, whether in any one or more of the forms of signs, sounds or visual images ; or by wire and includes a re-broadcast (Inserted by the Copyright (Amendment) Act, 1983). From this definition it is clear that the broadcasting right also include the right to communicate the work to the public. "Communication to the public' under Section 2(ff), which is substituted by the Copyright (Amendment) Act, 2012, means "making any work or performance available for being seen or heard or otherwise enjoyed by the public directly or by any means of display or diffusion other than by issuing physical copies of it , whether simultaneously or at places and times chosen individually, regardless of whether any member of the public actually sees, hears or otherwise enjoys the work or performance so made available." An explanation is provided to show that the communication through the satellite or cable or any other means of simultaneous communication to more than one household or place of residence including residential rooms of any hotel or hostel shall be deemed to be communication to public. Thus we see that one of the notions of the right to communication to public is the notion of public. In the case of **Garware Plastic and Polyester Ltd., Bombay v. M/S Telelink**, AIR 1989 Bom.33, the Bombay High Court while determining the question as to whether causing a video film to be shown over a Cable Television Network by a person having no video copyright over such film amounted to broadcasting, resulting in the infringement of the copyright over the film? Or in other words, whether it amounts to the communication to public? In order to answer this question, the court felt a need to discussed the term 'public' as against communication in private, which essentially depends upon the persons receiving the communication The court held that in this case as the communication of the film over the cable television network was meant for the public having in view the nature of the audience of the Cable TV Network, thus amounted to infringement of the copyright.

4 SPECIAL RIGHTS OF THE AUTHOR

The author of the work has the right to preserve and protect his moral rights. The protection accorded by the moral rights, however, is different from the economic rights. Whereas the economic rights protect the economic interests of the author by preventing others from exploiting the work without the consent of the author, the moral rights focus on the protection of the author's personality. Section 57 of the Copyright Act supports this view and protects the moral rights along with the right of the author to claim authorship in the work (*droit de paternite*), or in other words the right of paternity) as Author's Special Rights. As amended by the Copyright (Amendment) Act, 2012, Section 57 gives the author of the work a right to restrain or claim damages in respect of any distortion, mutilation, modification or other act in relation to the said work, if such distortion, mutilation, modification or other act would be prejudicial to his reputation. Thus this provision confers the right of reputation (*droit de respect de l'oeuvre*) in order to preserve the integrity of the author of the work, despite the fact that the author has assigned his work either wholly or partially. This right is independent of the author's copyright. Further, this provision does not speak of the publisher's or owners special rights. In the case of **Wiley Eastern Ltd. v. Indian Institute of Management**, 1995 PTR 53 (Del.), the court held that the words " Action prejudicial to his honour or reputation" under Section 57 (1) (b) refers only to the author of the work and not to any other person related with the work in any manner.. Section 57 is a special provision for the protection of the special rights of the author. The object of the section is to put the intellectual property on higher footing than the normal objects of copyright. Further, that the language used in Section 57 is of widest amplitude and cannot be restricted to the literary' expression only and also covers other expressions such as visual and audio manifestations, as was held in the case of **Mannu Bhandari v. Kala Vikas Pictures Pvt. Ltd.** AIR 1987Del. 13.

5 CONCLUSION

In India, an author of the copyright works under the Copyright Act, 1957, possess a right to protect his works against unauthorized infringement. His rights under the copyright law extend to protect his economic and moral rights. The economic rights are undermined by the technological innovations and face threat from the growing and ever enlarging technology, which has resulted into the increased incidents of piracy of the copyrighted works, further necessitates its protection not only within, but beyond the territorial regimes of a country. Besides, protecting the economic rights of the author, his reputation and personality are also protected against any distortion, mutilation or modification of the work. The judicial interpretation of these rights has been remarkable in giving them life in the real sense of term. Though the Copyright (Amendment) Act of 2012 has incorporated many changes to protect the rights of the author to share the royalty with the producer(s) of the cinematograph films and the sound recordings, still the rights of the authors awaits protection and justice for the works available on the internet.

REFERENCES

- [1] W.R. Cornish, "Intellectual Property: Patents, Copyright, Trade Marks and Allied Marks," (Delhi: Universal Law Publishing Co. Pvt. Ltd., 2003), 2nd Indian Reprint, at 297.
- [2] Dr. B. L. Wadehra, "Law Relating to Intellectual Property," (New Delhi: Universal Law Publishing Co. Pvt. Ltd., 2012), 5th Edition Reprint, at 26
- [3] Meenu Paul, "Intellectual Property Laws," (Faridabad: Allahabad Law Agency, 2009), 3rd Edition, at 21.
- [4] Dr. M. K. Bhandari, "Law Relating to Intellectual Property Rights," (Allahabad: Central Law Publications, 2010), 2nd Edition, at 27.
- [5] 227th Report by the Department- Related Parliamentary Standing Committee on Human Resource Development on the Copyright (Amendment) Bill, 2010, presented to the Rajya Sabha and laid on the table of the Lok Sabha on November 23, 2010; Rajya Sabha Secretariat, New Delhi, November 2010/ Agraphayana, 1932 (Saka). Available at: <http://rajyasabha.nic.in>
- [6] N. S. Gopalakrishnan and T.G. Agitha, "Principles of Intellectual Property," (Lucknow: Eastern Book Co., 2009) 1st Edition, at 224-233;
- [7] Arathi Ashok, "Economic Rights of Authors under Copyright Law: Some emerging Judicial Trends," Journal of Intellectual Property Rights, Vol.15, Jan. 2010, at 49.
- [8] The Committee of Governmental Experts on Works of Architecture, while dealing with the questions concerning the protection of works of architecture and works relative to architecture suggested the right of authorizing alterations. See, UNESCO/WIPO/CGE/WA/3, dated July 28, Principle WA. 4, Para 30, at 9, Available at: www.wipo.int/mdocarchives/UNESCO_WIPO_CGE_WA_86/UNESCO_WIPO_CGE_WA_3_E.pdf (last visited: September 10, 2012)
- [9] Dr. Raghbir Singh, Law Relating to Intellectual Property, (Delhi: Universal Law Publishing Co. Pvt. Ltd., 2008), 2nd Edition, Vol. 2, at 893.
- [10] Bobbs- Merrill Co. v. Straus, (210 U.S. 339 (1908)). Available at: <http://www.invispress.com/law/copyright/bobbs.html> (Last visited: September 10, 2012).

The Vertical Dimension – An Orthodontist Perspective

Dr. Soumya KM¹, Dr. Aravind S Raju², Dr. Renji K Paul², Dr. Mahantesh R. Chinagundi³, and Dr. Vinay P Reddy⁴

¹Senior Lecturer, MDS,
Department of Orthodontics,
Alazar Dental College & Hospital,
Kerala, India

²Senior Lecturer, MDS,
Department of Orthodontics,
St.Gregorios Dental College & Hospital,
Kerala, India

³Senior Lecturer, MDS,
Department of Orthodontics,
M.S.Ramiah Dental College & Hospital,
Bangalore, Karnataka, India

⁴Professor, MDS,
Department of Orthodontics,
Krishnadevaraya College of Dental Sciences & Hospital,
Bangalore, Karnataka, India

Copyright © 2013 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Deepbite and open bite presents an orthodontist with challenge in any of its much form. Diagnosis, treatment planning and appropriate mechanics form a backbone of successful orthodontic treatment of these kinds of vertical problems. Patients with this kind of malocclusion can be diagnosed clinically and cephalometrically, however, diagnosis should be viewed in the context of the skeletal and dental structure. Vertical growth is the last dimension to be completed, therefore treatment may appear to be successful one point and fail later. Some treatment may be prolonged if begun early. This article reviews diagnosis, control of vertical dimension which aims at striking a balance between the soft- tissues and the dento - alveolar and skeletal structures. So far various techniques have been tried both successfully and unsuccessfully, both surgically and orthodontically (Even a combination of both).

KEYWORDS: Vertical dimension, Deepbite, Openbite.

INTRODUCTION

Vertical dysplasias often are among the most difficult dentofacial problems to treat. It seems obvious that inherited facial proportions and habits, functional adaptations and other environment factors may contribute to the etiology. Vertical problems arise in the end from a discrepancy between mandibular ramus growth and tooth eruption. The amount of tooth eruption must be coordinated with ramus growth is determined by the orientation of the jaws. During the examination of vertical dysplasia case three major questions must be considered: 1) What determines the orientation of the jaws? 2) What controls the amount of tooth eruption? and 3) How do these factors interact?.

INFLUENCES ON JAW ORIENTATION : Bjork's implant studies show that rotation of the maxilla occurs during growth and although the internal rotation of the maxillary core usually is concealed by surface remodeling that maintains the orientation of the palatal plane, this rotation does not always occur in patients with vertical dysplasias [1]. If the maxilla is rotated down posteriorly, or up anteriorly, the amount of space for eruption of posterior teeth is reduced, space for eruption of anterior teeth increases and there is a tendency toward anterior open bite. Another influence on jaw orientation is the length of the ramus. The shorter the ramus, the smaller the space available for eruption of posterior teeth and the greater the chance that the mandible will rotate downward and backward. The longer the ramus, the greater the chance of mandibular rotation in the other direction.

INFLUENCES ON TOOTH ERUPTION : Based on the observations at frequent intervals, showed that active eruption occurred during the early evening but not during the day and was facilitated by having the child resting and quiet during the evening through initial video microscope studies [2]-[3].

A flexible fiber optic cable to bring the image of the rulings to the video microscope has allowed continuous observation of an erupting premolar for 12-hour periods [4]. These studies confirm that essentially all net eruptions occurs during a few critical hours in the evening, usually from about 8 pm until midnight [4]. This period of active eruption is remarkably similar to the time of major release of human growth hormone which suggests that adequate HGH levels may be necessary for eruption.

The path of eruption of the maxillary teeth is downward and somewhat forward. In normal growth the maxilla usually rotates a few degrees forward but frequently rotates slightly backward. The eruption path of mandibular teeth is upward and somewhat forward. When excessive rotation occurs in the short face type of development, the incisors tend to be carried into an overlapping position even if they erupt very little; hence the tendencies for deep bite malocclusion in short face individuals. In the long face growth pattern, an anterior open bite will develop as anterior face height increases unless the incisors erupt for an extreme distance.

CHARACTERISTICS OF VERTICAL DYSPLASIA: The most common types of vertical dysplasia generally are referred to as hyperdivergent and hypodivergent. Sassouni [5], Schudy [6] have described the former type of dysplasia as long face syndrome. Opedebeeck [7] referred to the later as Short face syndrome.

- i. *Dimensional Deviations:* The total anterior facial height is relatively large in persons with open bite faces when compared to the average according to the investigations done by Hellan [8], Johnson [9]. The morphological basis of an open bite is associated with a large gonial angle, lack of compensating curve of spee, large vertical posterior maxillary dimension, anteroposterior rotation of maxilla and midcranial fossa and long mandibular corpus [10]. In the deepbite subjects (Fig.1) the deviations essentially are opposite to the openbite subjects (Fig.2).



Fig. 1



Fig. 2

Many investigators have confirmed that there is a strong influence of lower anterior facial height on the formation of vertical facial proportions [11]-[13]. Open bite subjects are characterized by larger lower vertical facial heights in comparison with deepbite subjects.

- ii. *Positional deviations:* The four basic horizontal planes (palatal plane, mandibular plane, occlusal plane, anterior cranial base) tend to be steeper and more divergent in persons with large lower face height than in deepbite subjects whose facial planes are more parallel [14].

Several investigators have noted that the posterior half of the palate tends to be tipped downward in persons with open bite [10]. Carrying the molars downwards with posterior teeth acting as a fulcrum, there is a concomitant backward rotation of the mandible and consequently lower anterior face height and palatomandibular angle increase.

Several investigators have confirmed that the increase angle of the mandibular plane commonly found in persons with long faces is associated with a backward rotational growth pattern that can affect the vertical proportions of the anterior component of the face [15].

- iii. *Soft tissue characteristics:* A large interlabial gap is almost evident on clinical examination of a skeletal open bite patient (Fig.3) [16].



Fig.3

The lips are incompetent at rest and when the lips are closed, the mentalis muscle is strained and displaced to the level of the alveolar bone, giving the patient a chinless appearance. The distance between the posterior border of the palate and gonion is extremely small and the tongue and soft palate are crowded within a narrow pharyngeal space. Tongue position and incompetent lips leading to mandibular rotation and a high and narrow palatal vault leading to maxillary lingual crossbite.

- iv. *Breathing behavior and posture:* Ricketts [17] used the term “respiratory obstruction syndrome” to describe the constellation of features seen in mouth breathers. Quinn has assigned nasal airway obstruction as the major cause of mandibular prognathism, facial asymmetries and vertical dysplasias [18]. Mouthbreathing may cause habitual mouth agape posture; this is the proximate cause of the condition known as long face syndrome. Posterior crossbite occurs because the tongue is lowered, leaving the contracting effect of the buccinators muscles unopposed. Vertical posterior alveolar growth and dental eruption are enhanced because the forces restraining these changes are diminished because of jaw agape posture. Reduced facial height has been reported in patients who wore Milwaukee braces with chin rests for spinal scoliosis [19]. The weight of the head was expressed between the dental arches, simulating overactive elevators of the mandible.

DIAGNOSIS OF OPENBITE AND DEEPBITE PROBLEMS: The Openbite Depth Indicator and Anteroposterior Dysplasia Index (APDI) are cephalometric measurements that serve as the “gold standard” for assessment of certain problems that are clinically significant [20]-[21].

The Overbite depth indicator (ODI) is an excellent guide to vertical problems that unfortunately cannot be modified significantly by routine orthodontic treatment. The ODI is determined by measuring the angle formed by the A-B plane and the mandibular plane, relating the anterior limits of the maxilla and mandible to the mandibular plane. Second, the relationship between the palatal plane and Frankfort horizontal plane is considered. If the palatal plane slopes anteriorly the difference is added to the AB/MP angle; conversely if the palatal plane slopes down posteriorly the difference between the palatal plane and FH is subtracted from the AB/MP angle. No change in the AB/MP angle is required if the palatal plane and FH are parallel.

An ODI of 65 degree or below strongly warns of the potential for an openbite to develop. A low ODI also indicates that teeth will move rapidly within the alveolar process: therefore, extra care must be taken not to lose anchorage in an extraction case. A high ODI of 80 degree or above indicates a deepbite skeletal pattern. Extraction of permanent teeth should be avoided, if possible because of the strong potential for deepbite relapse.

APDI is determined by measuring the angle formed by the AB Plane to the palatal plane, relating the anterior limits of the bony bases to the palatal plane and reflecting the horizontal discrepancies of a malocclusion. A class I skeletal pattern with an APDI of 81 indicates that the maxilla and mandible are in balance. An APDI of 75% or less indicates a Class II skeletal pattern, whereas a score of 90 degree or more indicates a Class III skeletal pattern.

Combination Factor (CF) is simply the ODI and APDI added together. This value gives an indication of the skeletal volume that is available to hold the dentition indicating the potential to treat with or without extractions. A CF of 151 degrees or below indicates that extraction of some teeth is probable. A low CF of 145 degrees indicates that the anterior teeth cannot be shifted back into insufficient vertical space. A CF of 155 degree and above indicates skeletal pattern that has the potential to accommodate all of the teeth. A CF of 165 degrees indicates good skeletal volume that will allow movement of the dentition.

CONTROL OF VERTICAL DIMENSION:

- i. Long face / Open bite: Unfortunately, vertical facial growth continues through adolescence and into the post adolescent year which means that even if growth can be modified successfully in the mixed dentition, active retention is likely to be necessary for a number of years. Several approaches to the long face pattern of growth in preadolescent children. They are :

High pull headgear to the molars: One approach to vertical excess problems is to maintain the vertical position of the maxilla and inhibit eruption of the maxillary posterior teeth. The appliance has to be worn for 14 hours a day with a force greater than 12 ounces per side. Lower molar eruption may contribute to the vertical facial change and outstrip changes made by controlling the upper molar with the headgear.

High pull headgear to a maxillary splint: This allows vertical force to be directed against all the maxillary teeth not just the molars and appears to have a substantial maxillary dental and skeletal effect with good vertical control. An appliance of this type would be most useful in a child with excessive vertical dimension of the entire maxillary arch and too much exposure of the maxillary incisors from beneath the lip.

Functional appliance with bite blocks: A more effective alternative is the use of a functional appliance that includes posterior bite blocks, with this appliance is to inhibit eruption of posterior teeth and vertical descent of the maxilla. The appliance can be designed with or without positioning the mandible anteriorly. This type of functional appliance is effective in controlling maxillary vertical skeletal and dental growth [22].

High pull headgear to a Functional Appliance with bite blocks: The most suitable approach to maxillary vertical excess and Class II is a combination of high pull headgear and a functional appliance with posterior bite blocks to anteriorly reposition the mandible and control eruption.

- ii. Short Face / Deep bite: the challenge in correcting these problems is to increase eruption of posterior teeth and influence the mandible to rotate downward without decreasing chin prominence too much. In these circumstances, it can be corrected taking advantage of cervical headgear with an extrusive tendency of extra oral force directed below the centre

of resistance of the teeth and the maxilla. This effect and eruption of the lower molar can be accomplished using a headgear and a biteplate to open the bite, a method used in the Florida prospective clinical trial [23].

CONCLUSION

Vertical Dysplasias to some extent are the result of growth that was programmed in that direction, but their expression is influenced by form-function interactions. The orthodontic clinician must make a careful differential diagnosis for each patient who seeks his or her care. The diagnosis must analyze all three components of malocclusion- facial, dental and skeletal. Each component must be carefully studied and understood so that the proper questions are asked and the correct diagnostic decisions are made to lead to an effective treatment plan.

REFERENCES:

- [1] Bjork A, Skieller V, "Facial Development and tooth eruption," Am J Orthod. 1972; 113:339-383.
- [2] Profitt WR, Prewitt JR, Baik HS, Lee CF, "Video microscope observations of human premolar eruption," J Dent Res. 1991; 70:15-18,
- [3] Lee CF, Profitt WR, "The daily rhythm of human premolar eruption," Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1995; 107:38-47.
- [4] Risinger RK, Profitt WR, "Continuous overnight observation of human premolar eruption," Arch Oral Biol. 1996; 41:779-789.
- [5] Sassouni V, Nanda S, "Analysis of dentofacial vertical proportions," Am J Orthod. 1964; 50:801-823.
- [6] Schudy FF, "Vertical growth versus anteroposterior growth as related to function and treatment," Angle Orthod. 1964; 34:75-93.
- [7] Opdebeeck H, Bell WH, "The short face syndrome," Am J Orthod. 1978; 73:499-511.
- [8] Hellman M, "Open bit," Int J Orthod. 1931; 17:421-44.
- [9] Johnson E, "The Frankfort-mandibular plane angle and the facial pattern," Am J Orthod. 1950; 36:516-33.
- [10] Trounton JC, Enlow DH, Phelps AE, "Morphologic factors in open bite and deep bite," Angle Orthod. 1983; 53:192-211.
- [11] Muller G, "Growth and development of the middle face," J Dent Res. 1963; 42:385-99.
- [12] Hapak FM, "Cephalometric appraisal of the open bite case," Angle orthod. 1964; 34:65-72.
- [13] Richardson A, "A cephalometric investigation of skeletal factors in anterior open bite and deep bite," Trans Eur Orthod Soc. 1967; 43:159-71.
- [14] Sassouni V, "A roentgenographic cephalometric analysis of cephalo-facio-dental relationships," Am J Orthod. 1955; 41:735-764.
- [15] Isaacson JR, Isaacson RJ, Speidel JH, "Waring RW, Extreme variation in vertical facial growth and associated variation in skeletal and dental relation," Angle Orthod. 1971; 41:219-29.
- [16] Mirzahi E, "A review of anterior open bite," Br J Orthod. 1978; 5:21-27.
- [17] Ricketts RM, "Respiratory obstruction syndrome," Am J Orthod. 1968; 54:495-514.
- [18] Quinn GW, "Airway interference and its effect upon the growth and development of the face, jaws, dentition and associated parts," North Carolina Dent J. 1978; 60:28-31.
- [19] Alexander C, "The effects of tooth position and maxillofacial vertical growth during scoliosis treatment with Milwaukee brace, An initial study," Am J Orthod. 1966; 52:161-189.
- [20] Wardlaw D, Smith R, Hertweck D, Hildebolt C, "Cephalometrics of anterior open bites: A receiver operating characteristics (ROC) analysis," Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1992; 101:234-243.
- [21] Han UK, Kim Y, "Determination of class II and Class III skeletal patterns: Receiver operating characteristics (ROC) analysis on various cephalometric measurements," Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1998; 113:538-545.
- [22] Weinbach JR, Smith RJ, "Cephalometric changes during treatment with the open bite bionator," Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1992; 101:367-374.
- [23] Keeling SD, Wheeler TT, King GJ, "Anteroposterior skeletal and dental changes after early Class II treatment with bionators and headgear," Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1998; 113:62-72.

L'usage de l'Internet au Maroc : Essai de mesure de la fracture numérique de second degré

[The use of the Internet in Morocco: Test for measuring the second digital divide]

Samira Oukarfi

Département Sciences Economiques,
Université Hassan II Mohammedia/ Faculté des Sciences Juridiques, Economiques et Sociales Aïn Sebaâ,
Casablanca, Maroc

Copyright © 2013 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This article proposes to prove economically the existence of a second level digital divide in Morocco. We have well designed and administered a questionnaire to approach 1030 persons living in the two largest cities of the Kingdom: Rabat and Casablanca. It seemed to us at the appropriate time to get down working in these big cities where normally there should not be any digital divide, at least the one of first degree, in order to detect inequalities in the use of the Internet. By the present field work we seek to determine far beyond Internet access, a kind of persons being behind the second degree digital divide. Our results lead us to say that the use of the Internet in the cities is influenced by socioeconomic position and the living conditions of individuals. The second degree digital divide is omnipresent. These results are enough to put into perspective the effectiveness of policies to ensure a wide coverage of the country by the ICT expected to create the added value and improve the living standards and social wellbeing of citizens.

KEYWORDS: Second Digital Divide, Internet, Social Inequality, Morocco.

RESUME: Cet article propose de justifier économiquement l'existence d'une fracture de deuxième degré au Maroc. Nous avons conçu et administré un questionnaire auprès de 1030 individus habitant les deux plus grandes villes du Royaume : Rabat et Casablanca. Il nous a paru opportun de travailler sur ces villes où normalement il ne doit pas y avoir de fracture numérique, du moins celle de premier degré, afin de pouvoir détecter les inégalités dans les usages de l'Internet. Nous cherchons ainsi à déterminer, au-delà de l'accès à Internet, un profil type d'individus à l'origine de la fracture numérique de second degré. Nos résultats nous amènent à dire que l'usage de l'Internet dans les grandes métropoles est influencé par le statut socioéconomique et les conditions de vie des individus. La fracture numérique de second degré est omniprésente. Ces résultats suffisent à relativiser l'efficacité des politiques visant à assurer une large couverture du pays par les TIC censées créer de la valeur ajoutée et améliorer le niveau de vie et le bien-être social des citoyens.

MOTS-CLEFS: Fracture, numérique, second degré, internet, Maroc.

1 INTRODUCTION

Le Maroc s'est engagé depuis octobre 2009 dans un chantier national prioritaire en vue de l'édification d'un nouveau Maroc capable de s'insérer dans l'ère numérique et dans l'économie du savoir. Il s'agit d'une véritable stratégie baptisée « Maroc numérique 2013 », sous la présidence effective de sa Majesté le Roi Mohammed VI.

Le secteur des Technologies de l'Information et de la Communication est ainsi élevé au rang de priorité nationale dont les objectifs assignés sont clairs : « *Pour le Maroc, l'enjeu majeur de sa transformation en société de l'information est de créer de la valeur ajoutée et d'améliorer le niveau de vie et le bien-être social de ses citoyens ... grâce notamment à :*

- *Une utilisation efficace et efficiente de l'information, principal facteur de production de la valeur ajoutée après le capital et le travail ;*
- *La réalisation d'importants gains de productivité en fournissant d'une part de nouvelles opportunités pour produire, traiter, enregistrer, stocker et partager l'information, et d'autre part un accès facilité à l'information »* (Maroc Numérique 2013).

Depuis le lancement de cette stratégie, le marché de l'Internet a connu un essor considérable au Maroc. Les chiffres publiés par l'Agence Nationale de Réglementation des Télécommunications (ANRT) justifient d'une réelle révolution numérique surtout depuis la démocratisation de l'Internet de troisième génération (3G). Le nombre d'abonnés à Internet a connu un taux de croissance considérable avoisinant les 70,44% en l'espace d'une année entre fin 2010 et fin 2011. Ce taux revient essentiellement à l'Internet 3G qui occupe le premier rang dans le parc global des abonnés (84,14%) suivi de loin de l'ADSL avec 18,53%.

Ces chiffres reviennent aux efforts considérables déployés par le royaume pour faire du Maroc un hub technologique régional. En deux ans seulement, le Royaume a gagné pas moins de dix places dans le classement mondial établi par l'Union Internationale des Télécommunications (UIT) relatif à l'évolution de la société de l'information dans le monde. L'UIT se base sur deux critères pour procéder à son classement : **l'Indice de développement des Technologies de l'information et de la communication (IDI)** qui comprend trois sous-indices : l'accès, l'usage et les compétences, et **le panier des prix TIC (IPB)**.

Entre 2008 et 2010, l'UIT a estimé **l'Indice de développement des Technologies de l'information et de la communication marocain** à 3.29 en 2010 contre 2.8 en 2008. Ce rebond marocain s'explique par une nette amélioration des sous-indices liés à l'accès et à l'usage des TIC qui sont respectivement de 62% et 27%. Le Maroc occupe désormais la 90ème place sur 152 pays, devançant l'Algérie (103ème), l'Afrique du Sud (97ème) et l'Egypte (91ème). Ce classement est, à priori, destiné à progresser en raison de plusieurs facteurs, entre autres, la mise en œuvre de la stratégie gouvernementale « Maroc numérique 2013 » et la baisse tendancielle des tarifs appliqués. A titre indicatif, les prix de l'ADSL ont enregistré une baisse de 40% en deux ans seulement.

Cette révolution numérique marocaine nous interpelle à double titre :

- Serait-elle généralisée dans le sens où l'adoption et l'usage de l'Internet seraient-ils accessibles pour tous les marocains sans ségrégations économique, sociale ou spatiale ?
- Ou au contraire, cacherait-elle une fracture numérique ?

Plusieurs travaux scientifiques ont répondu à ces questions en Europe ou aux États-Unis. Nous tenterons de lever l'ambiguïté sur ces interrogations à travers une étude empirique que nous avons menée auprès de 1030 individus résidants à Casablanca et à Rabat. Un modèle d'économétrie qualitative permettra d'estimer les déterminants de l'intensité de l'usage de l'Internet. Pour ce faire, nous effectuons une régression dans laquelle on tente d'estimer la probabilité de la fréquence de l'usage de l'Internet selon les caractéristiques propres des individus. Sans prétendre à l'exhaustivité, nous cherchons par là à déterminer un profil type d'internautes « réguliers », « occasionnels » ou « exceptionnels ». Le cadre théorique retenu est celui de l'économie de l'Internet.

Dans un premier point nous exposons une brève revue de la littérature servant d'appui au test sur l'adoption et l'usage des TIC en Europe et aux États-Unis. Nous présentons l'enquête et les principaux résultats à plat dans le deuxième point. La troisième partie est consacrée à la présentation du modèle économétrique retenu, à savoir le modèle Probit ordonné. Nous exposons ensuite les variables explicatives du modèle. Les hypothèses à tester économétriquement sont ensuite formulées. Les résultats d'estimation sont présentés et commentés dans le dernier point.

2 REVUE DE LA LITTÉRATURE THEORIQUE ET EMPIRIQUE SUR LES FRACTURES NUMERIQUES

2.1 FRACTURE NUMÉRIQUE

La notion de fracture ou fossé numérique 'the digital divide' a connu plusieurs développements dans des disciplines diverses et variées. Sa définition reste floue et son champ d'application devient de plus en plus large [50]. Initialement, cette notion désignait l'écart existant entre les 'info-riches' (*information have*) et les 'info-pauvres' (*information have-nots*) en termes d'accessibilité à l'information via les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC). Cette perspective techniciste, qualifiant la fracture de « premier degré¹ », place l'équipement technologique au centre de l'analyse et présuppose l'accès aux TIC comme une condition nécessaire à la richesse quel que soit le milieu économique, institutionnel et culturel où elles se diffusent [34]. La fracture numérique se limitait ainsi à ses débuts aux inégalités d'accès aux TIC, entendues au sens large, dans les pays de l'OCDE. Les conséquences avérées de ces inégalités sur le développement socio-économique des pays ont étendu le débat au niveau mondial, incluant ainsi un paramètre nouveau aux inégalités internationales.

La définition de la fracture numérique a évolué au fil du temps. Désormais, elle ne se limite pas à une quelconque forme d'exclusion technique aux infrastructures TIC mais à l'usage qui en est fait. L'idée est que l'accès aux TIC, et plus spécifiquement à Internet, n'implique pas systématiquement son usage et son « bon » usage générant ainsi une maximisation de l'utilité associée. La logique de cette approche réside dans le fait que la réduction des inégalités numériques ne se limitent pas à l'augmentation du nombre de connectés. Valenduc et Brotcorn [9] avancent que « *le simple décompte des connexions et du nombre d'utilisateurs ne nous apprend que peu de choses sur la manière dont ces outils créent des inégalités* ». Baker [4] propose une définition de la fracture numérique sous deux aspects différents selon que l'on se situe du côté de l'offre ou de la demande. Selon lui, "*the digital divide can be conceptualized from a user standpoint as a suboptimal condition of:*

- *access to technologies (the initial conceptualization of the digital divide), oriented to hardware, networking and access to advanced IT/Telecom services;*
- *content available, that is, what services and information can be accessed; and,*
- *Utility/awareness which relates to the actual value as well as the perceived value or awareness of the user/citizen/business of the use of ICTs and associated services ».*

Dans le même ordre d'idée, l'OCDE [32] définit la fracture numérique comme « *l'écart qui existe entre les personnes, les ménages, les entreprises et les régions géographiques à divers niveaux socioéconomiques pour ce qui est de leur possibilité d'avoir accès aux TIC et de leur utilisation d'Internet* ». Cette définition introduit une fracture liée aux usages dans la fracture de « l'accès ». Elle est qualifiée de fracture « de second ordre² » ([13], [17], [18], [23], [37], [44], [48], etc.) en catégorisant les utilisateurs en fonction de leurs compétences numériques. C'est KLING [23] qui propose en 1998 cette double acception de la fracture numérique en distinguant entre (i) the '*technical access*' : l'accès aux infrastructures télécoms et informatiques et (ii) '*the social access*' qui renvoie à une dimension intellectuelle et sociale nécessaire pour une exploitation efficace des TIC. Dans ce même registre, certains auteurs distinguent entre trois niveaux de compétences numériques permettant d'utiliser efficacement les TIC ([9], [10], [44], [45], [46]) : « les compétences instrumentales », « informationnelles » et « stratégiques »³.

La mesure de la fracture numérique a suscité un foisonnement de travaux théoriques et empiriques depuis le développement de ce concept. Plusieurs indicateurs sont proposés dans la littérature ([1], [17], [18], [24], [29], [30], etc.) et par plusieurs organisations internationales telles que l'OCDE, l'UIT, l'ONU, etc. Idem pour les facteurs déterminant la fracture numérique. Des enquêtes ont été administrées en Europe, aux Etats-Unis et même en Afrique sub-saharienne auprès des

¹ First order digital divide.

² Second order digital divide.

³ BROTCORNE et al. [9] les définissent comme suit : les compétences instrumentales font référence à un savoir-faire technique de base nécessaire à la manipulation de l'ordinateur et des logiciels ; Les compétences informationnelles ou structurelles font référence à l'aptitude d'un individu à chercher, sélectionner, comprendre, évaluer et traiter les informations recueillies sur le Web ; Les compétences stratégiques concernent l'aptitude d'un individu à utiliser l'information de manière proactive, à lui donner du sens dans son propre cadre de vie et à prendre des décisions en vue d'agir sur son environnement personnel et professionnel.

ménages afin de comprendre et corriger les facteurs à l'origine du fossé numérique. Ces études sont unanimes sur le fait que la fracture numérique est expliquée par des facteurs socioéconomiques notamment par le niveau du revenu, le niveau d'études, l'âge, la catégorie socioprofessionnelle, le nombre d'enfants et le lieu de résidence. Dans la section suivante, nous présentons un survey non exhaustif des études menées sur le sujet.

2.2 LES DETERMINANTS EMPIRIQUES DE L'ADOPTION ET DE L'USAGE DE L'INTERNET

Nous présentons dans cette section les résultats d'études empiriques menées en Europe, aux Etats-Unis et en Afrique sur les facteurs expliquant la demande et l'usage d'Internet par les ménages et les individus. Nous constatons beaucoup de convergences quant à leurs résultats. En effet, tous les travaux s'accordent sur l'impact des variables socioéconomiques sur l'accès et l'usage de l'Internet, notamment la catégorie socioprofessionnelle, l'âge, les niveaux d'études, le revenu et la localisation.

LE GUEL *et al.* [24] ont présenté les résultats de modèles économétriques des choix d'adoption d'Internet et d'achat en ligne des ménages bretons sur la base d'une enquête menée en 2002 auprès d'un échantillon représentatif de 2000 individus. Les résultats économétriques d'un modèle Probit expliquant l'adoption de l'Internet font ressortir l'existence d'une fracture numérique de premier degré tenant à des facteurs socioéconomiques et géographiques. Plus précisément, les variables âge, niveau d'études, catégorie socioprofessionnelle et style de vie⁴ influencent fortement la probabilité d'avoir une connexion Internet à domicile. Ainsi, la tranche d'âge des moins de 20 ans joue positivement sur la probabilité d'adopter Internet. De même, le fait d'appartenir à la catégorie professionnelle des cadres et professions intermédiaires supérieures influence positivement la probabilité d'adopter Internet à domicile. Quant au niveau d'études, le modèle démontre que la probabilité d'adopter Internet est d'autant plus forte que le niveau d'études d'un membre du ménage est élevé. Par ailleurs, les estimations ressortent les variables qui influencent négativement le choix d'avoir une connexion à domicile, à savoir les ménages de plus de 65 ans, ou dont le niveau d'études est inférieur au bac. En ce qui concerne l'impact de la localisation géographique du ménage, les auteurs mettent en évidence que le fait d'habiter dans une zone urbaine influe positivement sur la probabilité de s'abonner à Internet.

Une autre étude effectuée au Luxembourg par Lethiais *et al.* [25] sur l'adoption et l'usage de l'Internet par les ménages luxembourgeois fait ressortir plusieurs similitudes avec l'étude bretonne dans la mesure où elle met en évidence l'existence d'une fracture numérique expliquée par les caractéristiques socioéconomiques des individus. En effet, Les estimations économétriques avancent que l'adoption et l'usage d'Internet au Luxembourg est différent selon les tranches d'âge, les catégories socioprofessionnelles, les niveaux de revenu et d'études au même titre qu'en Bretagne. La plupart des facteurs ayant un effet positif sur la probabilité d'avoir Internet à la maison, comparativement au fait de ne pas avoir de connexion Internet à domicile, ont un effet sur ce rapport de probabilité au Grand-duché.

Des études plus récentes sur le sujet ont été menées en Afrique. Diagne *et al.* [12] ont essayé de modéliser les déterminants de l'adoption de l'Internet dans 17 pays d'Afrique sub-saharienne sur la base d'enquêtes ménages et individus. Il ressort que plus les niveaux de revenu et d'éducation des individus sont élevés, plus la probabilité d'être connectés et « digitalement riche » est élevée. De même, Un individu appartenant à un ménage de grande taille voit sa chance d'être riche digitalement élevée. En revanche, les auteurs ont pu constater plusieurs facteurs freins, en l'occurrence la résidence en monde rural ou en zone périurbaine, le niveau d'éducation primaire, le manque d'activité ou une activité à temps partiel, le fait d'être femme et la vieillesse renforcent la pauvreté et l'exclusion numériques.

Au Maroc, il n'existe pas d'études scientifiques sur l'adoption et l'usage des TIC et sur l'ampleur de la fracture numérique. Des résultats descriptifs sont donnés tous les ans par l'Agence Nationale de Réglementation des Télécommunications (l'ANRT). La dernière étude de 2011 a été effectuée sur la base d'une enquête menée auprès de 1240 ménages marocains répartis sur tout le territoire national.

Notre étude est originale à plus d'un titre. D'une part, elle s'intéresse à modéliser économétriquement l'intensité de l'usage de l'Internet en vue de déterminer un profil type d'individus subissant la fracture numérique, d'autre part, nous avons conçu et administré un questionnaire auprès de 1030 individus habitants les deux plus grandes villes du Royaume :

⁴ Les auteurs cherchent à connaître l'influence de variables comme la possession de lecteur DVD, de téléphone portable sur la probabilité d'adopter Internet à domicile. Les résultats du modèle montre qu'il existe complémentarités assez fortes entre l'adoption d'Internet et la possession de nombreux équipements de haute technologie comme un appareil photo numérique, un lecteur DVD, un téléphone portable ou un ordinateur de poche.

Rabat et Casablanca. Le choix de ces grandes métropoles se justifie par l'important taux de pénétration des TIC chez les ménages. Il nous a paru opportun de travailler sur ces villes où normalement il ne doit pas y avoir de fracture numérique, du moins celle de premier degré, afin de pouvoir détecter les inégalités dans les usages de l'Internet. Nous cherchons par là à déterminer, au-delà de l'accès à Internet, un profil d'individus à l'origine de la fracture numérique de second degré.

3 LES DONNEES DE L'ENQUETE : METHODOLOGIE ET RÉSULTATS A PLAT

Notre étude se distingue par l'examen des décisions d'adoption et d'usage de l'Internet. Nous avons procédé par questionnaire direct auprès de 1030 individus localisés dans le grand Casablanca et à Rabat afin d'avoir une large gamme de comportement. Le choix de ces villes se justifie par l'importance de leur population et par l'important taux de pénétration des TIC dans les ménages ; Casablanca et Rabat étant respectivement les capitales économique et administrative et du Maroc. Les matériaux recueillis sont des réponses subjectives prenant la forme d'informations qualitatives. Nous avons commencé par répertorier une population mère suffisamment représentative. La période de l'enquête s'est déroulée entre novembre 2011 et mai 2012. Il est important de préciser que la structure même du questionnaire nous a permis de vérifier la qualité et la cohérence des réponses recueillies. En effet, les questions qui sont au cœur de notre problématique ont été posées à plusieurs reprises dans le questionnaire et selon des formulations différentes.

Précisons que l'élaboration du questionnaire s'est basée sur une large revue de la littérature théorique et empirique. Il présente trois blocs d'informations de nature qualitative : Accès et Usage de l'Internet ; E-Achat et les variables socioéconomiques des répondants.

Les premiers résultats à plat font ressortir que 90 % des répondants déclarent avoir accès à Internet soit à leur domicile soit à leur lieu de travail. Ce taux doit être relativisé et pris avec beaucoup de précaution car la démocratisation de l'Internet 3G assure normalement un accès Internet à toute personne possédant un téléphone portable. Intuitivement, on pourra dire que la large diffusion de l'Internet a permis de résorber la fracture numérique de premier degré. En revanche, l'accès à Internet n'engage pas automatiquement son usage effectif et encore moins son usage efficace. WARSCHAUER [48] affirme que la question clé devient alors non plus l'accès inégal aux ordinateurs mais bien les manières inégales dont les ordinateurs sont utilisés. Le tri à plat des résultats de notre enquête montre que, parmi les connectés à Internet, 80% sont des internautes assidus se connectant tous les jours contre 20% dont la fréquence de connexion est « moyenne » ou « rare ».

Le graphique 1 ci-dessous retrace les proportions des différents usages que font les individus de l'Internet. Nous avons classé ces usages en 6 grandes catégories : la communication interpersonnelle ; la recherche d'information ; les usages en relation avec l'activité professionnelle ; le commerce électronique ; le Webmastering ; les divertissements ; Les usages administratifs. Nous constatons, sans grande surprise, que les principaux usages concernent les activités de communication interpersonnelles à savoir le mailing (79%) et les réseaux sociaux (78%) et la recherche d'information (77%). Par contre, 10% seulement des internautes déclarent avoir un site personnel ou un blog en ligne. De même, très peu d'internautes déclarent faire des démarches administratives en ligne (16%) ou consultent des produits ou services sur des sites marchands (18%). Le E-achat n'est pas encore entré dans la culture locale. En effet, 29% seulement des répondants attestent avoir déjà effectué des achats de produits ou services sur Internet.

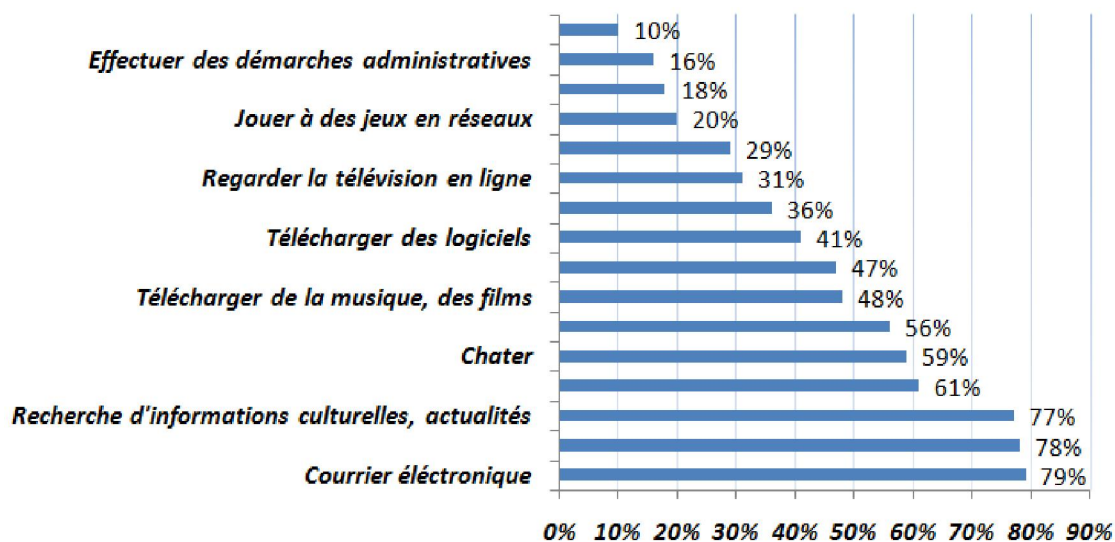


Fig. 1. L'usage de l'internet par les internautes marocains

Par ailleurs, le graphique 2 ci-dessous illustrent les principaux facteurs freins à l'utilisation d'Internet tels qu'ils sont perçus par les marocains. Nos statistiques montrent que 72 % des individus interrogés déclarent que le principal frein de l'usage de l'internet tient aux risques liés à l'utilisation et à la protection des données personnelles. Le non usage de l'internet par les individus résulte principalement du manque de confiance et du sentiment d'insécurité numérique liés au piratage des données ou à la sécurité des paiements.

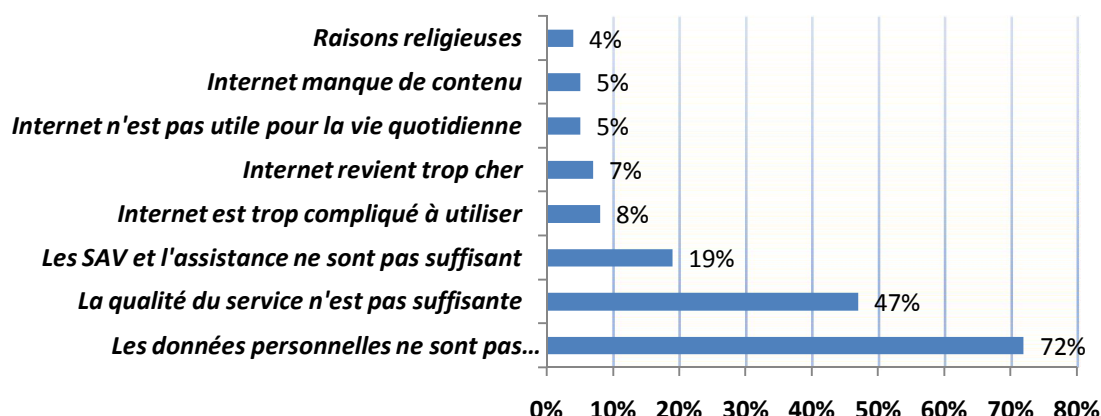


Fig. 2. Les principaux freins de l'adoption et de l'usage d'internet

4 PRESENTATION DU MODELE ÉCONOMÉTRIQUE, DES VARIABLES EXPLICATIVES ET DES HYPOTHESES A TESTER

4.1 SPECIFICATION DU MODELE PROBIT ORDONNE

Les données que nous avons collectées de notre enquête sont de nature qualitative. Notre variable dépendante « fréquence de connexion à Internet » prend trois modalités ordonnées :

- 1 : si l'individu se connecte à Internet tous les jours ;
- 2 : si l'individu se connecte une à deux fois par semaine ;
- 3 : si l'individu se connecte plus rarement.

Une modélisation d'économétrie qualitative s'impose, plus précisément, les modèles à variable qualitative multinomiale. Nous avons opté pour un modèle Probit ordonné car notre variable endogène est qualitative prenant plusieurs modalités pour lesquelles il y a un ordre naturel. Ces modèles multinomiaux ordonnés sont utilisés lorsque les valeurs prises par la variable multinomiale correspondent à des intervalles dans lesquels va se trouver une seule variable latente inobservable continue.

Notre modèle multinomial ordonné va s'écrire sous la forme suivante :

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{si } y_i^* < c_1 \\ 2 & \text{si } c_1 < y_i^* < c_2 \\ 3 & \text{si } y_i^* > c_3 \end{cases} \quad \forall i = 1, 2, 3 \quad (1)$$

Où c_j sont des bornes inconnues à estimer définissant la frontière des intervalles.

La variable latente y_i^* est définie par $y_i^* = x_i \beta + \varepsilon_i$, $\forall i = 1, \dots, N$ où $x_i = (x_i^1, \dots, x_i^k)$ désigne un vecteur de K variables exogènes observables et $\beta' = (\beta_1, \dots, \beta_k)' \in R^K$ désigne un vecteur de K paramètres inconnus à estimer. Les perturbations ε_i représentent les facteurs pouvant influencer la fréquence de l'usage de l'Internet mais non captés par le

modèle. Ces perturbations sont supposées être identiquement et indépendamment distribuées : $\varepsilon_i \text{ i.i.d.}(0, \sigma_\varepsilon^2)$ où ε_i suit une loi de fonction de répartition $F(\cdot)$.

Pour notre modèle Probit ordonné, la fonction de répartition $F(\cdot)$ correspond à la loi normale centrée réduite. Etant donné la spécification retenue plus haut (1), la probabilité associée à l'évènement $y_i = j, \forall j = 1, 2, 3$ est définie par :

$$Prob(y_i = j) = F\left(\frac{c_{j+1}}{\sigma_\varepsilon} - \frac{x_i \beta}{\sigma_\varepsilon}\right) - F\left(\frac{c_j}{\sigma_\varepsilon} - \frac{x_i \beta}{\sigma_\varepsilon}\right)$$

L'estimation des composantes du vecteur des paramètres β' s'effectue par la méthode du maximum de vraisemblance. La fonction de vraisemblance $L(\cdot)$ s'écrit :

$$L(y, \beta, c_1, c_2, c_3, \sigma_\varepsilon) = \prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^3 Prob(y_i = j)^{y_{ij}}$$

$$L(y, \beta, c_1, c_2, c_3, \sigma_\varepsilon) = \prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^3 \left[F\left(\frac{c_{j+1}}{\sigma_\varepsilon} - \frac{x_i \beta}{\sigma_\varepsilon}\right) - F\left(\frac{c_j}{\sigma_\varepsilon} - \frac{x_i \beta}{\sigma_\varepsilon}\right) \right]^{y_{ij}}$$

4.2 LES VARIABLES EXPLICATIVES CARACTÉRISANT LES INDIVIDUS

Nous formulons une hypothèse de travail, dans la continuité de nos prédécesseurs, que l'adoption et l'usage de l'Internet dépendent des conditions socioéconomiques des individus. Nous optons pour une modélisation économétrique sur la base des variables qualitatives recueillies suite à notre enquête. La variable dépendante est l'usage que font les individus de l'Internet. Les variables explicatives sont les variables ayant trait aux caractéristiques socioéconomiques des répondants. Nous présentons ci-dessous les effets attendus de ces variables explicatives intervenant dans le modèle.

La littérature s'accorde sur le fait que les variables socioéconomiques jouent un impact important sur l'accès et l'usage de l'Internet. Plusieurs travaux empiriques réalisés aux Etats-Unis, en Europe et même en Afrique s'accordent sur le fait que l'accès et l'usage des TIC et spécifiquement à Internet est corrélé aux facteurs socioéconomiques des ménages, en l'occurrence le revenu, la catégorie socioprofessionnelle, le niveau d'études, l'âge, la composition du ménage, le genre, le lieu de résidence, etc. ([5], [12], [24], [25], [32], [38], [39], etc).

Le revenu est un déterminant essentiel de l'accès et de l'usage de l'Internet. Plus le revenu est élevé, plus la probabilité d'accès et d'usage Internet est forte. Pour notre part, nous avons exclu la variable revenu car nous avons enregistré un taux de non réponse très important. Nous substituons cette variable par **la catégorie socioprofessionnelle (CSP)** car nous considérons que le niveau de revenu est fortement corrélé à la CSP. Nous pouvons escompter que le fait d'exercer des professions intellectuelles ou intermédiaires exigeant certaines habiletés et compétences cognitives pourrait avoir un impact positif sur la fréquence de l'usage d'Internet. En revanche, les professions à caractère manuel devraient normalement exercer un impact positif sur la probabilité d'un usage moyen ou rare d'Internet.

De même, **le niveau d'études** devrait influencer positivement la probabilité d'avoir un usage fréquent d'Internet. Beaucoup d'études ont associé un haut niveau d'instruction à un taux plus élevé d'utilisation de l'Internet ([14], [39], [49]). En effet, il est probable que les plus diplômés, qui ont exploité durant leur scolarité les avantages offerts par cette technologies, soient plus portés sur les TIC que les moins diplômés.

Par ailleurs, **le nombre d'enfants** devrait exercer un effet positif sur la probabilité d'un usage régulier d'Internet. Des études empiriques ont révélé que les ménages ayant des enfants disposent de plus d'équipement en TIC que les ménages qui sont composés uniquement d'adultes ; des écarts analogues existent aussi sur les niveaux d'accès à l'Internet ([7], [12], [24], [25], etc.). Dans le même ordre d'idée, SINGH [39] a établi que la présence d'enfants âgés de moins de 18 ans dans le ménage augmente la probabilité qu'un ménage accède à Internet.

En revanche, **l'âge** devrait exercer une influence négative. Nous pouvons proposer que les anciennes générations caractérisées par un taux d'analphabétisme important ne sachent pas manipuler l'outil informatique et/ou ne soient pas sensibilisés aux atouts que peuvent présenter les TIC dans l'organisation de leur vie quotidienne. L'utilisation de l'internet

suppose, en effet, au préalable un niveau minimum d'instruction et un savoir faire minimum de manipulation de l'outil informatique nécessaire pour tout accès à l'internet.

La variable **sexe** présente un effet ambigu. Des études sur données africaines ont révélé que le fait d'être femme renforce l'exclusion et l'extrême pauvreté numériques ([12]). L'OCDE avait constaté qu'un nombre proportionnellement plus élevé d'hommes que de femmes utilisent Internet dans la plupart des pays. Nous pouvons ainsi supposer qu'être femme pourrait avoir un impact négatif sur la probabilité d'un usage régulier d'Internet. Or, de nouvelles statistiques révèlent que ces inégalités d'usage d'Internet selon le genre tendent à s'atténuer dans le temps ([20]).

La localisation géographique est une variable importante dans notre modèle. Des travaux empiriques ont démontré que la localisation des ménages est déterminante dans l'adoption et l'usage de l'Internet ([5], [12], [16], [24], [30], [49]). Montagnier et al. [30] ont avancé que la densité en équipement et en connexion Internet est plus élevée en milieu urbain qu'en zone rurale. De même, DIAGNE et al. [12] ont justifié du fait que la résidence en milieu périurbain et zone rurale renforce l'exclusion et l'extrême pauvreté numériques ; autrement dit le fait de résider dans ces zones augmente la probabilité de non accès et de non utilisation des TIC. SINGH [29] a constaté que les ménages situés à l'extérieur des 15 plus grandes Régions Métropolitaines de Recensement (RMR) du Canada étaient moins susceptibles d'utiliser Internet. De même, McKEOWN et al. [27] ont révélé sur données canadiennes que l'emplacement est le deuxième facteur par ordre d'importance qui influe sur l'utilisation de l'Internet. Ils ont découvert que la probabilité que les citoyens utilisent Internet était 1,48 fois plus forte que les habitants des petites villes et des régions rurales. Pour notre part, comme nous avons choisi de concentrer notre étude sur les deux plus grandes villes du royaume, à savoir Casablanca et Rabat, la variable localisation distinguera entre les ménages résidants dans des quartiers « populaires », « moyens » ou « riches ». Notre hypothèse sera alors la suivante : l'usage de l'Internet dépendra du quartier d'habitation des ménages. Ainsi, nous pouvons escompter que l'intensité de l'usage d'Internet devrait être plus grande lorsque l'individu réside dans les quartiers riches.

5 RESULTATS DU MODÈLE

Le tableau ci-dessous présente les résultats du modèle Probit ordonné estimé. Rappelons que la variable endogène « fréquence de l'usage de l'Internet » est une variable qualitative prenant trois modalités ordonnées : 1. Utilisation intensive d'Internet (1 à 2 fois par jour) ; 2. Utilisation peu fréquente d'Internet (1 à 2 fois par semaine) ; 3. Utilisation rare d'Internet (moins d'une fois par semaine). Il n'existe pas de forte corrélation entre les variables exogènes du modèle pouvant fausser les résultats et amener à trouver non significatives des variables trop proches.

En gros, les résultats du modèle sont conformes à la littérature et aux prédictions que l'on avait formulées. Nous constatons que la probabilité d'un usage intensif de l'Internet augmente avec **la possession d'une connexion Internet à domicile ou au travail**. Dit autrement, avoir une connexion Internet à la maison ou au travail augmente significativement la probabilité d'un usage intensif d'Internet. En revanche, l'accès à Internet diminue significativement la probabilité d'un usage peu fréquent ou rare de cette technologie. Dès lors, l'accès à Internet favorise l'intensité de son usage. Nous pouvons expliquer ce résultat par les effets d'apprentissage et d'expérience. En effet, avoir un accès à Internet peut permettre aux individus d'acquérir une dextérité qui les amènera à en multiplier les usages. Moe et Fader [28] ont constaté, lors d'une étude sur le E-achat que ce sont les internautes les plus expérimentés qui sont amenés à pratiquer des achats en ligne.

La catégorie socioprofessionnelle a impact très significatif sur l'intensité de l'usage de l'Internet. Nous constatons que cette probabilité est d'autant plus forte chez les étudiants, les employés cadres, les professions libérales et chef d'entreprises, les employés non cadres et les retraités par rapport aux ouvriers ou aux sans profession. De même, le fait d'appartenir à ces catégories socioprofessionnelles réduit la probabilité d'un usage peu fréquent ou rare d'Internet.

Le niveau d'études influence positivement et significativement la probabilité d'un usage quotidien d'Internet. En effet, le modèle révèle que plus le niveau d'études est important (de Bac+3 et plus), plus cette probabilité est forte. Ainsi, un plus haut niveau d'études se traduit par un taux d'usage plus important. De même, un niveau d'études supérieur à bac + 2 diminue la probabilité d'un usage faible ou rare d'Internet. Cela laisse entendre qu'un niveau d'instruction important permet d'avoir un bagage théorique ou technique favorisant l'usage intensif d'internet. De même, un niveau d'instruction faible ne permet pas d'avoir les connaissances et compétences cognitives nécessaires pour un usage régulier de l'Internet ([10]).

Par ailleurs, **la localisation géographique** de l'individu est un paramètre important. Le modèle révèle que la fracture numérique de second degré est intimement liée à la fracture géographique. En effet, la propension à utiliser fréquemment Internet est d'autant plus forte que la personne habite dans un quartier riche par rapport aux habitants des quartiers pauvres. Par contre, le fait d'habiter dans un quartier riche diminue la probabilité d'un usage peu fréquent ou rare d'Internet. Un individu est donc, ceteris paribus, moins amené à avoir un usage intensif et régulier d'Internet lorsqu'il habite dans les quartiers populaires. Ce résultat peut être lié à une offre moins importante en termes d'infrastructure de réseaux dans ces

quartiers. Il est en effet possible de supposer que l'habitat dans les quartiers périphériques renvoie à un moindre équipement puisque c'est dans ces zones que l'équipement en infrastructure est le plus coûteux.

Nous pouvons également commenter ce résultat sous l'angle de la demande par un besoin en TIC moins important étant donné les conditions de vie et matérielles de cette frange de la population. A cet égard, SELWYN [35] considère que l'usage des TIC dépend de l'intérêt ou de l'utilité à utiliser les TIC pour en tirer un certain bénéfice.

L'âge du répondant influence négativement et significativement la probabilité d'un usage fréquent d'Internet. Ceci est d'autant plus prononcé chez les personnes ayant 40 ans et plus en comparaison avec les plus jeunes. En revanche, cette tranche d'âge semble affecter positivement la probabilité d'un usage faible ou rare d'Internet. Ce résultat rejoint bon nombre d'études empiriques qui se sont penchées sur l'adoption de l'Internet à domicile. Le Guel et al. [24] ont constaté en effet que l'âge du chef de ménage joue négativement sur la probabilité d'adopter une connexion Internet à domicile. Les populations jeunes sont plus utilisatrices d'Internet que les populations plus âgées. Cet effet d'âge peut s'expliquer par un effet générationnel : les générations les plus jeunes ont acquis la maîtrise de l'usage d'Internet. BONFADELLI [8] explique dans ce sens que l'accès à Internet suppose un minimum de connaissances que les jeunes ont acquises plus facilement.

Même constat pour **le nombre d'enfants à charge**. Les individus ayant 3 enfants et plus ont moins de chance d'utiliser Internet au quotidien. Ainsi, plus les enfants sont présents dans le ménage, plus les individus réduisent la fréquence de l'usage d'Internet. Ceci est d'autant plus prononcé chez les ménages ayant 5 enfants et plus. Cette relation négative entre l'intensité de l'usage d'Internet et le nombre d'enfants peut être due à deux explications différentes : d'une part, une famille de taille importante implique naturellement plus de relations interpersonnelles entre les membres du ménage et donc moins de temps passé sur Internet, du moins pour les connexions à domicile ; d'autre part, la présence de plusieurs enfants dans un ménage entraîne une augmentation du nombre d'utilisateurs potentiels d'Internet et, en conséquence, une réduction du temps passé sur Internet. De plus, ce sont les enfants qui ont un usage intensif d'Internet notamment pour des usages de réseaux sociaux ou de peer-to-peer.

La situation matrimoniale et le genre du répondant n'ont pas présenté d'effet significatif. Ce résultat nous semble important car nous pouvons en conclure l'inexistence d'une fracture numérique entre les hommes et les femmes. Ce résultat révèle que les femmes ne se distinguent pas significativement des hommes quant à la fréquence de l'usage de l'Internet. Le même résultat a été avancé par plusieurs travaux, en l'occurrence par les enquêtes réalisées par LE GUEL et al. [24] sur données françaises et LETHIAIS et al. [25] sur données luxembourgeoises. En revanche, une étude de grande envergure menée en Afrique Sub-saharienne par DIAGNE et al. [12] met en évidence l'existence d'une fracture entre les hommes et les femmes.

En somme, nous pouvons ainsi avancer que ce sont les personnes les plus diplômées, exerçant une activité intellectuelle et habitant dans les quartiers riches qui présentent une forte probabilité d'un usage intensif d'Internet. Nos estimations mettent ainsi en évidence l'existence d'une fracture numérique de second degré liée aux usages dans notre pays si l'on tient compte du fait que la fracture de premier degré semble atténuer par la démocratisation de l'Internet troisième génération. Cette fracture numérique semble liée à des facteurs socioéconomiques, intellectuels et géographiques. Ce résultat n'est pas très réjouissant car malgré tous les efforts consentis, nous constatons que la diffusion d'Internet à un plus grand nombre d'individus ne se traduit pas nécessairement par une réduction de la fracture numérique et des inégalités entre les individus. La lutte contre la fracture numérique de premier degré est certes une condition sine qua non mais insuffisante pour réduire les inégalités issues de la diffusion des TIC dans la société. DIJK [44] estime que la fracture numérique de second degré est justement due à un problème plus complexe que l'accès à savoir la répartition inégale des compétences dans la société. Il considère que les facteurs intervenant dans l'appropriation des technologies numériques sont les ressources en temps, les ressources sociales et les ressources culturelles qui sont distribuées de manière inégale dans la population. Dès lors, le fait de se retrouver en marge des circuits sociaux, tant éducatifs que professionnels, se révèle être un facteur d'exclusion numérique considérable.

Tableau 1. Résultats du modèle économétrique

Variable dépendante: Fréquence de la connexion à Internet			
Variables explicatives	Tous les jours	1 à 2 fois/semaine	Rarement
Avoir une connexion Internet à domicile ou au travail	.512*** (.0665)	-.196*** (.020)	-.315*** (.066)
CSP			
Etudiant	.264*** (.038)	-.177*** (.026)	-.086*** (.016)
Employé Cadre	.227*** (.027)	-.160*** (.020)	-.067*** (.011)
Employé Non cadre	.176*** (.024)	-.127*** (.019)	-.048*** (.008)
Ouvrier	n.s.	n.s.	n.s.
Profession libérale/ Chef d'entreprise	.213*** (.027)	-.150*** (.021)	-.062*** (.0107)
Retraité	.114*** (.045)	-.082*** (.035)	-.031*** (.010)
Sans Profession	Réf.	Réf.	Réf.
Niveau d'études			
Collège	n.s.	n.s.	n.s.
Bac	.136*** (.057)	-.099*** (.045)	-.036*** (.012)
Bac + 1 et 2	n.s.	n.s.	n.s.
Bac+3 et 4	.185* (.115)	-.123* (.075)	n.s.
Bac+5 et plus	.212*** (.080)	-.146*** (.055)	-.064*** (.026)
Analphabète	Réf.	Réf.	Réf.
Quartier d'habitation			
Riche	.077*** (.030)	-.053*** (.021)	-.024*** (.009)
Moyen	n.s.	n.s.	n.s.
Pauvre	Réf.	Réf.	Réf.
Age			
25 – 40 ans	n.s.	n.s.	n.s.
40 – 60 ans	-.182*** (.075)	.107*** (.039)	.075** (.037)
60 ans et plus	-.370*** (.159)	.172*** (.040)	.197* (.122)
18 – 25 ans	Réf.	Réf.	Réf.
Nombre d'enfants			
1 et 2 enfants	n.s.	n.s.	n.s.
3 et 4 enfants	-.096*** (.047)	.062*** (.029)	.034** (.018)
5 enfants en plus	-.263*** (.084)	.141*** (.035)	.122*** (.051)
Sans enfants	Réf.	Réf.	Réf.
Situation familiale			
Marié	n.s.	n.s.	n.s.
Veuf ou divorcé	n.s.	n.s.	n.s.
Célibataire	Réf.	Réf.	Réf.
Sexe			
Femme	n.s.	n.s.	n.s.
Homme	Réf.	Réf.	Réf.

n.s. : non significatif

Réf. : catégorie de référence

***: Significatif au seuil de 1%

**: significatif au seuil de 5%

*: significatif au seuil de 10%

6 CONCLUSION

Nous avons essayé dans ce papier de justifier l'existence dans notre pays d'une fracture numérique de deuxième degré. Nous avons choisi de questionner les individus vivant dans les grandes métropoles marocaines où beaucoup d'efforts ont été consentis pour résorber la fracture numérique de premier degré en termes d'accessibilité à Internet. Nous avons pu récolter 1030 réponses subjectives à un questionnaire sur les comportements individuels d'adoption et d'usage de l'Internet.

L'estimation d'un modèle multinomial Probit ordonné expliquant la fréquence de l'usage d'Internet par une série de variables explicatives portant sur les facteurs socioéconomiques des individus a permis de dégager des résultats intéressants. Nous avons, en effet, constaté que la probabilité d'un usage intensif d'Internet est positive pour les tranches d'âges jeunes, parmi les diplômés de l'enseignement supérieur exerçant des activités intellectuelles ou intermédiaires et habitant dans les quartiers riches. Elle est significativement inférieure chez les personnes âgées de 40 ans et plus, ayant un niveau d'instruction faible, chez les travailleurs manuels ou les chômeurs appartenant à des familles nombreuses, et résidants dans les quartiers pauvres ou moyens.

Nos résultats nous amènent à dire que l'usage de l'Internet dans les grandes métropoles est influencé par le statut socioéconomique et les conditions de vie des individus. La fracture numérique de second degré est omniprésente. Ces résultats suffisent à relativiser l'efficacité des politiques visant à assurer une large couverture du pays par les TIC censées favoriser « l'émergence de la société du savoir et contribuer activement au développement humain, à l'amélioration de la cohésion sociale et à la croissance de l'économie nationale » (Maroc numérique 2013). En d'autres termes, si nous partons du postulat selon lequel les technologies de l'information constituent un enjeu majeur pour le Maroc en vue de créer de la valeur ajoutée et d'améliorer le niveau de vie et le bien-être social et le développement personnel des citoyens, nos résultats mettent en exergue que ces stratégies ne permettent pas d'amorcer cette dynamique de construction et de transformation du Maroc en société de l'information.

De nombreuses études montrent qu'en sus des variables socioéconomiques, d'autres facteurs influencent l'engagement ou le non engagement des individus dans l'utilisation des TIC. La réduction de la fracture numérique de second degré requiert que les individus possèdent les connaissances et compétences cognitives nécessaires à un usage efficace des TIC ([10]). En effet, S'approprier véritablement les TIC et leur contenu est bien une dynamique complexe qui requiert des ressources d'ordre tant matériel que mental, social et culturel ([9]).

REFERENCES

- [1] Adamic L. A., Huberman B. A., "The web's hidden order", *Communications of the ACM*, vol. 44, no. 9, pp. 55-60, 2001.
- [2] Allegreza S., Di Maria C.H., "Utilisation et utilisateurs de l'Internet au Grand-duché de Luxembourg : à la recherche des facteurs déterminants", *Rapport IC@RE*, STATEC, 2003.
- [3] Attewell P., "The first and the second digital divide", *Sociology of education*, vol. 74, no. 3, pp. 252-259, 2001.
- [4] Baker P., "Policy Bridges for the Digital Divide: Assessing the Landscape and Gauging the Dimensions", *First Monday: Peer Reviewed Journal on the Internet*, vol. 6, no.5-7, 2001.
- [5] Bell P., Reddy P., Rainie L., Rural Areas and the Internet, *Pew Internet and American Life Project*, 2004.
- [6] Ben Youssef A., "Les quatre dimensions de la fracture numérique", *Réseaux*, vol. 22, no. 127-128, pp. 181-209, 2004.
- [7] Berret P., "Diffusion et utilisation des TIC en France et en Europe", Paris, Ministère de la Culture et de la Communication, DEPS, coll. *Culture chiffres*, 2008-2.
<http://www2.culture.gouv.fr/deps/fr/Deps-CC-2008-2-TIC-site.pdf>
- [8] Bonfadelli H., "The Internet and the knowledge gaps. A theoretical and empirical investigation", *European Journal of Communication*, vol. 17, no. 1, pp. 65-84, 2002.
- [9] Brotcorne P., Valenduc G., "Construction des compétences numériques et réduction des inégalités : une exploration de la fracture numérique du second degré", SPP Intégration sociale (POD Maatschappelijke integratie), 2008.
- [10] De Haan J., "A Multifaceted Dynamic Model of The Digital Divide", *IT and Society*, vol. 1, no. 7, pp. 66-88, 2004.
- [11] Dewan S., Riggins F.J., "The digital divide: current and future research directions", *Journal of the Association for information systems*, vol. 6, no. 12, pp. 298-337, 2005.
- [12] Diagne A., Al Hadji Ly M. "L'adoption des technologies de l'information et de la communication par les ménages africains au sud du Sahara: analyse comparative à partir de micros données", Working paper, 2010.
- [13] DiMaggio P., Hargittai E., Celeste C., Shafer S., "From Unequal Access to Differentiated Use: A Literature", *Review and Agenda for Research on Digital Inequality, Social Inequality*, Kathryn Neckerman (Eds), 2004.

- [14] Dryburgh H., "Les temps changent : pourquoi et comment les Canadiens utilisent Internet", Statistique Canada, catalogue no. 56F006XIF, 2001.
<http://www.statcan.ca:80/francais/IPS/Data/56F006XIF.htm>
- [15] Goolsbee A., Klenow P., "Evidence on learning and network externalities in the diffusion of home computers", *Journal of Law & Economics*, vol. 45, no. 2, pp. 317-343, 2002.
- [16] Goolsbee A., Zittrain J., "Evaluating the costs and benefits of taxing Internet commerce", *National Tax Journal*, vol. 52, no. 3, pp. 413-428, 1999.
- [17] Hargittai E., "Second-Level digital divide. Differences in people's online skills", *First Monday*, Peer-Reviewed Journal on the Internet, vol. 7, no. 4, 2002.
http://www.firstmonday.dk/issues/issue7_4/hargittai/
- [18] Hargittai E., "The Digital Divide and What To Do About It", *New Economy Handbook*, Academic Press, San Diego, Derek C Jones (ed.), 2003.
- [19] Hargittai E., "Differences in actual and perceived online skills: the role of gender", *Social Science Quarterly*, vol. 87, no. 2, 2006.
- [20] Huyer S., Hafkin N., Ertl H., Dryburgh H., Women in the information society, G. Sciadas (dir.), *From the digital divide to digital opportunities: Measuring infostates for development*, Montréal : UNESCO et Orbicom, 2005.
- [21] ITU, World Information Society Report, Geneva: ITU, 2006.
- [22] Johnson E. J., Moe W., Fader P. S., Bellman S., Lohse J., "On the depth and dynamics of online search behavior", *Working Paper*, 2003.
- [23] Kling R., "Technological and Social Access on Computing, Information and Communication Technologies", White paper for Presidential Advisory Committee on High Performance Computing and Communication, Information Technology, and the Next Generation Internet, 1998.
- [24] Le Guel F., Pénard T., Suire R., « Adoption et usage marchand de l'Internet : une étude économétrique sur données bretonnes », *Economie et Prévision*, no. 167, pp. 67-84, 2005.
- [25] Lethiais V., Poussing N., "Adoption, usages d'Internet et apprentissage: une comparaison Bretagne / Luxembourg", *Cahier de Recherche Marsouin*, no. 0-2004, 2004.
- [26] McFadden D., "Economic Choices", *Nobel Lecture*, December 2000, *American Economic Review*, vol. 91, pp. 351-378, 2001.
- [27] McKeown L., Noce A., Czerny P., "Facteurs associés à l'utilisation de l'Internet : une question de ruralité? ", *Bulletin d'analyse – Régions rurales et petites villes du Canada*, vol. 7, no. 3, 2007.
- [28] Moe W., Fader P. S., "Dynamic conversion behavior at e-commerce sites", *Working Paper*, The Wharton School, University of Pennsylvania, 2003.
- [29] Methamem R., "Note critique sur les indicateurs de la fracture numérique", *Réseaux*, vol. 22, no. 127-128, pp. 211-230, 2004.
- [30] Montagnier P., Muller E., Vickery G., "The digital divide: diffusion and use of ICTs", *OECD Paper*, 2002.
- [31] NTIA, National Telecommunications and Information Administration, "Nation online: how Americans are expanding their use of the Internet", *U.S. Department of Commerce Report*, February, 2002.
- [32] OCDE, "Understanding the digital divide", *OECD Publications*, Paris, 2001a.
- [33] Rallet A, Rochelandet F., "La fracture numérique : une faille sans fondement ? ", *Réseaux*, vol. 22, no. 127-128, pp. 19-54, 2004.
- [34] Rallet A., "Dossier de présentation", *Réseaux*, vol. 22, no. 127-128, pp. 9-16, 2004.
- [35] Selwyn N., "Digital division or digital decision? A study of non-users and low-users of computers", *Poetics*, no. 34, pp. 273-292, 2006.
- [36] Selwyn N., Facer K., *Beyond the digital divide – rethinking digital inclusion for the 21st century*, FutureLab, London, 2007.
- [37] Selwyn N., Gorard S., Furlong J., *Adult Learning in the Digital Age. Information, Technologies and the Learning Society*, Routledge, London, 2005.
- [38] Sciadas G., "Découvrir la fracture numérique", *Série sur la connectivité*, Statistique Canada, no. 7, 2002.
- [39] Singh, V " Facteurs d'utilisation d'Internet à la maison", *Bulletin d'analyse – Région rurales et petites villes du Canada*, vol. 5, no. 1, 2004.
- [40] Valenduc G., "La fracture numérique passe-t-elle par le travail ?", dans Metzger J.L. et Granjon F. (eds), *Inégalités numériques*, Hermès, Paris, 2008.
- [41] Valenduc G., Lemaire L., *Métiers, emplois et offre de formation dans les TIC en Wallonie et à Bruxelles*, Rapport MÉTIC, Fondation Travail-Université et Fonds social européen, Namur, 2005.
- [42] Valenduc G., Vendramin P., "De la fracture numérique à l'inclusion sociale", numéro spécial de la *Lettre EMERIT* no. 39, Namur, 2004.

- [43] Valenduc G., Vendramin P., "La dimension européenne de la lutte contre la fracture numérique", dans la *Lettre EMERIT* no. 46, Namur, 2006.
- [44] Van Dijk J., *The Deepening Divide Inequality in the Information Society*. Sage Publications, Thousand, Oaks CA, London/New Delhi, 2005.
- [45] Vendramin P., Valenduc G., *Internet et inégalités – une radiographie de la fracture numérique*, Labor, Collection Quartier Libre, Bruxelles, 2003.
- [46] Vendramin P., Valenduc G., "Fractures numériques, inégalités sociales et processus d'appropriation des innovations", *Terminal*, no. 95-96, pp. 137-154, L'Harmattan, Paris, 2006.
- [47] Warschauer M., "Reconceptualizing the digital divide", *First Monday: Peer-Reviewed Journal of the Internet*, vol. 7, no. 7, 2002.
- [48] Warschauer M., *Technology and social inclusion. Rethinking the digital divide*, MIT Press, Massachusetts, 2003.
- [49] Whitacre B., Mills B., "A need for speed? Rural Internet connectivity and the no access / dial-up / high-speed decision", Long Beach: American Agricultural Economics Association, 2006.
- [50] Yu P. K., "Bridging the Digital Divide: Equality in the Information Age", *Cardozo Arts & Entertainment LawJournal*, vol. 20, no. 1, pp. 1-52, 2002.

A Fuzzy Production-Distribution Inventory Model with Shortage

G. M. Arun Prasath¹ and C. V. Sessaiah²

¹Department of Mathematics,
CMS College of Engineering,
Namakkal, Tamilnadu, India

²Department of Mathematics,
Sri Ramakrishna Engineering College,
Coimbatore, Tamilnadu, India

Copyright © 2013 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: A Production-Distribution inventory model with shortages and unit cost dependent demand has been formulated along with possible constraints. In most of the real world situations, the cost parameters are imprecise in nature. Hence, the unit cost is imposed here in fuzzy environment. Due to complexity, the proposed model has been solved by LINGO software. The model is also solved for without shortages as the special case. The model is illustrated with a numerical example.

KEYWORDS: fuzzy inventory model, warehouse location problem, triangular fuzzy number, membership function, secondary warehouse, LINGO software.

1 INTRODUCTION

Silver [6] designed the classical inventory problems by considering that the demand rate of an item is constant and deterministic and that the unit price of an item is considered to be constant and independent in nature. But in practical situation, unit price and demand rate of an item may be related to each other. When the demand of an item is high, an item is produced in large numbers and fixed costs of production are spread over a large number of items. Hence the unit price of an item inversely relates to the demand of that item.

Nirmal Kumar Mandal et al [4] formulate the multi objective fuzzy inventory model with three constraints and solved the model by using geometric programming method. Debdulal Panda et al [2] formulate the multi-item stochastic and fuzzy-stochastic inventory models under imprecise goal and chance constraints with warehouse space as area and demand is dependent on unit cost.

Manas Kumar Maiti et al [3] showed that the formulation of fuzzy inventory model with two warehouses one in the heart of the market place and other slightly away from the market place. The warehouse placed slightly away from the market place is named as secondary warehouse. If the organization maintains two warehouses for one selling store then the maintenance cost of the warehouses will be more. But if the organization separately assigns one secondary warehouse to one or more than one selling stores then the total maintenance cost of the secondary warehouses will be reduced and consequently, the total expenditure of the organization will be decreased. To execute this idea the warehouse location problem has been taken to find the optimum number of warehouses and total cost of the secondary warehouses.

Panneerselvam [5] showed that the warehouse location problem for the organization can assign the warehouse for the nearby selling stores to find that the optimal distance. Consider the selling stores of an organization situated in different places of markets and the secondary warehouse wherefrom the required materials are to be shipped to the selling stores. Warehouse space available in the selling store can be considered in terms of area and/or volume, but most of the researchers consider only the area of the warehouse space.

Arun Prasath G.M. et al [1] showed that to minimize the total expenditure of the organization by reducing the number of warehouses allocating to the selling stores with warehouse space in area and the materials transferred from warehouse to selling store in known quantity, If the warehouse space is taken in terms of area, then the maximum area of the warehouse space will be covered by the goods arranged in the ground level. But, if the warehouse space is taken in terms of volume, then the minimum volume will be covered by the same amount of goods arranged in rows and columns. Because of this reason, in this paper, the warehouse space is considered in terms of volume. Here, a combined model of fuzzy inventory model and warehouse location problem is formulated with possible constraints. The unit cost and lot size are decision variables.

2 MODEL FORMULATION

2.1 MODEL AND ASSUMPTIONS

2.1.1 ASSUMPTIONS AND NOTATIONS

The basic assumptions about the model are:

- (i) Production rate is instantaneous
- (ii) Shortage is allowed
- (iii) Lead time is zero
- (iv) The warehouse space is taken in terms of volume
- (v) Lot size is considered as a required material for the selling store from the secondary warehouse
- (vi) The unit cost is taken in fuzzy environment
- (vii) Demand to be dependent on unit cost and it is related to the unit price

As:
$$D_i = \frac{C_i}{p_i^{e_i}}$$

Where C_i (>0) and e_i ($0 < e_i < 1$) are constants and real numbers selected to provide the best fit of the estimated price function. While $C_i > 0$ is an obvious condition since both D_i and p_i must be non-negative.

We use the following notations in proposed model:

- (i) n = number of items
- (ii) I = Total investment cost for replenishment
- (iii) L - Inside length of the warehouse
- (iv) B - Inside breadth of the warehouse
- (v) M - Height of the shelf
- (vi) V – Volume of the warehouse space
- (vii) Z – Total Expenditure

Parameters for the i^{th} ($i = 1, 2, \dots, n$) item are

- (viii) $D_i = D_i(p_i)$ demand rate (function of cost price)
- (ix) Q_i = lot size (a decision variable)
- (x) S_i = set up cost per cycle
- (xi) H_i = inventory holding cost per unit item
- (xii) p_i = price per unit item (a fuzzy decision variable)
- (xiii) M_i - Shortage level

- (xiv) δ_i – Shortage cost per unit item i
- (xv) l_i – Length of the unit item i
- (xvi) b_i – Breadth of the unit item i
- (xvii) h_i – Height of the unit item i
- (xviii) v_i – Volume of the unit item i
- (xix) V_w – Percentage of utilization of volume of the warehouse
- (xx) t – Number of orders
- (xxi) α – Total number of stores
- (xxii) β – Total number of proposed warehouses
- (xxiii) γ – Maximum number of warehouses to be located for serving α stores ($\gamma \leq \beta$).
- (xxiv) S_{c_k} – Set up Cost of the warehouse
- (xxv) A_{jk} – Distance between the store j and warehouse k
- (xxvi) d – Maximum allowable distance between the warehouse k and selling store j .
- (xxvii) t_c – Transportation cost of unit item from the warehouse to the selling store. The transportation cost is fixed when the distance between warehouse and selling store is less than d .

Volume of the unit item is defined by $v_i = l_i \times b_i \times h_i$

To calculate the volume of the warehouse space inside the selling store, multiply the lengths of the dimensions of the inside of the warehouse, that is, multiply the inside length, inside breadth and maximum shelf height.

i.e., Volume of the warehouse space inside the selling store is defined by $V = L \times B \times M$

2.1.2 MATHEMATICAL MODEL

The amount of stock for the i^{th} item ($i = 1, 2, \dots, n$) be R_i at time $t = 0$. In the interval $(0, T_i (= t_{1i} + t_{2i}))$, the inventory level gradually decreases to meet demands. By this process the inventory level reaches zero level at time t_{1i} and the shortages are allowed to occur in the interval (t_{1i}, T_i) . The cycle then repeats itself (Fig. 1).

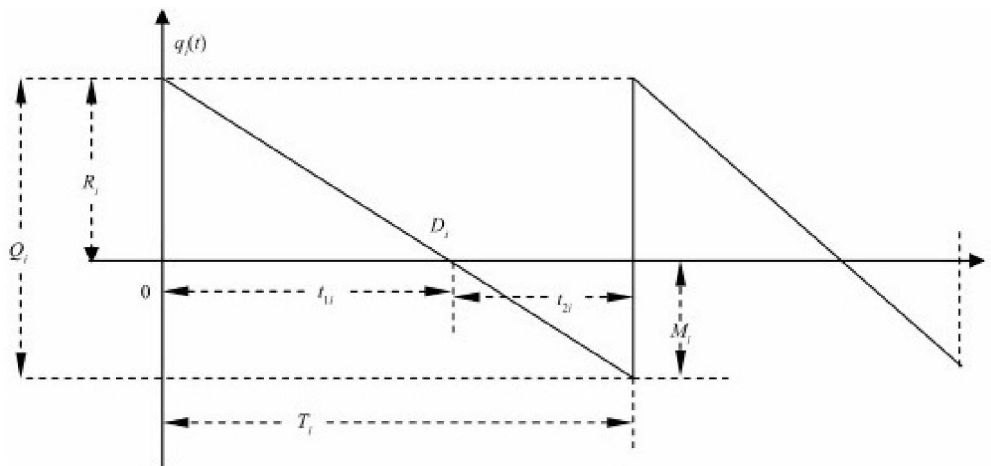


Fig. 1.

The differential equation for the instantaneous inventory $q_i(t)$ at time t in $(0, T_i)$ is given by

$$\frac{dq_i(t)}{dt} = \begin{cases} -D_i & \text{for } 0 \leq t \leq t_{1i} \\ -D_i & \text{for } t_{1i} \leq t \leq T_i \end{cases} \dots\dots(1)$$

With the initial conditions $q_i(0) = R_i (= Q_i - M_i)$, $q_i(T_i) = -M_i$, $q_i(t_{1i}) = 0$

For each period a fixed amount of shortage is allowed and there is a penalty cost c_{2i} per items of unsatisfied demand per unit time.

From (1),

$$q_i(t) = \begin{cases} R_i - D_i t & \text{for } 0 \leq t \leq t_{1i} \\ D_i(t_{1i} - t) & \text{for } t_{1i} \leq t \leq T_i \end{cases}$$

So, $D_i t_{1i} = R_i$, $M_i = D_i t_{2i}$, $Q_i = D_i T_i$.

$$\text{Holding cost} = H_i \int_0^{t_{1i}} q_i(t) dt = \frac{H_i(Q_i - M_i)^2}{2Q_i} T_i$$

$$\text{Shortage cost of the store} = \delta_i \int_{t_{1i}}^{T_i} (-q_i(t)) dt = \frac{\delta_i M_i^2}{2Q_i} T_i$$

$$\text{Production cost} = p_i Q_i$$

2.1.3 OBJECTIVE FUNCTION OF THE MATHEMATICAL MODEL IN FUZZY ENVIRONMENT

Total Expenditure (T.E.) = [(Number of selling stores $\times$ Total Annual cost of the store) + Total Annual cost of the secondary warehouses]

T.E. = { [Number of selling stores $\times$ (Production cost + Set up cost of the selling store + Holding cost + Shortage cost)] + (Transportation cost + Set up cost of the secondary warehouse) }

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \left\{ \alpha \sum_{i=1}^n \left[C_i \tilde{p}_i^{1-e_i} + \frac{C_i}{\tilde{p}_i^{e_i}} \frac{S_i}{Q_i} + \frac{H_i(Q_i - M_i)^2}{2Q_i} + \frac{\delta_i M_i^2}{2Q_i} \right] \right. \\ & \left. + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{\alpha} \sum_{k=1}^{\beta} (A_{jk} \times Q_i \times t_c \times x_{jk}) + \sum_{k=1}^{\beta} (S_{c_k} \times y_k) \right\} \end{aligned}$$

2.1.4 CONSTRAINTS OF THE MODEL

(i) The limitation on the available warehouse space in the store, $\sum_{i=1}^n v_i Q_i \leq V$

(ii) The upper limit of the total amount investment, $\sum_{i=1}^n \tilde{p}_i Q_i \leq I$

(iii) The upper limit on the number of orders can be made in a time cycle on the system, $\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\tilde{p}_i^{e_i} Q_i} \leq t$

(iv) Percentage of utilization of volume of the warehouse, $\frac{V \times V_w}{\left(\sum_{i=1}^n v_i Q_i \right) \times 100} = 1$

(v) Restricts the total number of sites that are assigned warehouses to a maximum of γ , $\sum_{k=1}^{\beta} y_k \leq \gamma$

(vi) Restricts that each store is served by only one warehouse, $\sum_{k=1}^{\beta} x_{jk} = 1, j = 1, 2, 3, \dots, \alpha$

(vii) Makes sure that each site which is assigned with a warehouse serves at least one store,

$$\sum_{j=1}^{\alpha} x_{jk} - y_k \geq 0, k = 1, 2, 3, \dots, \beta$$

(viii) Makes sure that each site which is not assigned with a warehouse does not serve any of the stores,

$$\sum_{j=1}^{\alpha} x_{jk} - \alpha y_k \leq 0, k = 1, 2, 3, \dots, \beta$$

(ix) Restricts the maximum distance between the warehouse and selling store, $\sum_{j=1}^{\alpha} A_{jk} x_{jk} \leq d, k = 1, 2, 3, \dots, \beta$

In the above constraints, constraint (vii) will be inactive when (viii) is active, similarly, constraint (viii) will be inactive when (vii) is active.

Where $x_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{if a warehouse at site } k \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$ and

$y_k = \begin{cases} 1, & \text{if a warehouse is open at site } k \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$ and $\tilde{p}_i, Q_i > 0 (i=1, 2, \dots, n), 0 \leq V_w \leq 100$

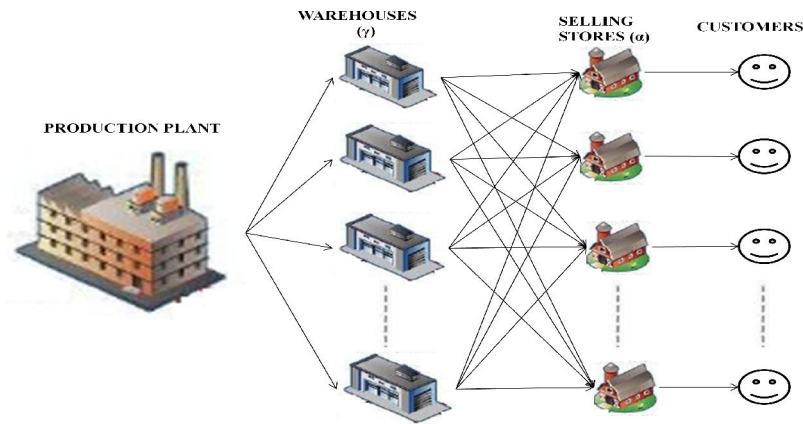


Fig. 1. The proposed configuration of supply network

2.1.5 MEMBERSHIP FUNCTION

The membership function for the triangular fuzzy number $\tilde{p}_i = (k_{u_i}, k_{m_i}, k_{o_i})$, $i = 1, 2, \dots, n$ is

$$\mu_{p_i}(x) = \begin{cases} \frac{p_i - k_{u_i}}{k_{m_i} - k_{u_i}}, & k_{u_i} \leq p_i \leq k_{m_i} \\ \frac{k_{o_i} - p_i}{k_{o_i} - k_{m_i}}, & k_{m_i} \leq p_i \leq k_{o_i} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

3 NUMERICAL EXAMPLE

Assume that $n=1$, $C_1=113$, $S_1=\$100$, $t=4$, $H_1=\$1$, $l_1=2m$, $b_1=1m$, $h_1=4m$, $L=10m$, $B=12m$, $M=30m$, $\tilde{p}_1=(10,15,20)$ and $I=\$1400$, $\alpha=5$, $\beta=5$, $d=7$, $t_c=\$2$ (fixed), $d=7kms$, $\gamma=5$. The distance between the stores and warehouses and the volume of materials required for the stores are given in table1.

Table 1. Distance Matrix $[A_{jk}]$ in Kms

Store (j)	Proposed warehouse (k)					
	-	1	2	3	4	5
	1	5	3	7	6	8
	2	3	8	10	9	6
	3	10	9	6	5	9
	4	1	7	4	8	10
Set up cost (S_{c_k})		100	120	110	140	150

The example is solved by using LINGO 8.0 software, and the result of the example is given in table 2.

Table 2. Result of the example

e_1	p_1	μ_{p_1}	Q_1	V_w	M_1	Z	x_{jk}	y_k
0.660	10.69	0.138	18.16	4.03	4.54	3077.28	$x_{12} = 1, x_{21} = 1$ $x_{34} = 1, x_{41} = 1$ $x_{55} = 1$ & all remaining $x_{jk} = 0$	$y_1=1$
0.670	11.64	0.328	17.44	3.88	4.36	3031.31		$y_2=1$
0.680	12.71	0.542	16.72	3.72	4.18	2984.22		$y_3=0$
0.690	13.91	0.782	16.00	3.56	4.00	2936.01		$y_4=1$
0.695	14.56	0.912	15.65	3.48	3.91	2911.50		$y_5=1$
0.700	15.26	0.948	15.29	3.40	3.82	2886.72		
0.710	16.79	0.642	14.58	3.24	3.64	2836.37		
0.715	17.64	0.472	14.22	3.16	3.56	2810.80		
0.720	18.54	0.292	13.87	3.08	3.47	2784.98		
0.725	19.50	0.100	13.52	3.00	3.38	2758.91		

4 SPECIAL CASE (THE PROPOSED MODEL WITHOUT SHORTAGES)

Here we derive the result for the above said inventory model (2) for without shortage (i.e., $M_i=0$). The result is presented in table 3.

Table 3. Result of the proposed model without shortages

e_1	p_1	μ_{p_1}	Q_1	V_w	Z	x_{jk}	y_k
0.660	10.27	0.054	18.90	4.20	3042.55	$x_{12} = 1, x_{21} = 1$ $x_{34} = 1, x_{41} = 1$ $x_{55} = 1$ & all remaining $x_{jk} = 0$	$y_1=1$
0.670	11.18	0.236	18.16	4.04	2997.95		$y_2=1$
0.680	12.20	0.440	17.41	3.87	2952.23		$y_3=0$
0.690	13.35	0.670	16.67	3.70	2905.39		$y_4=1$
0.695	13.98	0.796	16.30	3.62	2881.56		$y_5=1$
0.700	14.64	0.928	15.93	3.54	2857.46		
0.710	16.11	0.778	15.20	3.38	2808.46		
0.715	16.92	0.616	14.83	3.30	2783.57		
0.720	17.78	0.444	14.47	3.21	2758.42		
0.725	18.69	0.262	14.10	3.13	2733.02		

5 CONCLUSION

In this paper we have proposed a concept of the optimal solution of the production-distribution inventory model with shortage. Here, a combined model is developed to optimize the total expenditure of the organization. The unit cost is taken in fuzzy environment. The constraint goals are restricted up to certain values and the warehouse space is considered in terms of volume. The proposed model is illustrated with a numerical example. The management can achieve to his target varying the level of unit cost (p_i) from 10 and 20. Due to complexity, the model is solved by LINGO 8.0 optimization software. We have also solved the model for without shortages as a special case of the original problem. In real life inventory control system, the cost parameters such as holding cost, ordering cost, production cost etc., are imprecise in nature. Similarly, in practical situations, resources like warehouse space, number of orders etc. are also imprecise in nature. Hence, in future, any of the above cost parameters or resources can be taken in fuzzy environment. The proposed model is more general and can be applied to the real inventory problems faced by the practitioners in the industry and other areas.

REFERENCES

- [1] G.M. Arun Prasath and C.V. Seshiah, "Optimization of Total Expenditure by using Multi Objective Fuzzy Inventory Model and Warehouse Location Problem," *European Journal Scientific Research*, vol. 58(1), pp. 38-43, 2011.
- [2] Debdulal Panda, and Samarjit Kar, "Multi-item Stochastic and Fuzzy-Stochastic Inventory Models Under Imprecise Goal and Chance Constraints," *Advanced Modeling and Optimization*, vol. 7, pp 155-167, 2005.
- [3] Manas Kumar Maiti, and Manoranjan Maiti, "Fuzzy inventory model with two warehouses under possibility constraints," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 157, pp 52-73, 2006.
- [4] Nirmal Kumar Mandal, Tapan Kumar Roy, and Manoranjan Maiti, "Multi-objective fuzzy inventory model with three constraints: a geometric programming approach," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 150, pp 87-106, 2005.
- [5] R. Panneerselvam, *Production and Operations Management*, (2nd ed.). India: Prentice-Hall of India, pp. 120-123, 2010.
- [6] E.A. Silver and R. Peterson, *Decision Systems for Inventory Management and Production Planning*. New York: John Wiley, 1985.

Phytochemical Screening and In Vitro Anti-Bacterial Studies of the Ethanolic Extract of *Citrus Senensis* (Linn.) Peel against some Clinical Bacterial Isolates

Lawal, D.¹, Bala J. A.², Aliyu, S. Y.³ and Huguma, M. A.⁴

¹Department of Community Health,
School of Health Technology,
P.M.B 11549, Kano-Nigeria

²Department of Medical Laboratory Science,
Faculty of Medicine, Bayero University,
P.M.B. 3011, Kano-Nigeria

³Department of Veterinary,
Ministry of Agriculture,
P.M.B 3027, Kano-Nigeria

⁴Department of Pharmacology,
Faculty of Medicine, Bayero University,
P.M.B. 3011, Kano-Nigeria

Copyright © 2013 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: *Citrus senensis* peel has many medicinal properties and is widely used against various ailments, such as colic, upset stomach, cancer, diuretic, cormunative, immuno – enhancing, stomachic, tonic to digestive system, immune system and skin. It is also used to treat and prevent vitamin deficiencies, colds, flu, and scurvy and helping to fight viral and bacterial infections. The aim of the study is to verify the ethnomedicinal use of the peel as anti-bacterial. The peels were air-dried and ground to powder using mortar and pestle, extracted with 95% ethanol. The extract was subjected to phytochemical screening using standard procedures. Agar diffusion method was employed to test the antibacterial activity of the extract and the MIC and MBC of the extract were determined by broth dilution technique. The results of the phytochemical screening indicated the presence of flavonoids, alkaloids, saponins, tannins, triterpenoids, phytosterols and steroids. The results of the antibacterial activity showed that the isolates were sensitive to the extract, with MIC of 0.25-2.5mg/ml and MBC of 0.5-5.0mg/ml. The antibacterial effects of the extracts suggest their possible use for the treatment of infections caused by the test bacteria. The chemotherapeutic potential of the fruit peel could be due to the presence of flavonoids, alkaloids, saponins, tannins, triterpenoids, phytosterols and steroids. The success of this study could lead to the development of cheap, easily available and relatively safe bactericides from a tropical plant.

KEYWORDS: ethnomedicinal, phytochemistry, antibacterial, phytochemical-screening, *Citrus senensis*.

1 INTRODUCTION

The mass scale productions of synthetic medicines by the western countries in the begging of the current century make the medicines and drugs of vegetables origin lost their significance. They were rejected by the medicinal practitioners all over the world, being referred to as 'old woman's remedy' [1]. In the recent years, in view of increasing awareness about adverse side effects of synthetic drugs, a sense of back to nature has been developed and the people in most of the developed countries now prefer raw carrot instead of carotene compound based tablets, instead of vitamin C tablet, they feel happy to

use citrus fruits. It is mainly due to innumerable side effects being observed following the use of synthetics i.e. resistance to certain antibiotics and immune-suppressive activities of certain drugs. It is felt that there is a sense of revival in medicines from a vegetative source and it is once again gaining recognition [2].

Citrus senensis Peel: is derived from the fruit of *Citrus sinensis*, the plant is called sweet orange (English) and is locally called Lemon – zaki (Hausa). Though most people peel the *Citrus senensis* and eat only the fruit, the *Citrus senensis* peel, though not tasty on its own, is used medicinally [3]. *Citrus senensis* peel contains calcium, phosphorus, potassium, ascorbic acid, and vitamin A, as well as volatile oil and hesperidin. In Africa, *Citrus senensis* peel is used to treat colic, and in India, *Citrus senensis* peel is used to treat upset stomach [3]. The British pharmacopoeia has list *Citrus senensis* peel as aromatic compound for use as aroma and flavor enhancer. Furthermore the bioflavonoid constituents of this herb are reported to reduce the permeability of blood vessels, especially capillaries, so that extracts from *Citrus senensis* peel are also included in remedies for phlebitis. New studies on a monoterpene found in *C. senensis* peel called “Limonene” has shown that it can effectively prevents individuals from developing abnormal growths on their skin [3].

The limonene compound isolated from *C. senensis* peel has demonstrated prevention efficacy in preclinical models of breast research, which shows that the herb may help in reducing the occurrence of squamous cell skin cancer. The *C. senensis* peel is also used in treating diuretic, cormunative, immuno – enhancing, stomachic, tonic to digestive system, immune system and skin. Also used in Ayurvedic medicine to tonify liver, strengthening to blood vessels, help in relieving symptoms and discomfort of varicosa, peripheral circulatory system function. It increased circulation to the extremities. Used to treat and prevent vitamin deficiencies, colds, flu, and scurvy [4]. The high citric acid content in *C. senensis* peel has powerful health benefits in treating heavy-metal poisoning in people and helping fight viral and bacterial infections [4].

Previous reports show that fruit and vegetable peel extracts showed better antifungal activity than antibacterial activity; Gram-negative bacteria were more susceptible than Gram-positive bacteria which contradict the earlier reports that plant extracts are more active against Gram positive bacteria than Gram-negative [5]. The methanolic extract of *C. grandis* shows activity against *Bacillus Subtilis*, *B. cereus*, *Staphylococcus aureus*, *E. coli* and *Salmonella enteritidis* [6]. The flavonoid extract of *C. reticulate* Blanco showed activity on *E. coli*, *S. aureus*, *Streptococcus epidermidis*, *Enterococcus faecalis*, *S. typhimurium* and *Enterobacter cloace* [7]. The oil extract of *C. reticulata* Blanco showed activity against *Alternaria altanata*, *Rhizoctonia solani*, *Curvularia lunata*, *Fusarium oxysporum* and *Helminthosporium oryzae* [8]. The oil extract of *C. acida* Roxb. showed activity against *B. subtilis*, *B. cereus*, *E. coli*, *Enterobacter aerogenes*, *S. typhimurium*, *Aspergillus ficum*, *A. fumigatus*, *A. flavus*, *Fusarium solani*, *F. Oxysporum*, *Penicillium digitatum* and *Candida utilis* [9]. The ethanolic fraction of *C. bergamia* Risso showed activity against *E. coli*, *Pseudomonas putida*, *S. enterica*, *Listeria*, *Innocua*, *Bacillus subtilis*, *S. aureus*, *Lactobacillus lactis* and *Sacharomyces cerevisiae* [10]. The hexane and wax extract of *C. senensis* peel exhibited antibacterial activity against *S. aureus* (12mm and 20mm) and *E.coli* (12mm and 20mm) with MIC of 500µg/ml and 1000µg/ml respectively [11]. The essential oils from *C. senensis* peels shows antibacterial activity against *S. aureus* (16mm), *S. typhimurium* (15mm), *Enterobacter aerogenes* (12mm), *B. subtilis* (11mm), *E. coli* (10mm) and the tested oil has shown nearly equal antibacterial effect on both Gram negative and positive bacteria *B. subtilis*, *S. aureus* and *E. coli*, *S. typhimurium*, *E.aerogenes* [12]. Similar kind of observations was also made by [13] and [14] indicating that the essential oil of *Citrus* was active against all tested bacteria including Gram positive and Gram negative cultures ([15]-[16]). Also the aqueous extract of orange peel possessed antibacterial activity against *S. aureus*, [17], the ethyl acetate extract of *Citrus* peel showed antibacterial activity against *S. aureus* and *E. coli* [18], the antibacterial activity of lemon peel against *Pseudomonas aeruginosa*, *S. typhimurium* and *Micrococcus aureus* was also reported [19] and the antibacterial activity of essential oil from *C. senensis* against *E. coli*, *S. aureus*, *K. pneumoniae*, *B. cereus*, *Micrococcus luteus*, *Proteus vulgaris*, *Mycobacterium smegmatis*, *listeria monocytogenes*, *p. aeroginosa* [20]. The objective of the study is to identify the specific soluble extracts of *Citrus sinensis* peel that are active against *Salmonella species*, *A. hydrophila* at various concentrations.

2 MATERIALS AND METHODS

COLLECTION AND IDENTIFICATION OF PLANT MATERIALS

Citrus senensis fruit was obtained from Yankaba Market in May, 2010, the peels were obtained by removing the pericarp. Its botanical identity was further confirmed, authenticated and voucher specimen (16) was deposited at the Herbarium section of the Botany unit of the former Department of Biological sciences, Bayero University, Kano, Nigeria, for future reference.

PREPARATION OF THE TREATMENT SAMPLES

The peels were air-dried and ground to powder using mortar and pestle as described by [21]. The content was then stored in air-dried container until required for further analysis.

EXTRACTION PROTOCOLS

This was carried out according to the method of [21]. The fine powder of the peels (100g) was weighed and percolated with 1000 cm³ of 95% ethanol. It was allowed to stand for two weeks with shaking at regular intervals under room temperature. The percolate was then filtered and solvent (ethanol) evaporated at room temperature to obtain the ethanolic extract of the peels. The extract was stored in sterile bottle under refrigerated condition.

PHYTOCHEMICAL SCREENING OF THE PLANT EXTRACT

The extract was analysed for the presence of alkaloids, flavonoids, saponins, tannins, steroids, glycosides, triterpenoids, phytosterols and amino acids as follows:

(a) Test for alkaloids

This was carried out according to the method described by ([22]-[23]). A quantity of 5 cm³ of the extract was added to 2 cm³ of HCl. To this acidic medium, 1 cm³ of Dragendroff's reagent was added. An orange or red precipitate /turbidity produced immediately indicated the presence of alkaloids.

(b) Test for flavonoids

This was carried out according to the method of ([22]-[23]). To 3cm³ of the extract was added 1cm³ of NaOH, a yellow colouration indicated a positive test for flavonoids.

(c) Test for saponins (frothing test)

This was carried out according to the method of ([22]-[23]). Two cm³ of the extract was placed in a test tube and then 2cm³ of distilled water was added. The tube was then shaken vigorously. A persistent froth that lasted for at least 15-minutes indicated a positive test for saponins.

(d) Test for tannins

(i). This was carried out according to the method describe by ([22]-[23]). Two drops of 5% FeCl₃ was added to 1cm³ of the extracts. A green precipitate indicated a positive test for the presence of tannins.

(2). This was carried out according to the method described by ([24]-[25]). To 5cm³ of the extract, a few drops of 1% lead acetate were added. Formation of a yellow precipitate indicated the presence of tannins.

(e) Salkowski's Test for Steroids

This was carried out according to the method of ([22]-[23]). To 1cm³ of the extract 5-drops of conc. H₂SO₄ was added. A red colouration indicates a positive test for steroids.

(f) Fehling's test for glycosides

This was carried out according to the method of ([22]-[23]). Ten cm³ of 50% H₂SO₄ was added to 1 cm³ of the extract in a test tube. The mixture was heated in a boiling water bath for 15 minute. Ten cm³ of fehling's solution was added and the mixture was boiled. Formation of brick red precipitate indicated a positive test for glycosides.

(g) Test for Triterpenoids

This was carried out according to the method described by ([24]-[25]). Ten mg of the extract was dissolve in 1cm³ of chloroform; 1cm³ of acetic anhydride was added following the addition 2 cm³ of conc. H₂SO₄. Formation of reddish violet colour indicated the presence of triterpenoids.

(h) Test for phytosterols

This was carried out according to the method described by ([24]-[25]). The extract was refluxed with solution of alcoholic potassium hydroxide till complete saponification took place. The mixture was diluted and extracted with ether. The ether was evaporated and the residue was tested for the presence of phytosterol. The residue was dissolved in few drops of diluted acetic acid; 3cm³ of acetic anhydride was added followed by few drops of conc. H₂SO₄. Appearance of bluish green colour showed the presence of phytosterol.

(i) Test for amino acids

This was carried out according to the method described by ([24]-[25]). One cm³ of the extract was treated with few drops of Ninhydrin reagent. Appearance of purple colour showed the presence of amino acids.

PREPARATION OF SENSITIVITY DISCS

Whatman No. 1 filter paper was punched using puncher to obtain disc of 6.0mm in diameter. These were placed in a sterile screw-capped Bijou bottles and sterilized in an oven using a dry heat at 140°C for 1-hour. The discs were allowed to cool; twenty five discs were dispensed into each solution with defined concentration by means of sterile forceps. Standard antibiotic (Oxoid, UK) discs were used as positive control.

PREPARATION OF EXTRACT CONCENTRATIONS

The stock solution of the plant extract was prepared in screw capped bijou bottle containing Dimethyl sulphoxide (D.M.S.O). One gram of the extract was weighed on a metler balance, and dissolved in 1cm³ of DMSO to arrive at 1000,000 µg/cm³ (10⁶µg/cm³) concentration of stock solution. Twelve varied extract concentrations 1000 µg/ml - 4000 µg/ml, 10,000 µg/ml - 40,000 µg/ml, 100,000 µg/ml - 400,000 µg/ml, were prepared from the stock solution (1000,000 µg/ml) using 10-fold serial dilution.

TEST CULTURE

The test organisms were isolated from stools samples of patients presenting with diarrhoea attending Aminu Kano teaching Hospital (AKTH) Kano-Nigeria and Murtala Mohammad Specialists Hospital Kano-Nigeria, using standard methods [26]. The isolates included six *Salmonella paratyphi B*, one *Salmonella typhi* and three *Aeromonas hydrophila*. The isolates were maintained on a freshly prepared nutrient agar slant and kept at 4°C until required for use.

PREPARATION OF MCFARLAND TURBIDITY STANDARD

Barium sulphate suspension at 1.0% w/v was prepared as follows. One percent (1% v/v) solution of sulphuric acid was prepared by adding 1ml of concentrated H₂SO₄ in 99cm³ of water. One percent (1% w/v) solution of barium chloride was also prepared by dissolving 0.5g of dehydrated barium chloride in 50cm³ distilled water.

Barium chloride solution (0.6cm³) was added to 99.4cm³ of sulphuric acid solution to yield 1.0% w/v barium suspension. The turbid solution formed was transferred into a test tube as the standard for comparison [27].

STANDARDIZATION OF INNOCULUM

Using inoculating loop, enough material from an overnight culture of the test organisms were transferred into a tube containing 2.0cm³ normal saline, until the turbidity of the suspension matched the turbidity of standard (1% barium sulphate), [27].

EXTRACT ANTIBACTERIAL ACTIVITY TESTING

Agar diffusion method [28] as modified by [29] was employed. The freshly prepared nutrient agar plates were dried; the plates were aseptically inoculated uniformly with test organism by streaking method. The impregnated paper disc containing *Citrus senensis* peel extract at different concentrations were arranged radially and pressed firmly onto the inoculated agar surface to ensure even contact and the plates were incubated at $37\pm 1^{\circ}\text{C}$ for 18 – 24hrs.

DETERMINATION OF MINIMUM INHIBITORY AND BACTERICIDAL CONCENTRATIONS OF THE EXTRACTS

The MIC and MBC were determined in accordance with the methods of [30].

3 RESULTS

A total yield of 31.00g of the ethanolic extracts from the original weight of 100g was recovered from the peel of *C. senensis*. The physical characteristics were indicated in Table 1. Table 2 showed the phytochemical composition of the plant parts screen. Phytochemical analysis of the *C. senensis* peel revealed the presence of flavonoids, alkaloids, saponins, tannins, triterpenoids, phytosterols and steroids. Only glycosides and amino acids were absent in *C. senensis* peel. The antimicrobial activity pattern of the extract was shown in Table 3-4. The results of the study showed that the ethanolic extract of the peel of the plant demonstrated activity on all the tested isolates.

Table 1. Physical characteristic of Citrus senensis peel extract

Plant part	Solvent	Initial weight (g)	Final weight (g)	Colour	Odour	Texture
Peel	Ethanol	100.00	31.00	Orange	Fruity	Oily

Table 2. Phytochemical characteristics of Citrus senensis peel extract

Ingredient	<i>C.senensis</i>
Alkaloids	+
Flavonoids	+
Saponins	+
Tannins	+
Steroids	+
Glycosides	-
Triterpenoids	+
Phytosterols	+
Amino acids	-

Key: + = present; - = absent.

Table 3. Antibacterial activity of *Citrus senensis* peel extract against some clinical bacterial isolates

		Average zone of inhibition (in mm)/Disc Potency in µg/disc													
Test Bacteria		4000	3000	2000	1000	400	300	200	100	40	30	20	10	S.D	Zone
Salmonella	Paratyphi	09	07	11	09	07	07	08	07	08	11	11	10	S	27
B ₁															
Salmonella	Paratyphi	08	08	08	08	09	09	09	08	09	08	08	08	SXT	35
B ₂															
Salmonella	Paratyphi	10	00	10	11	00	00	11	09	00	00	00	00	AMP	24
B ₃															
Salmonella	Paratyphi	07	00	00	00	00	08	09	00	00	07	00	00	CPX	42
B ₄															
Salmonella	Paratyphi	10	00	10	00	08	10	08	08	00	10	10	10	PN	21
B ₅															
Salmonella	Paratyphi	00	00	00	00	00	00	00	00	00	07	00	07	S	12
B ₆															
Salmonella	typhi ₁	10	10	10	10	12	12	10	10	10	10	10	10	PEF	30
Aeromonas	hydrophila ₁	10	10	10	10	00	00	00	35	10	12	10	10	OFX	20
Aeromonas	hydrophila ₂	15	10	15	10	07	10	07	12	00	00	08	10	APX	15
Aeromonas	hydrophila ₃	14	07	07	07	08	08	08	08	00	00	00	00	OFX	25

KEY: PEF = PEFLACINE 10µg. CPX = CIPROFLOXACIN 10µg. PN= AMPHICILLIN 30µg. S= STREPTOMYCIN 30µg. PEF = PEFLACINE 10µg. OFX = TARIVID 10µg. AMP = AMPHICILLIN 10µg. APX=AMPHICLOXACIN10µg.

Table 4. Minimum Inhibitory and Bactericidal Concentrations of ethanolic extract of *Citrus senensis* peel against some clinical bacterial isolates

Test organism	MIC value (mg/ml)	MBC value (mg/ml)
<i>S.paratyphi</i> B ₁	0.25	0.5
<i>S.paratyphi</i> B ₂	0.25	0.5
<i>S.paratyphi</i> B ₃	0.25	0.5
<i>S.paratyphi</i> B ₄	0.25	1.0
<i>S. typhi</i> ₁	0.25	0.5
<i>A. hydrophila</i> ₁	0.25	1.0
<i>A. hydrophila</i> ₂	0.25	0.0
<i>S. paratyphi</i> B ₅	2.5	5.0
<i>S. paratyphi</i> B ₆	2.5	0.0
<i>A. hydrophila</i> ₃	2.5	5.0

4 DISCUSSIONS

The crude ethanolic extract of *C. senensis* peel was found to be active against the *Salmonella* species and *Aeromonas hydrophila*. The highest activity was seen against *A. hydrophila*₁ at a concentration of 100µg/disc with zone diameter of 35cm. The antibacterial activity of *C. senensis* peel extract was prominent against *A. hydrophila*₁, which was seen to be more sensitive to the peel extract at a concentration of 100µg/disc (10,000µg/ml) with zone of inhibition of 35mm, in comparison with standard antibiotic disc, Tarivid (OFX) 10µg which shows a zone diameter of 20mm. The lowest MIC was demonstrated at a concentration of 0.25mg/ml against *S. paratyphi* B₁, B₂, B₃, B₄, *S. typhi*₁, *A. hydrophila*₁ and *A. hydrophila*₂ and the highest was seen at a concentration of 2.5mg/ml against *S. paratyphi* B₅, B₆ and *A. hydrophila*₃. The lowest MBC was demonstrated at a concentration of 0.5mg/ml against *S. paratyphi* B₁, B₂, B₃ and *S. typhi*₁ and the highest was seen at a concentration of 5mg/ml against *S. paratyphi* B₄ and *A. hydrophila*₃.

The antibacterial activity recorded with the ethanolic extract of *C.senensis* peel in this study against *Salmonella* species and *Aeromonas hydrophila* is in close agreement with that of [31] which reported that the aqueous extracts of peel of *C. senensis* (L) has antibacterial activity against *S. paratyphi* A, *S. paratyphi* B and *S. typhi* the highest activity was seen at a

concentration of 100mg/ml with zone of inhibition of 30mm, 31mm and 24mm respectively with gradual increase in activity with increase in concentration indicating a concentration dependent pattern. In a similar study that involves the essential oil of the peel, it was reported that essential oils from *C. senensis* peels showed antibacterial activity against *S. aureus* (16mm), *S. typhimurium* (15mm), *Enterobacter aerogenes* (12mm), *B. subtilis* (11mm), *E. coli* (10mm) and the tested oil has shown nearly equal antibacterial effect on both Gram negative and positive bacteria *B. subtilis*, *S. aureus* and *E. coli*, *S. typhimurium*, *E. aerogenes* [12]. Similar kind of observations was also made [14] indicating that the essential oil of *Citrus* was active against all tested bacteria including both Gram positive and Gram negative cultures ([15]-[16]). In addition, [19] also reported the antibacterial activity of lemon peel against *Pseudomonas aeruginosa*, *S. typhimurium* and *Micrococcus aureus*.

5 CONCLUSION AND RECOMMENDATION

It is concluded that, some ethanol-extractable phytochemicals from *C. senensis* peel possess in-vitro antibacterial activity against the test bacterial isolates. The findings as a whole further support the fact that cheap, easily available and relatively safe bactericides could be developed from a tropical plant. It is therefore recommended for the detailed bioassay-directed fractionation to identify and elucidate the bioactive compounds responsible for the result observed.

REFERENCES

- [1] I. Gaea, and S. Wiss, “*Growing and using the healing Herbs*”, B. Jain Publishers Pvt. Ltd. New Delhi, pp. 4, 1986.
- [2] L.J. Chong, *Chong’s Health care enterprise*. INC. 40 IN. Garfield Ave, Suit 1, Alhamba, C A 91801 USA. <http://www.cljhealth.com>, 2003.
- [3] P.A. Bensalem, “*Viable herbal Solutions*”, <http://www.manta.com/c/mm4nrs1viable-herbal-solutions>, 2006.
- [4] Monterey Bay Spice Company, “*Suppliers of bulk herb and herbal trees*”, <http://www.manta.com/c/mmd3690/monterey-bay-spice.co>. Copyright © 2005.
- [5] T. Rabe, and J. Van Staden, “Antibacterial activity of South African plants used for medicinal purposes”, *Journal of Ethanopharmacology*, vol. 56, pp. 81-87, 1997.
- [6] M.S. Mokbel, Y. Watanabe, F. Hashinaga and T. Suganuma, “Purification of the antioxidant and antimicrobial substance of ethyl acetate extracts from Buntan (*Citrus grandis* Osbeck) fruit peel”, *Pakistan Journal of Biological Sciences*, vol. 9, pp. 145-150, 2006.
- [7] Z. Yi, Y. Yu, Y. Liang and B. Zeng, “In vitro antioxidant and antimicrobial activities of the extract of *Pericarpium Citri reticulatae* of a new Citrus cultivar and its main flavonoids”, *LWT - Food Science and Technology*, vol. 41, pp. 597–603, 2008.
- [8] B. Chutia, P. Deka Bhuyan, M.G. Pathak, T.C. Sarma and P. Boruah, “Antifungal activity and chemical composition of *Citrus reticulata* Blanco essential oil against phytopathogens from North East India”, *LWT -Food Science and Technology*, vol. 42, pp. 777– 780, 2009.
- [9] S. Mahmud, M. Saleem, S. Siddique, R. Ahmed, R. Khanum, and Z. Perveen, “Volatile components, antioxidant and antimicrobial activity of *Citrus acida* var. sour lime peel oil”, *Journal of Saudi Chemical Society*, vol. 13, pp. 195–198, 2009.
- [10] G. Mandalari, R.N. Bennett, G. Bisignano, D. Trombetta, A. Saija, C.B. Faulds, M.J. Gasson, and A. Narbad, “Antimicrobial activity of flavonoids extracted from bergamot (*Citrus bergamia* Risso) peel, a by-product of the essential oil industry”, *Journal of Applied Microbiology*, vol. 103, pp. 2056-2064, 2007.
- [11] J. Susuna, Ventura. Lopes.de.Olivera, G.P. Monac, S. Jan, Raimundo. Braz-filho, B. Alexansandro and S.Jr. Artur, “Antimicrobial activity of wax and hexane extracts from Citrus species peels” *Mem. Inst. Oswaldo Cruz, Rio de janeiro*, vol. 102 no. 6, pp. 681-685, 2007.
- [12] S. Saima, J. Shabnam, N. Shaista, P. Zahida, A. K. Rauf, K . Razia and S. Khurram, “Volatile components and antimicrobial activity of *C. senensis* Var. mosammi leaves oil”, *Journal of medicinal plants Researsch*, vol. 6, no. 11, pp. 2184 – 2187, 2012.
- [14] K.U. Ravi, P. Deuievedi, S. Ahmed, “Screening of antibacterial activity of six plants essential oils against pathogenic bacterial strains”, *Asian. J. Med. Sci.*, vol. 2, pp. 152-158, 2010.
- [15] G.A. Ayoola, O.O. Johnson, T. Adelowotan, I.E. Aibinu, E. Adenipekun, A.A. Adepoju-Bello, H.A.B. Coker and T.O. Odugbemi, “Evaluation of the chemical constituents and antimicrobial activity of the volatile oil of *Citrus Reticulata* fruit (Tangerine fruit peel) from South West Nigeria”, *Afr. J. Biotechnol*, vol. 713, pp. 2227-2231, 2008.
- [16] J. Sikkema, J.A.M. De Bront, and B. Poolman, “Mechanisms of membrane toxicity of hydrocarbons”, *Microb. Rev.* 59, pp. 201-222, 1995.

- [17] M. Abhishak, K. V. Satish, P. Reena, G. Vinay, V.K. Dua, G.B.k.S. Prasad, K.S. Deepika Santosh and S. Shivasaran, "Evaluation of in vitro antimicrobial and anti oxidant activities of peel and pulp of some Citrus", *Journal of Biotechnology and Biotherapeutics*, vol. 1, no. 2, 2011.
- [18] S. Chanthaphon, C. Supitchaya and H. Tipparat, "Antimicrobial activity of essential oil and crude extract from tropical Citrus sp against food-related micro-organisms", *Songklanakarin J. Sci. Technol*, vol. 30, no. 10, pp. 125-131, 2008.
- [19] S. G. Jai, J. D. Maruti, B. Chidamber, Jalkuta and D.S. Kailash, "Study of antimicrobial activity of Lemon (Citrus lemon L.) peel extract", *British Journal of Pharmacology and Toxicology*, vol. 2, no. 3, pp. 119-122, 2011.
- [20] K.F. Gulay, A. Tavmen, B. Dulger and G. Turker, "Antimicrobial activity of Turkish Citrus peel oils", *Pak. J. Bot*, vol. 4, no. 16, pp. 3207-3212, 2009.
- [21] M.O. Fatope and H. Ibrahim and Y. Takeda, "Screening of higher plants reputed as pesticides using the brine shrimp lethality assay", *International Journal of Pharmacognosy*, vol. 31, pp. 250 – 254, 1993.
- [22] J.B. Harbone, "Phytochemical Methods", *A guide to modern techniques of plant analysis*, 3rd Edn. Chapman and Hall Int. Edn, New York. 1998.
- [23] C.K. Kokate, "Pharmacognosy" 16th Edn. Nirali Prakashan, Mumbai, India. 2001.
- [24] E.O. Odebiyi and A.H. Ramstard, "Investigation Phytochemical Screening and Antimicrobial Screening of extracts of Tetracarpidium conophorum", *Journal of Chemical Society of Nigeria*, vol. 26, pp. 1, 1978.
- [25] P.G. Waterman, "Methods in plant Biochemistry", Academic Press 2, vol. 8, 1993.
- [26] M. Cheesbrough, "District Laboratory practice in Tropical countries", Cambridge University Press, London, vol. 2, pp. 137-140, 2002.
- [27] M. Cheesbrough, "District Laboratory practical in Tropical Countries", Cambridge University press, London, vol. 2, pp. 76 -100, 2000.
- [28] W.M. Kirby, A.W. Bauer, J.C. Sherris and M.C. Tenckhoff, "Antibiotic Susceptibility testing by a Standardised single disc method", *American Journal of Clinical pathology*, vol. 45: 493-496, 1996.
- [29] F. Khan and A. Saeed, "Antimicrobial potentials of the constituents of Symplocos irio", *Hamdard medicus*, vol. 3, no. 1, pp. 22-25, 2000.
- [30] P. Naranjo, "In Ethnobotany, evaluation of a discipline" (Ed. Rels, R. E. S. a. S. V). Press, Portland, pp. 363, 1995.
- [30] J. Ochei and A. Kolhatkar, "Medical Laboratory Science Theory and Practice", Copyright 2000 by Tata Mc.Graw-Hill Publishing Company Limited, pp. 801-804, 2008.
- [31] K.R. Vivek, S. Nondini, Shashadhara and S. Anitha, "Anti-typhoid activity of aqueous extract of fruit peel Citrus sinensis (L)", *International Journal of Pharma. Research and Development*, vol. 2 no. 9, pp. 031, 2010.
- [32] J. Sikkema, J.A.M. De Bront and B. Poolman, "Mechanisms of membrane toxicity of hydrocarbons", *Microb. Rev.* 59, pp. 201-222, 1995.

Screening and antibacterial activity analysis of some important medicinal plants

G. Senthilmurugan @ Viji, B. Vasanthe, and Kuru Suresh

Department of Botany,
Thiagarajar College of arts and science,
Madurai 09, Tamilnadu state, india

Copyright © 2013 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The screening and study of five different plant specimens belonging to different families for phytochemical constituents was performed using generally accepted laboratory technique for qualitative determinations. The constituents screened were saponins, combined anthraquinones, terpenoids, flavonoids, carotenoids, steroids, xantho proteins, coumarins, alkaloids, quinones, vitamin C. The distribution of these constituents in the plant specimens were assessed and compared. The medicinal plant studied were *Acalypha indica*, *Camellia sinensis*, *Plectranthus amboinicus*, *Curcuma longa*, *Rauvolfia tetraphylla*. All the plant specimens were found to contain terpenoids, xantho proteins, coumarins and vitamin C. They also contain Saponins (except *Curcuma longa*), Combined anthraquinones (except *Acalypha indica*, *Camellia sinensis*, *Curcuma longa*) flavonoids (except *Acalypha indica*, *Camellia sinensis*), Carotenoids (except *Acalypha indica*, *Curcuma longa*), and steroids (except *Plectranthus amboinicus*, *Rauvolfia tetraphylla*) Quinones were found in one out of the five specimens. Some of the medicinal plant seemed to have potential as source of useful drugs. Though the one percent extracts of all the plants showed some degree of antimicrobial activity, it was significant in *Acalypha indica*, *Camellia sinensis*, *Plectranthus amboinicus*, *Curcuma longa*, and *Rauvolfia tetraphylla*. The extract of *Camellia sinensis* and *Acalypha indica* was most effective against *Enterobacter faecalis* (ZI = 3 cm and ZI = 1.7cm) and *Camellia sinensis* and *Acalypha indica* was most effective against *Staphylococcus aureus* (ZI = 2.1 cm).

KEYWORDS: Botany, Plant extracts, Phytochemical screening, Medicinal plants, Antibacterial activity.

1 INTRODUCTION

Medicinal plants are natural sources of compounds that can be used against many diseases today (Kubmarawa et al., 2007). Since a variety of plants grow in every conceivable place, having access to them would require only previous knowledge of their location and certain unique characteristics, such as a plant's habit of growth. As such, plants can be obtained easily. This aspect would be vital in discovering medicinal plants with high biological activity, low toxicity and which are acquired at most people in developing countries resort to local traditional medicine due to lack of doctors in their communities and their financial incapability in purchasing market-based medicine. Hence, extensive research on the use of cheaper plant-based therapy is imperative nowadays. Through this study, the importance of the plant biodiversity in the country was also highlighted as a result of the dependence on them for medicinal purposes. Plants are the richest resource of drugs of traditional systems of medicine, modern medicines, nutraceuticals, food supplements, folk medicines, pharmaceutical intermediates and chemical entities for synthetic drugs (Hammer et al., 1999). The use of plants and plant products as medicines could be traced as far back as the beginning of human civilization. The earliest mention of medicinal use of plants in Hindu culture is found in "Rigveda", which is said to have been written between 4500 - 1600 B.C. and is supposed to be the oldest repository of human knowledge. It is Ayurveda, the therapy involves the use of plant extract and their active constituents (Akerle, 1993).

About 1500 plants are systematically used in indigenous system of medicine, like Ayurveda, Unani and Siddha. However, the ethno pharmacologists, botanists, microbiologists and natural-product chemists world over today, is constantly still in search of medicinal efficacy of plants and their phytochemicals, since the reported data so far available on plants are

comparatively meager before the vast number of plant population. The drugs which are already in use to treat infectious diseases is concern because, drug safety remains an enormous global issue. It was estimated that 2.22 million hospitalized patients had serious Adverse Drug Reactions (ADR) and 106,000 died in a single year in the USA. This Herbal and natural products have been used in folk medicine for centuries throughout the world, but there are relatively lower incidences of adverse reactions to plant preparations compared to modern conventional pharmaceuticals, this coupled with their reduced cost, is encouraging for both the consuming public and national health care institutions to consider plant medicines as alternatives to synthetic drugs (Nair et al., 2005). Knowledge of the chemical constituents of plants is desirable, not only for the discovery of therapeutic agents, but also because such information may be of value in disclosing new sources of such economic materials as tannins, oils, gums, precursors for the synthesis of complex chemical substances. In addition, the knowledge of the chemical constituents of plants would further be valuable in discovering the actual value of folkloric remedies (Mojab, Kamalinejad, Ghaderi and Vahidipour, 2003). Chemically constituents may be therapeutically active or inactive. The ones which are active are called active constituents and the inactive ones are called inert chemical constituents (Iyengar, 1995).

The principle aim of the present work was to study the screening and antibacterial activity of *Acalypha indica*, *Camellia sinensis*, *Plectranthus amboinicus*, *Curcuma longa*, *Rauvolfia tetraphylla* plant extracts in solvents like, absolute alcohol, most effective against both human and plant pathogenic bacteria including *Enterobacter faecalis*, and *Staphylococcus aureus*.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 PLANT MATERIAL

Fresh leaves of five different medicinal plants belonging to different families which are free from diseases were collected during the month of August to September, 2012 from Megamalai hills and different places of Manamadurai and Madurai. Taxonomic identification of the plants was carried out with the help of The Flora of Presidency of Madras (Gamble, 1935). The leaves of the medicinal plants *Acalypha indica*, *Camellia sinensis*, *Plectranthus amboinicus*, *Curcuma longa*, and *Rauvolfia tetraphylla* were used for the experiment.

2.2 IDENTIFICATION TESTS

The tests were done to find the presence of the active chemical constituents such as saponins, combined anthroquinones, terpenoids, flavonoids, carotenoids, steroids, xantho Proteins, coumarins, alkaloids, quinones and vitamin c by the following procedure.

Test for Saponins: 1 ml of leaf extract was separately boiled with 2 ml of distilled water in a water bath for 10minutes. The mixture was filtered while hot and allowed to cool. 2.5 ml of filtrate was diluted to 10ml with distilled water and shaken vigorously for 2minutes (frothing indicated the presence of saponins in the filtrate).

Test for Combined Anthraquinones: 1 ml of sample was boiled with 2 ml of 10 % hydrochloric acid for 5 mins. The mixture was filtered while hot and filtrate was allowed to cool. The cooled filtrate was partitioned against equal volume of chloroform gets separated and forms a layer above the filtrate. The chloroform layer was transferred into a clean dry test tube using a clean pipette. Equal volume of 10 % ammonia solution was added into the chloroform containing test tube. It was shaken and allowed to separate. The separated aqueous layer was observed for any colour change; delicate rose pink colour showed the presence of an anthraquinones.

Test for Terpenoids: 1 ml of leaf extract was mixed with 0.5 ml of chloroform. Then 1.5 ml of concentrated H_2SO_4 was added to form a layer. A reddish brown precipitate coloration at the interface formed indicated the presence of terpenoids.

Test for Flavonoids: 1ml of leaf extract was boiled with 5 ml of distilled water for 5 minutes and filtered while hot. Few drops of 20 % sodium hydroxide solution were added to 1 ml of the cooled filtrate. It changes in to a yellow colour which on addition of acid changed to colourless solution depicted the presence of flavonoids.

Test for carotenoids: 1 ml of leaf extract was mixed with 5 ml of chloroform in a test tube. It was shaken vigorously. The resulting mixture was filtered and 85 % sulphuric acid was added. A blue colour at the interface showed the presence of carotenoids.

Test for Steroids: 1 ml of leaf extract was dissolved in 5 ml of chloroform and equal volume of concentrated sulphuric acid was added by sides of the test tube. The upper layer turns red and sulphuric acid layer showed yellow with green fluorescence. This indicated the presence of steroids.

Test for Xantho Proteins: 1ml of leaf extract mixed with few drops of nitric acid then few drops of ammonia was added to its red colour formed. This indicated the presence of xantho proteins.

Coumarins: 1 ml of leaf extract was mixed with few drops of NaOH and 1 ml of alcohol was added formation of yellow colour indicates the presence of coumarins.

Alkaloids: Alkaloids are basic nitrogenous compounds with definite physiological and pharmacological activity. Alkaloid solution produces white yellowish precipitate when a few drops of Mayer's reagents are added (Siddiqui and Ali, 1997). Most alkaloids are precipitated from neutral or slightly acidic solution by Mayer's reagent (Evans, 2002). The alcoholic extract was evaporated to dryness and the residue was heated on a boiling water bath with 2% hydrochloric acid. After cooling, the mixture was filtered and treated with a few drops of Mayer's reagent. The samples were then observed for the presence of turbidity or green precipitation.

Quinones: 1 ml of leaf extract mixed with 2 ml of alcohol and 1 ml of KOH was added formation of blue colour indicates in the presence of quinones.

Test for Vitamin C: 1 ml of leaf extract add with 2ml of water was added. Then 0.1g of sodium bicarbonate and about 20mg of ferrous sulphate was added and shaken. Then it was allowed to for few minutes a deep violet colour is produced. Add 5ml of 1M sulphuric acid, the colour disappears.

2.3 ANTIBACTERIAL ASSAY

Nutrient Agar medium was prepared according to the manufacturer's instructions. The medium was sterilized by autoclaving at 121°C for 15 minutes at 15 psi pressure and was used for tests. Sterile nutrient agar medium was poured aseptically into sterile petridishes (15 ml each) and the plates were allowed to solidify at room temperature in sterile condition. After solidification 1 ml of bacterial culture *Enterobacter faecalis*, *Staphylococcus aureus* was placed on the medium. It was then spreaded over the surface of agar using 'L' rod. Four wells were bored on the agar surface using a cork borer. One well was filled with sterile water and remaining three wells were filled with extract of plants such as *Acalypha indica*, *Camellia sinensis*, *Plectranthus amboinicus*, *Curcuma longa*, and *Rauvolfia tetraphylla* respectively. The next day the zones of inhibition were measured with a measuring scale. This experiment was carried out in triplicate for their confirmation. The results were read by the presence or absence of zone of inhibition.

3 RESULTS

Table 1. is the scientific, family, English and local names of the medicinal plants that were screened for phytochemical constituents. The screening of these five different medicinal plant species namely *Acalypha indica*, *Camellia sinensis*, *Plectranthus amboinicus*, *Curcuma longa* and *Rauvolfia tetraphylla* for phytochemical constituent was performed using generally accepted laboratory technique for qualitative determinations.

Table 2. It should be noted that steroidal compounds are of importance and interest in pharmacy due to their relationship with such compounds as sex hormones. The study indicated that terpenoids, xantho proteins, coumarin and vitamin c compounds were present in all the medicinal plants. They also contain Saponins (except *Curcuma longa*), Combined anthroquinones (except *Acalypha indica*, *Camellia sinensis*, *Curcuma longa*) flavonoids (except *Acalypha indica*, *Camellia sinensis*), Carotenoids (except *Acalypha indica*, *Curcuma longa*), and steroids (except *Plectranthus amboinicus*, *Rauvolfia tetraphylla*) Quinones were found in one plant out of the five specimens.

Table 3. Though the one percent extracts of all the plants showed some degree of antibacterial activity, it was significant in *Acalypha indica*, *Camellia sinensis*, *Plectranthus amboinicus*, *Curcuma longa*, and *Rauvolfia tetraphylla*. The extract of *Camellia sinensis* and *Acalypha indica* was most effective against *Enterobacter faecalis* (ZI = 3 cm and ZI = 1.8 cm) and *Camellia sinensis* and *Acalypha indica* was most effective against *Staphylococcus aureus* (ZI = 2.1 cm and ZI = 1.7 cm). Green tea leaves and extracts have shown to be effective against bacteria responsible for bad breath. The tea component Epicatechin gallate is being researched because in vitro experiments showed it can reverse Methicillin resistance in bacteria like *Staphylococcus aureus*. Zone of inhibition of the individual plant extracts are shown.

4 TABLES AND FIGURES

4.1 TABLES

Table 1. Scientific, Family, English and Local names of the medicinal plants investigated

Scientific Name	Family Name	English Name	Local Name
Acalypha indica L.	Euphorbiaceae	Indian nettle	Kuppaimeni
Camellia sinensis (L.) Kuntze	Theaceae	Tea	Theilai
Plectranthus amboinicus (Lour.) Spreng.	Lamiaceae	Country borage	karpuravalli
Curcuma longa Linnaeus.	Zingiberaceae	Turmeric	Manjal
Rauvolfia tetraphylla L.	Apocynaceae	Wild snake root	Pampukaalaachchedi

Table 2. Result of the Phytochemical screening of the medicinal plants

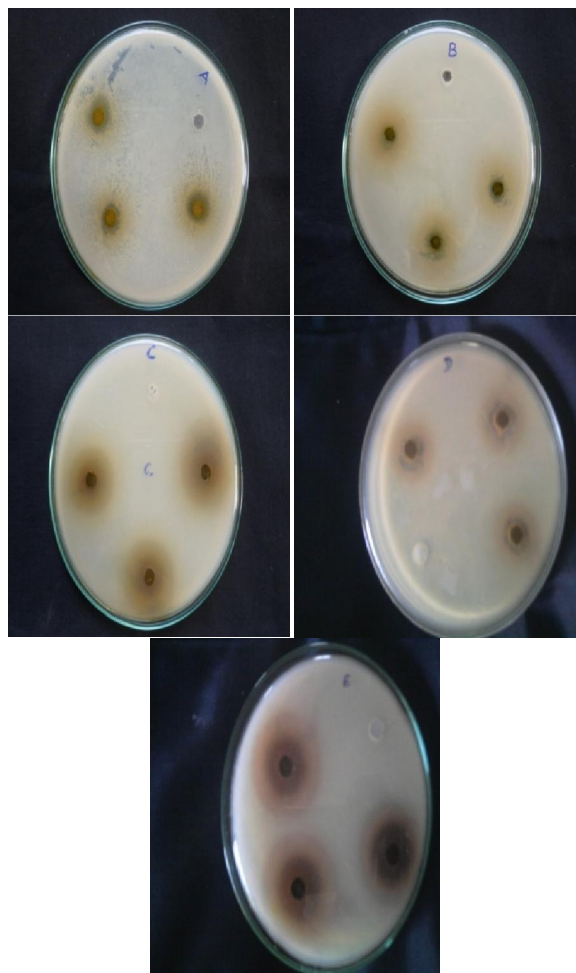
Plant name	Sap	Com Anth	Ter	Fla	Car	Ste	Xan pro	Cou	Alk	qui	Vit c
Acalypha indica L.	+	-	+	-	-	+	+	+	+	-	+
Camellia sinensis (L.) Kuntze	+	-	+	-	+	+	+	+	+	-	+
Plectranthus amboinicus (Lour.) Spreng.	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+
Curcuma longa Linnaeus.	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+
Rauvolfia tetraphylla L.	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+

a). Sap= saponins b). Com Anth= combined anthroquinones c). Ter= Terpenoids d). Fla= Flavonoids e). Car= Carotenoids, f). Ste= Steroids, g). Xan pro= Xantho proteins, h).Cou= Couramin i). Alk= Alkaloids j). Qui= Quinones k). Vit c.= Vitamin c, + = present, - = Absent.

Table 3. Zone of inhibition of individual plant extracts

Bacteria	Plants	1 % plant extract (Zone inhibition cm)
Enterobacter faecalis	Acalypha indica	1.8 cm
	Camellia sinensis	3 cm
	Curcuma longa	1.2 cm
	Plectranthus amboinicus	1.3 cm
	Rauvolfia tetraphylla.	1.3 cm
Staphylococcus aureus	Acalypha indica	1.7 cm
	Camellia sinensis	2.1 cm
	Curcuma longa	1.2 cm
	Plectranthus amboinicus	1.4 cm
	Rauvolfia tetraphylla.	1.5 cm

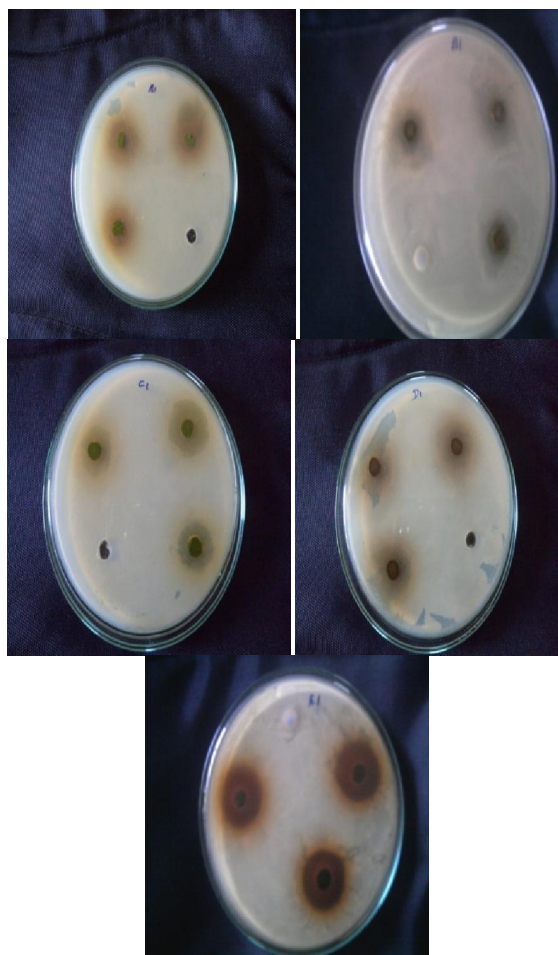
4.2 FIGURES



A=Curcuma longa, B=Rauvolfia tetraphylla, C=Acalypha indica, D=Plectranthus amboinicus, E=Camellia sinensis.

Fig. 1. Inhibition zone of five different family plant extract against *Enterobacter faecalis*

Fig. 1 shows the five different plant extract against *Enterobacter faecalis*



A=Curcuma longa, B=Rauvolfia tetraphylla, C=Acalypha indica, D=Plectranthus amboinicus, E=Camellia sinensis.

Fig. 2. Inhibition zone of five different family plant extract against *Staphylococcus aureus*.

Fig. 2 shows the five different plant extract against *Staphylococcus aureus*

5 CONCLUSION

The ethanolic extracts of the studied plants contained many bioactive chemical constituents including saponins, combined anthroquinones, terpenoids, flavonoids, carotenoids, steroids, xantho Proteins, coumarins, alkaloids, quinones and vitamin c. The extract of Camellia sinensis and Acalypha indica was most effective against *Enterobacter faecalis* (ZI = 3 cm and ZI = 1.7 cm) and Camellia sinensis and Acalypha indica was most effective against *Staphylococcus aureus* (ZI = 2.1 cm and 1.7 cm).

REFERENCES

- [1] A.A. Siddiqui, M. Ali, "Practical Pharmaceutical chemistry," 1st ed., CBS Publishers and Distributors, New Delhi, pp 126-131, 1997.
- [2] D. Kubmarawa, GA. Ajoku, NM. Enwerem, DA. Okorie, "Preliminary phytochemical and antimicrobial screening of 50 medicinal plants from Nigeria," *Afr. J. Biotechnol.* 6: 1690-1696, 2007.
- [3] F. Mojab, M Kamalinejad, N. Ghaderi, H. Vahidipour, "Phytochemical Screening of Some Iranian Plants," *Iranian Journal of Pharmaceutical Research.* pp 77-82, 2003.
- [4] J. S. Gamble, "The Flora of the Presidency of Madras," London: Adlard & Son, Ltd. London, 1935.
- [5] KA. Hammer, CF. Carson, TV. Riley, "Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts," *J. Appl. Microbiol.*, 86(6): 985, 1999.
- [6] MA. Iyengar, "Study of Crude Drugs," 8th ed., Manipal Power Press, Manipal, India. pp. 2, 1995.
- [7] O. Akerele, "Summary of WHO Guidelines for the Assessment of Herbal Medicines Herbal Gram," 22: 13-28, 1993.
- [8] R. Nair, T. Kalariya, S. Chanda, "Antibacterial activity of some selected Indian medicinal flora," *Turk. J. Biol.*, 29: 41-47, 2005.
- [9] WC. Evans, "Trease and Evan's Pharmacognosy," 5th ed. Haarcourt Brace And Company, pp. 336, 2002.

Estimation of Errors: Mathematical Expressions of Temperature, Substrate Concentration and Enzyme Concentration based Formulas for obtaining intermediate values of the Rate of Enzymatic Reaction

Nizam Uddin

M. B. Khalsa College,
Indore, Madhya Pradesh, India

Copyright © 2013 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This research paper is based on the estimation of errors in the formulas which are used to obtaining intermediate values of the rate of enzymatic reaction. The rate of enzymatic reaction is affected by concentration of substrate, Temperature, concentration of enzyme and other factors. The rise in Temperature accelerates an Enzyme reaction. At certain Temperature known as the optimum Temperature the activity is maximum. The concentration of substrate is the limiting factor, as the substrate concentration increases, the Enzyme reaction rate increases. Assuming a sufficient concentration of substrate is available, increasing Enzyme concentration will increase the enzymatic reaction rate. These formulas are derived from temperature, substrate concentration and enzyme concentration based mathematical functions. These formulas are used to obtaining intermediate values of the rate of enzymatic reaction. Formulas which are derived using Newton's method for interpolation are worked in conditions which are depending on the point lies. If the point lies in the upper half then used Newton's forward interpolation formula. If the point lies in the lower half then we used Newton's backward interpolation formula. And when the interval is not equally spaced then used Newton's divide difference interpolation formula. When the tabulated values of the function are not equidistant then used Lagrangian polynomial. Mathematical expressions are derived for estimation of errors using intermediate values and formulas. All expressions are worked in n limit which is the optimum limit.

KEYWORDS: Estimation of Errors, Intermediate values, Mathematical Expressions, Rate of enzymatic reaction.

1 INTRODUCTION

Temperature, concentration of substrate, concentration of enzyme and other factors are affected the rate of enzymatic reaction [1]. The rise in Temperature accelerates an Enzyme reaction but at the same time causes inactivation of the protein. At certain Temperature known as the optimum Temperature the activity is maximum. The concentration of substrate is the limiting factor, as the substrate concentration increases, the Enzyme reaction rate increases. Assuming a sufficient concentration of substrate is available, increasing Enzyme concentration will increase the enzymatic reaction rate. Temperature, concentration of substrate and concentration of enzyme are increased the rate of enzymatic reaction at a limit which is called optimum limit [2]. On the basis of this concept, there are three mathematical functions [1] [2]:

$$V = f(T)$$

$$V = f(S)$$

$$V = f(E)$$

Where V is the rate of enzymatic reaction, T is the temperature, S is the concentration of substrate and E is the concentration of enzyme. These functions are be in n intervals and n is the optimum limit [1]. Some formulas are derived on the basis of these functions using Newton's method for interpolation and Lagrangian polynomial. These formulas are used to obtaining intermediate values of the rate of enzymatic reaction. Formulas which are derived using Newton's method for interpolation are worked in conditions which are depending on the point lies. If the point lies in the upper half then used Newton's forward interpolation formula. If the point lies in the lower half then we used Newton's backward interpolation

formula. And when the interval is not equally spaced then used Newton's divide difference interpolation formula. When the tabulated values of the function are not equidistant then used Lagrangian polynomial [3]-[14].

2 FORMULAS FOR OBTAINING INTERMEDIATE VALUES OF V WITH TEMPERATURE

Let $V = f(T)$ be a function defined by n points $(T_0, V_0), (T_1, V_1), \dots, (T_n, V_n)$. Where V is the rate of reaction and T is the Temperature of reaction. And other factors are to be constant [1][2]. When $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ are equally spaced with interval h .

2.1 IF THE POINT LIES IN THE UPPER HALF

In this condition we used following formula [1]:

$$V(T) = V_0 + \Delta V_0(u) + \frac{\Delta^2 V_0}{2!}(u)(u-1) + \dots + \frac{\Delta^n V_0}{n!}(u)\{(u-1)\} \dots \{(u-n)\}$$

[Where Δ is forward difference operator and $\frac{T-T_0}{h} = u$]

2.1.1 ESTIMATION OF ERROR

Let $V = f(T)$ be a function defined by $(n+1)$ points $(T_0, V_0), (T_1, V_1), \dots, (T_n, V_n)$. When $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ are equally spaced with interval h and this function is continuous and differentiable $(n+1)$ times.

Let $V = f(T)$ be approximated by a polynomial $P_n(T)$ of degree not exceeding n such that

$$P_n(T_i) = V_i \quad [\text{Where } i = 1, 2, 3, \dots, n] \quad (1)$$

Since the expression $f(T) - P_n(T)$ vanishes for $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$,

$$\text{We put } f(T) - P_n(T) = K\phi(T) \quad (2)$$

$$\text{Where } \phi(T) = (T - T_0)(T - T_1) \dots (T - T_n) \quad (3)$$

And K is to be determined in such a way that equation (2) holds for any intermediate values of T , say $T - T'$ [where $T_0 \leq T' \leq T_n$].

Therefore from (2)

$$K = \frac{f(T') - P(T')}{\phi(T')} \quad (4)$$

Now we construct a function $f(T)$ such that

$$f(T_0) = f(T_1) - P_n(T) - K\phi(T)$$

Where K is given by equation (4).

It is clear that

$$f(T_0) = f(T_1) = f(T_2) = f(T_3) = \dots = f(T_n) = f(T') = 0 \quad (5)$$

Let $f(T)$ vanishes $(n+2)$ times in the interval $T_0 \leq T \leq T_n$; consequently, by the repeated application of Rolle's Theorem [15] [16], $f'(T)$ must vanish $(n+1)$ times, $f''(T)$ must vanish n times etc in the interval $T_0 \leq T \leq T_n$.

Particularly, $f^{(n+1)}(T)$ must vanish once in the interval $T_0 \leq T \leq T_n$. Let this point be $T = Z$, $T_0 < Z < T_n$.

Now differentiating equation (5) $(n + 1)$ times with respect to T and putting $T = Z$, we got:

$$f^{(n+1)}(Z) - K(n+1)! = 0$$

$$\text{Or } K = \frac{f^{(n+1)}(Z)}{(n+1)!} \quad (6)$$

Putting this value of K in equation (4), we got:

$$\frac{f^{(n+1)}(Z)}{(n+1)!} = \frac{f(T') - P_n(T')}{\phi(T')}$$

$$\text{Or } f(T') - P_n(T') = \frac{f^{(n+1)}(Z)}{(n+1)!} \phi(T'), \quad T_0 < Z < T_n$$

Since T' is arbitrary therefore on dropping the prime on T' we got:

$$f(T) - P_n(T) = \frac{f^{(n+1)}(Z)}{(n+1)!} \phi(T), \quad T_0 < Z < T_n \quad (7)$$

Now we use Taylor's theorem [17] [18]:

$$f(T+h) = f(Z) + hf'(Z) + \frac{h^2}{2!} f''(Z) + \dots + \frac{h^n}{n!} f^n(Z) + \dots \quad (8)$$

Neglecting the terms containing second and higher powers of h in equation (8), we got:

$$f(Z+h) = f(Z) + hf'(Z)$$

$$\text{Or } f'(Z) = \frac{f(Z+h) - f(Z)}{h} \quad (9)$$

$$\text{Or } f'(Z) = \frac{1}{h} \Delta f(Z) \quad [\because \Delta f(T+h) = f(T)]$$

$$Df(Z) = \frac{1}{h} \Delta f(Z) \quad [\because D = \frac{d}{dZ}]$$

$$D = \frac{1}{h} \Delta \quad [\text{Because } f(Z) \text{ is arbitrary}]$$

$$\therefore D^{n+1} = \frac{1}{h^{n+1}} \Delta^{n+1}$$

From equation (9), we got:

$$f^{(n+1)}(Z) = \frac{1}{h^{(n+1)}} \Delta^{(n+1)} f(Z)$$

Putting the values of $f^{(n+1)}(Z)$ in equation (7), we got

$$f(T) - P_n(T) = \left[\frac{\phi(T)}{(n+1)!} \right] \left[\frac{1}{h^{(n+1)}} \Delta^{(n+1)} f(Z) \right]$$

$$f(T) - P_n(T) = \left[\frac{(T-T_0)(T-T_1)(T-T_2)\dots(T-T_n)}{(n+1)!} \right] \left[\frac{1}{h^{(n+1)}} \Delta^{(n+1)} f(Z) \right] \quad (10)$$

$$\text{If } \frac{T - T_0}{h} = u$$

Then

$$T - T_0 = hu$$

$$T - T_1 = T - (T_0 + h) = (T - T_0) - h = (hu - h) = h(u - 1)$$

$$\text{Similarly } T - T_2 = h(u - 2)$$

:
:
:

$$\text{Similarly } T - T_n = h(u - n)$$

Putting these values in equation (10), we got:

$$f(T) - P_n(T) = \left[\frac{(hu)\{h(u-1)\}\{h(u-2)\}\{h(u-3)\}.....\{h(u-n)\}}{(n+1)!} \right] \left[\frac{1}{h^{(n+1)}} \Delta^{(n+1)} f(Z) \right]$$

$$f(T) - P_n(T) = \left[\frac{u(u-1)(u-2)(u-3).....(u-n)}{(n+1)!} \right] \left[\Delta^{(n+1)} f(Z) \right]$$

This is mathematical expression for estimation of error, if the point lies in the upper half.

2.2 IF THE POINT LIES IN THE LOWER HALF

In this condition we used following formula [1]:

$$V(T) = V_n + \nabla V_n(z) + \frac{\nabla^2 V_n}{2!} [z(z+1)] + + \frac{\nabla^n V_n}{n!} [z\{z+1\}..z+(n-1)]$$

[Where ∇ is backward difference operator and $\frac{T - T_n}{h} = z$]

2.2.1 ESTIMATION OF ERROR

Let $V = f(T)$ be a function defined by $(n+1)$ points $(T_0, V_0), (T_1, V_1), (T_n, V_n)$. When T_1, T_2, T_3, T_n are equally spaced with interval h and this function is continuous and differentiable $(n+1)$ times.

Let $V = f(T)$ be approximated by a polynomial $P_n(T)$ of degree not exceeding n such that

$$P_n(T_i) = V_i \quad [\text{Where } i = 1, 2, 3, n] \quad (11)$$

Since the expression $f(T) - P_n(T)$ vanishes for T_1, T_2, T_3, T_n,

$$\text{We put } f(T) - P_n(T) = K\phi(T) \quad (12)$$

$$\text{Where } \phi(T) = (T - T_n)(T - T_{n-1}).....(T - T_0) \quad (13)$$

And K is to be determined in such a way that equation (12) holds for any intermediate values of T , say $T - T'$ [where $T_0 \leq T' \leq T_n$].

Therefore from equation (12),

$$K = \frac{f(T') - P(T')}{\varphi_1(T')} \quad (14)$$

Now we construct a function $f(T)$ such that

$$f(T_0) = f(T_1) - P_n(T) - K\varphi_1(T)$$

Where K is given by equation (14).

It is clear that

$$f(T_0) = f(T_1) = f(T_2) = f(T_3) = \dots \dots \dots f(T_n) = f(T') = 0 \quad (15)$$

Let $f(T)$ vanishes $(n+2)$ times in the interval $T_0 \leq T \leq T_n$; consequently, by the repeated application of Rolle's Theorem [15] [16], $f'(T)$ must vanish $(n+1)$ times, $f''(T)$ must vanish n times etc in the interval $T_0 \leq T \leq T_n$.

Particularly, $f^{(n+1)}(T)$ must vanish once in the interval $T_0 \leq T \leq T_n$. Let this point be $T = Y$, $T_0 < Y < T_n$.

Now differentiating equation (15) $(n+1)$ times with respect to T and putting $T = Y$, we got:

$$f^{(n+1)}(Y) - K(n+1)! = 0$$

$$\text{Or} \quad K = \frac{f^{(n+1)}(Y)}{(n+1)!} \quad (16)$$

Putting this value of K in equation (14), we got:

$$\frac{f^{(n+1)}(Y)}{(n+1)!} = \frac{f(T') - P_n(T')}{\varphi_1(T')}$$

$$\text{Or} \quad f(T') - P_n(T') = \frac{f^{(n+1)}(Y)}{(n+1)!} \varphi_1(T'), \quad T_0 < Y < T_n$$

Since T' is arbitrary therefore on dropping the prime on T' we got:

$$f(T) - P_n(T) = \frac{f^{(n+1)}(Y)}{(n+1)!} \varphi_1(T), \quad T_0 < Y < T_n \quad (17)$$

Now we use Taylor's theorem [17] [18]:

$$f(T+h) = f(Y) + hf'(Y) + \frac{h^2}{2!} f''(Y) + \dots \dots \dots + \frac{h^n}{n!} f^{(n)}(Y) + \dots \quad (18)$$

Neglecting the terms containing second and higher powers of h in equation (18), we got:

$$f(Y+h) = f(Y) + hf'(Y)$$

$$\text{Or} \quad f'(Z) = \frac{f(Y+h) - f(Y)}{h} \quad (19)$$

$$\text{Or} \quad f'(Z) = \frac{1}{h} \Delta f(Y) \quad [\because \Delta f(T+h) = f(T+h) - f(T)]$$

$$Df(Y) = \frac{1}{h} \Delta f(Y) \quad [\because D = \frac{d}{dY}]$$

$$D = \frac{1}{h} \Delta \quad [\text{Because } f(Y) \text{ is arbitrary}]$$

$$\therefore D^{n+1} = \frac{1}{h^{n+1}} \Delta^{n+1}$$

From equation (19), we got:

$$f^{(n+1)}(Y) = \frac{1}{h^{(n+1)}} \Delta^{(n+1)} f(Y)$$

Putting the values of $f^{(n+1)}(Y)$ in equation (17), we got:

$$f(T) - P_n(T) = \left[\frac{\phi_1(T)}{(n+1)!} \right] \left[\frac{1}{h^{(n+1)}} \Delta^{(n+1)} f(Y) \right]$$

$$f(T) - P_n(T) = \left[\frac{(T-T_0)(T-T_1)(T-T_2)\dots\dots(T-T_n)}{(n+1)!} \right] \left[\frac{1}{h^{(n+1)}} \Delta^{(n+1)} f(Y) \right] \quad (20)$$

$$\text{If } \frac{T - T_n}{h} = z$$

Then

$$T - T_n = hz$$

$$T - T_{n-1} = T - (T_n - h) = (T - T_n) + h = (hz + h) = h(z+1)$$

$$\text{Similarly } T - T_{n-2} = h(z+2)$$

:
:
:

$$\text{Similarly } T - T_0 = h(z+n)$$

Putting these values in equation (20), we got:

$$f(T) - P_n(T) = \left[\frac{(hz)\{h(z-1)\}\{h(z-2)\}\{h(z-3)\}\dots\dots\{(z-n)\}}{(n+1)!} \right] \left[\frac{1}{h^{(n+1)}} \Delta^{(n+1)} f(Y) \right]$$

This is mathematical expression for estimation of error, if the point lies in the lower half.

2.3 IF INTERVALS ARE NOT BE EQUALLY SPACED

In this condition we used following formula [1]:

$$V(T) = V_1 + \Delta_d V_1(T - T_1) + \Delta_d^2 V_1(T - T_1)(T - T_2) + \dots + \Delta_d^n V_1[(T - T_1)(T - T_2)\dots(T - T_n)]$$

[Where Δ_d is divide difference operator]

2.3.1 ESTIMATION OF ERROR

Let $f(T)$ be a real-valued function define n interval and $(n+1)$ times differentiable on (a, b) . If $P_n(T)$ is the polynomial. Which interpolates $f(T)$ at the $(n+1)$ distinct points $T_0, T_1, \dots, T_n \in (a, b)$, then for all $\bar{T} \in [a, b]$, there exists $\xi = \xi(\bar{T}) \in (a, b)$

$$\begin{aligned} e_n(\bar{T}) &= f(\bar{T}) - P_n(\bar{T}) \\ &= \frac{f^{(n+1)}(\xi)}{(n+1)!} \prod_{j=0}^n (\bar{T} - T_j) \end{aligned} \quad (21)$$

This is mathematical expression for estimation of error, if intervals are not be equally spaced.

2.4 WHEN THE TABULATED VALUES OF THE FUNCTION ARE NOT EQUIDISTANT

In this condition we used following formula [2]:

$$V(T) = \sum_{i=1}^n V_i \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{(T - T_j)}{(T_i - T_j)}$$

2.4.1 ESTIMATION OF ERROR

Since the approximating polynomial $f(T)$ given by Lagrangian formula has the same values $f(T_0) f(T_1) f(T_2) f(T_3) f(T_4) \dots f(T_n)$ as does $V = f(T)$ for the arguments $T_0, T_1, T_2, T_3, T_4, \dots, T_n$ the error term must have zeros at these $(n+1)$ points.

Therefore $(T - T_0) (T - T_1) (T - T_2) (T - T_3) \dots (T - T_n)$ must be factors of the error and we can write:

$$F(T) = f(T) + \frac{(T - T_0)(T - T_1)(T - T_2)(T - T_3) \dots (T - T_n)}{(n+1)!} K(T) \quad (22)$$

Let T to be fixed in value and consider the function

$$W(x) = F(x) - f(x) \frac{(x - T_0)(x - T_1)(x - T_2)(x - T_3) \dots (x - T_n)}{(n+1)!} K(T) \quad (23)$$

Then $W(x)$ has zero $x = T_0, T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ and T .

Since the $(n+1)^{th}$ derivative of the n^{th} degree polynomial $f(T)$ is zero.

$$W^{(n+1)}(x) = F^{(n+1)}(x) - K(T) \quad (24)$$

As a consequence of Rolle's Theorem [15] [16], the $(n+1)^{th}$ derivative of $W(x)$ has at least one real zero $x = \xi$ in the range $T_0 < \xi < T_n$

Therefore substituting $x = \xi$ in equation (24)

$$W^{(n+1)}(\xi) = F^{(n+1)}(\xi) - K(T)$$

Or

$$\begin{aligned} K(T) &= F^{(n+1)}(\xi) - W^{(n+1)}(\xi) \\ &= F^{(n+1)}(\xi) \end{aligned}$$

Using this expression for $K(T)$ and writing out $f(T)$

$$f(T) = \frac{(T-T_1)(T-T_2)\dots(T-T_n)}{(T_0-T_1)(T_0-T_2)\dots(T_0-T_n)} f(T_0) + \frac{(T-T_0)(T-T_2)\dots(T-T_n)}{(T_1-T_0)(T_1-T_2)\dots(T_1-T_n)} f(T_1) + \dots$$

$$\dots + \frac{(T-T_0)(T-T_1)\dots(T-T_{n-1})}{(T_n-T_0)(T_n-T_1)\dots(T_n-T_{n-1})} f(T_n) + \frac{(T-T_0)(T-T_1)\dots(T-T_n)}{(n+1)!} f^{(n+1)}(\xi)$$

Where $T_0 < \xi < T_n$

This is mathematical expression for estimation of error, if the tabulated values of the function are not equidistant.

3 FORMULAS FOR OBTAINING INTERMEDIATE VALUES OF V WITH CONCENTRATION OF SUBSTRATE

Let $V = f(S)$ be a function defined by n points $(S_0, V_0), (S_1, V_1), \dots, (S_n, V_n)$. When $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ are equally spaced with interval h . Where V is the rate of enzymatic reaction and S is the concentration of substrate. And other factors are be constant [1] [2].

3.1 IF THE POINT LIES IN THE UPPER HALF

In this condition we used following formula [1]:

$$V(S) = V_0 + \Delta V_0(w) + \frac{\Delta^2 V_0}{2!}(w)(w-1) + \dots + \frac{\Delta^n V_0}{n!}[(w)\{(w-1)\} \dots \{(w-n)\}]$$

[Where Δ is forward difference operator and $\frac{S-S_0}{h} = w$]

3.1.1 ESTIMATION OF ERROR

Let $V = f(S)$ be a function defined by $(n+1)$ points $(S_0, V_0), (S_1, V_1), \dots, (S_n, V_n)$. When $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ are equally spaced with interval h and this function is continuous and differentiable $(n+1)$ times.

Let $V = f(S)$ be approximated by a polynomial $P_n(S)$ of degree not exceeding n such that

$$P_n(S_i) = V_i \quad [\text{Where } i = 1, 2, 3, \dots, n] \quad (25)$$

Since the expression $f(S) - P_n(S)$ vanishes for $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$,

$$\text{We put } f(S) - P_n(S) = K\phi(S) \quad (26)$$

$$\text{Where } \phi(S) = (S-S_0)(S-S_1)\dots(S-S_n) \quad (27)$$

And K is to be determined in such a way that equation (26) holds for any intermediate values of S' , say $S' = S'$ [where $S_0 \leq S' \leq S_n$].

Therefore from equation (26)

$$K = \frac{f(S') - P(S')}{\phi(S')} \quad (28)$$

Now we construct a function $f(S)$ such that

$$f(S_0) = f(S_1) - P_n(S) - K\phi(S)$$

Where K is given by equation (27).

It is clear that:

$$f(S_0) = f(S_1) = f(S_2) = f(S_3) = \dots = f(S_n) = f(S') = 0 \quad (29)$$

Let $f(S)$ vanishes $(n+2)$ times in the interval $S_0 \leq S \leq S_n$; consequently, by the repeated application of Rolle's Theorem [15] [16], $f'(S)$ must vanish $(n+1)$ times, $f''(S)$ must vanish n times etc in the interval $S_0 \leq S \leq S_n$.

Particularly, $f^{(n+1)}(S)$ must vanish once in the interval $S_0 \leq S \leq S_n$. Let this point be $S = Q$, $S_0 \leq S \leq S_n$.

Now differentiating equation (29) $(n+1)$ times with respect to S and putting $S = Q$, we got:

$$f^{(n+1)}(Q) - K(n+1)! = 0$$

$$\text{Or} \quad K = \frac{f^{(n+1)}(Q)}{(n+1)!} \quad (30)$$

Putting this value of K in equation (28), we got:

$$\frac{f^{(n+1)}(Q)}{(n+1)!} = \frac{f(S') - P_n(S')}{\phi(S')}$$

$$\text{Or} \quad f(S') - P_n(S') = \frac{f^{(n+1)}(Q)}{(n+1)!} \phi(S'), \quad S_0 < S < S_n$$

Since S' is arbitrary therefore on dropping the prime on S' we got:

$$f(S) - P_n(S) = \frac{f^{(n+1)}(Q)}{(n+1)!} \phi(S), \quad S_0 < S < S_n \quad (31)$$

Now we use Taylor's theorem [17] [18]:

$$f(S+h) = f(Q) + hf'(Q) + \frac{h^2}{2!} f''(Q) + \dots + \frac{h^n}{n!} f^n(Q) + \dots \quad (32)$$

Neglecting the terms containing second and higher powers of h in equation (32), we got:

$$f(Q+h) = f(Q) + hf'(Q)$$

$$\text{Or} \quad f'(Q) = \frac{f(Q+h) - f(Q)}{h} \quad (33)$$

$$\text{Or} \quad f'(Q) = \frac{1}{h} \Delta f(Q) \quad [\because \Delta f(S+h) = f(S)]$$

$$Df(Q) = \frac{1}{h} \Delta f(Q) \quad [\because D = \frac{d}{dQ}]$$

$$D = \frac{1}{h} \Delta \quad [\text{Because } f(Q) \text{ is arbitrary}]$$

$$\therefore D^{n+1} = \frac{1}{h^{n+1}} \Delta^{n+1}$$

From equation (33), we got:

$$f^{(n+1)}(Q) = \frac{1}{h^{(n+1)}} \Delta^{(n+1)} f(Q)$$

Putting the values of $f^{(n+1)}(Q)$ in equation (31), we got

$$f(S) - P_n(S) = \left[\frac{\varphi(S)}{(n+1)!} \right] \left[\frac{1}{h^{(n+1)}} \Delta^{(n+1)} f(Q) \right]$$

$$f(S) - P_n(S) = \left[\frac{(S-S_0)(S-S_1)(S-S_2)\dots(S-S_n)}{(n+1)!} \right] \left[\frac{1}{h^{(n+1)}} \Delta^{(n+1)} f(Q) \right] \quad (34)$$

$$\text{If } \frac{S-S_0}{h} = r$$

Then

$$S - S_0 = hr$$

$$S - S_1 = S - (S_0 + h) = (S - S_0) - h = (hr - h) = h(r - 1)$$

$$\text{Similarly } S - S_2 = h(r - 2)$$

:

:

:

$$\text{Similarly } S - S_n = h(r - n)$$

Putting these values in equation (34), we got:

$$f(S) - P_n(S) = \left[\frac{(hr)\{h(r-1)\}\{h(r-2)\}\{h(r-3)\}\dots\{h(r-n)\}}{(n+1)!} \right] \left[\frac{1}{h^{(n+1)}} \Delta^{(n+1)} f(Q) \right]$$

$$f(S) - P_n(S) = \left[\frac{r(r-1)(r-2)(r-3)\dots(r-n)}{(n+1)!} \right] \left[\Delta^{(n+1)} f(Q) \right]$$

This is mathematical expression for estimation of error, if the point lies in the upper half.

3.2 IF THE POINT LIES IN THE LOWER HALF

In this condition we used following formula [1]:

$$V(S) = V_n + \nabla V_n(J) + \frac{\nabla^2 V_n}{2!} [\{J(J+1)\}] + \dots + \frac{\nabla^n V_n}{n!} [(J)\{(J+1)\} \dots \{J+(n-1)\}]$$

$$[\text{Where } \nabla \text{ is backward difference operator and } \frac{S-S_n}{h} = J]$$

3.2.1 ESTIMATION OF ERROR

Let $V = f(S)$ be a function defined by $(n+1)$ points $(S_0, V_0), (S_1, V_1), \dots, (S_n, V_n)$. When $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ are equally spaced with interval h and this function is continuous and differentiable $(n+1)$ times.

Let $V = f(S)$ be approximated by a polynomial $P_n(S)$ of degree not exceeding n such that

$$P_n(S_i) = V_i \quad [\text{Where } i = 1, 2, 3, \dots, n] \quad (35)$$

Since the expression $f(S) - P_n(S)$ vanishes for $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$,

$$\text{We put } f(S) - P_n(S) = K\varphi(S) \quad (36)$$

$$\text{Where } \varphi(S) = (S - S_0)(S - S_1) \dots (S - S_n) \quad (37)$$

And K is to be determined in such a way that equation (36) holds for any intermediate values of S , say $S - S'$ [where $S_0 \leq S' \leq S_n$].

Therefore from (2)

$$K = \frac{f(S') - P(S')}{\varphi_1(S')} \quad (38)$$

Now we construct a function $f(S)$ such that

$$f(S_0) = f(S_1) = P_n(S) - K\varphi_1(S)$$

Where K is given by equation (37).

It is clear that

$$f(S_0) = f(S_1) = f(S_2) = f(S_3) = \dots f(S_n) = f(S') = 0 \quad (39)$$

Let $f'(S)$ vanishes $(n+2)$ times in the interval $S_0 \leq S \leq S_n$; consequently, by the repeated application of Rolle's Theorem [15][16], $f'(S)$ must vanish $(n+1)$ times, $f''(S)$ must vanish n times etc in the interval $S_0 \leq S \leq S_n$.

Particularly, $f^{(n+1)}(S)$ must vanish once in the interval $S_0 \leq S \leq S_n$. Let this point be $S = R$, $S_0 \leq S \leq S_n$.

Now differentiating equation (39) $(n+1)$ times with respect to S and putting $S = R$, we got:

$$f^{(n+1)}(R) - K(n+1)! = 0$$

$$\text{Or} \quad K = \frac{f^{(n+1)}(R)}{(n+1)!} \quad (40)$$

Putting this value of K in equation (38), we got:

$$\frac{f^{(n+1)}(R)}{(n+1)!} = \frac{f(S') - P_n(S')}{\varphi_1(S')}$$

$$\text{Or} \quad f(S') - P_n(S') = \frac{f^{(n+1)}(R)}{(n+1)!} \varphi_1(S'), \quad S_0 < S < S_n$$

Since S' is arbitrary therefore on dropping the prime on S' we got:

$$f(S) - P_n(S) = \frac{f^{(n+1)}(R)}{(n+1)!} \varphi_1(S), \quad S_0 < S < S_n \quad (41)$$

Now we use Taylor's theorem [17][18]:

$$f(S+h) = f(R) + hf'(R) + \frac{h^2}{2!} f''(R) + \dots + \frac{h^n}{n!} f^n(R) + \dots \quad (42)$$

Neglecting the terms containing second and higher powers of h in equation (42), we got:

$$f(R+h) = f(R) + hf'(R)$$

$$\text{Or} \quad f'(R) = \frac{f(R+h) - f(R)}{h} \quad (43)$$

Or

$$f'(R) = \frac{1}{h} \Delta f(R) \quad [\because \Delta f(S+h)f(S)]$$

$$Df(R) = \frac{1}{h} \Delta f(R) \quad [\because D = \frac{d}{dR}]$$

$$D = \frac{1}{h} \Delta \quad [\text{Because } f(R) \text{ is arbitrary}]$$

$$\therefore D^{n+1} = \frac{1}{h^{n+1}} \Delta^{n+1}$$

From equation (43), we got:

$$f^{(n+1)}(R) = \frac{1}{h^{(n+1)}} \Delta^{(n+1)} f(R)$$

Putting the values of $f^{(n+1)}(R)$ in equation (41), we got

$$f(S) - P_n(S) = \left[\frac{\varphi_1(S)}{(n+1)!} \right] \left[\frac{1}{h^{(n+1)}} \Delta^{(n+1)} f(R) \right]$$

$$f(S) - P_n(S) = \left[\frac{(S-S_0)(S-S_1)(S-S_2)\dots(S-S_n)}{(n+1)!} \right] \left[\frac{1}{h^{(n+1)}} \Delta^{(n+1)} f(R) \right] \quad (44)$$

If $\frac{S-S_n}{h} = J$

Then

$$S - S_n = hJ$$

$$S - S_{n-1} = S - (S_n - h) = (S - S_n) + h = (hJ + h) = h(J+1)$$

Similarly $S - S_{n-2} = h(J+2)$

:

:

:

Similarly $S - S_0 = h(J+n)$

Putting these values in equation (44), we got:

$$f(S) - P_n(S) = \left[\frac{(hJ)\{h(J-1)\}\{h(J-2)\}\{h(J-3)\}\dots\{h(J-n)\}}{(n+1)!} \right] \left[\frac{1}{h^{(n+1)}} \Delta^{(n+1)} f(R) \right]$$

$$f(S) - P_n(S) = \left[\frac{J(J-1)(J-2)(J-3)\dots(J-n)}{(n+1)!} \right] \left[\Delta^{(n+1)} f(R) \right]$$

This is mathematical expression for estimation of error, if the point lies in the lower half.

3.3 IF INTERVALS ARE NOT BE EQUALLY SPACED

In this condition we used following formula [1]:

$$V(S) = V_1 + \Delta_d V_1(S-S_1) + \Delta_d^2 V_1(S-S_1)(S-S_2) + \dots + \Delta_d^n V_1[(S-S_1)(S-S_2)\dots(S-S_n)]$$

[Where Δ_d is divide difference operator]

3.3.1 ESTIMATION OF ERROR

Let $f(S)$ be a real-valued function define n interval and $(n+1)$ times differentiable on (a, b) . If $P_n(S)$ is the polynomial. Which interpolates $f(S)$ at the $(n+1)$ distinct points $S_0, S_1, \dots, S_n \in (a, b)$, then for all $\bar{T} \in [a, b]$, there exists $\xi = \xi(\bar{S}) \in (a, b)$

$$\begin{aligned} e_n(\bar{S}) &= f(\bar{S}) - P_n(\bar{S}) \\ &= \frac{f^{(n+1)}(\xi)}{(n+1)!} \prod_{j=0}^n (\bar{S} - S_j) \end{aligned} \quad (45)$$

This is mathematical expression for estimation of error, if intervals are not be equally spaced.

3.4 WHEN THE TABULATED VALUES OF THE FUNCTION ARE NOT EQUIDISTANT

In this condition we used following formula [2]:

$$V(S) = \sum_{i=1}^n V_i \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{(S-S_j)}{(S_i-S_j)}$$

3.4.1 ESTIMATION OF ERROR

Since the approximating polynomial $f(S)$ given by Lagrangian formula has the same values $f(S_0) f(S_1) f(S_2) f(S_3) f(S_4) \dots \dots \dots f(S_n)$ as does $V = f(S)$ for the arguments $S_0, S_1, S_2, S_3, S_4 \dots \dots \dots, S_n$ the error term must have zeros at these $(n+1)$ points.

Therefore $(S-S_0)(S-S_1)(S-S_2)(S-S_3) \dots \dots \dots (S-S_n)$ must be factors of the error and we can write:

$$F(S) = f(S) + \frac{(S-S_0)(S-S_1)(S-S_2)(S-S_3) \dots \dots \dots (S-S_n)}{(n+1)!} K(S) \quad (46)$$

Let S to be fixed in value and consider the function

$$W(x) = F(x) - f(x) - \frac{(x-S_0)(x-S_1)(x-S_2)(x-S_3) \dots \dots \dots (x-S_n)}{(n+1)!} K(S) \quad (47)$$

Then $W(x)$ has zero $x = S_0, S_1, S_2, S_3, \dots \dots \dots S_n$ and S .

Since the $(n+1)^{th}$ derivative of the n^{th} degree polynomial $f(S)$ is zero.

$$W^{(n+1)}(x) = F^{(n+1)}(x) - K(S) \quad (48)$$

As a consequence of Rolle's Theorem [15] [16], the $(n+1)^{th}$ derivative of $W(x)$ has at least one real zero $x = \xi$ in the range $S_0 < \xi < S_n$

Therefore substituting $x = \xi$ in equation (48)

$$W^{(n+1)}(\xi) = F^{(n+1)}(\xi) - K(S)$$

Or

$$\begin{aligned} K(S) &= F^{(n+1)}(\xi) - W^{(n+1)}(\xi) \\ &= F^{(n+1)}(\xi) \end{aligned}$$

Using this expression for $K(S)$ and writing out $f(S)$

$$f(S) = \frac{(S-S_1)(S-S_2)\dots(S-S_n)}{(S_0-S_1)(S_0-S_2)\dots(S_0-S_n)} f(S_0) + \frac{(S-S_0)(S-S_2)\dots(S-S_n)}{(S_1-S_0)(S_1-S_2)\dots(S_1-S_n)} f(S_1) + \dots + \frac{(S-S_0)(S-S_1)\dots(S-S_{n-1})}{(S_n-S_0)(S_n-S_1)\dots(S_n-S_{n-1})} f(S_n) + \frac{(S-S_0)(S-S_1)\dots(S-S_n)}{(n+1)!} f^{(n+1)}(\xi)$$

Where $S_0 < \xi < S_n$

This is mathematical expression for estimation of error, if the tabulated values of the function are not equidistant.

4 FORMULAS FOR OBTAINING INTERMEDIATE VALUES OF V WITH CONCENTRATION OF ENZYME

Let $V = f(E)$ be a function defined by n points $(E_0, V_0), (E_1, V_1), \dots, (E_n, V_n)$. When $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$ are equally spaced with interval h . Where V is the rate of enzymatic reaction and E is the concentration of enzyme. And other factors are be constant [1] [2].

4.1 IF THE POINT LIES IN THE UPPER HALF

In this condition we used following formula [1]:

$$V(E) = V_0 + \Delta V_0(X) + \frac{\Delta^2 V_0}{2!}(X)(X-1) + \dots + \frac{\Delta^n V_0}{n!}(X)(X-1)\dots(X-n)$$

[Where Δ is forward difference operator and $\frac{E-E_0}{h} = X$]

4.1.1 ESTIMATION OF ERROR

Let $V = f(E)$ be a function defined by $(n+1)$ points $(E_0, V_0), (E_1, V_1), \dots, (E_n, V_n)$. When $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$ are equally spaced with interval h and this function is continuous and differentiable $(n+1)$ times.

Let $V = f(E)$ be approximated by a polynomial $P_n(E)$ of degree not exceeding n such that

$$P_n(E_i) = V_i \quad [\text{Where } i = 1, 2, 3, \dots, n] \quad (49)$$

Since the expression $f(E) - P_n(E)$ vanishes for $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$,

$$\text{We put } f(E) - P_n(E) = K\phi(E) \quad (50)$$

$$\text{Where } \phi(E) = (E-E_0)(E-E_1)\dots(E-E_n) \quad (51)$$

And K is to be determined in such a way that equation (50) holds for any intermediate values of E , say $E - E'$ [where $E_0 \leq E' \leq E_n$].

Therefore from (50)

$$K = \frac{f(E') - P(E')}{\phi(E')} \quad (52)$$

Now we construct a function $f(E)$ such that

$$f(E_0) = f(E_1) - P_n(E) - K\phi(E)$$

Where K is given by equation (52).

$$\text{It is clear that: } f(E_0) = f(E_1) = f(E_2) = f(E_3) = \dots = f(E_n) = f(E') = 0 \quad (53)$$

Let $f(E)$ vanishes $(n+2)$ times in the interval $E_0 \leq E \leq E_n$; consequently, by the repeated application of Rolle's Theorem [15] [16], $f'(E)$ must vanish $(n+1)$ times, $f''(E)$ must vanish n times etc in the interval $E_0 \leq E \leq E_n$.

Particularly, $f^{(n+1)}(E)$ must vanish once in the interval $E_0 \leq E \leq E_n$. Let this point be $E = R$, $E_0 \leq E \leq E_n$.

Now differentiating equation (53) $(n+1)$ times with respect to E and putting $E = R$, we got:

$$f^{(n+1)}(R) - K(n+1)! = 0$$

$$\text{Or } K = \frac{f^{(n+1)}(R)}{(n+1)!} \quad (54)$$

Putting this value of K in equation (52), we got:

$$\frac{f^{(n+1)}(R)}{(n+1)!} = \frac{f(E') - P_n(E')}{\phi(E')}$$

$$\text{Or } f(E') - P_n(E') = \frac{f^{(n+1)}(R)}{(n+1)!} \phi(E'), \quad E_0 < E < E_n$$

Since E' is arbitrary therefore on dropping the prime on E' we got:

$$f(E) - P_n(E) = \frac{f^{(n+1)}(R)}{(n+1)!} \phi(E), \quad E_0 < E < E_n \quad (55)$$

Now we use Taylor's theorem [17] [18]:

$$f(E+h) = f(R) + hf'(R) + \frac{h^2}{2!} f''(R) + \dots + \frac{h^n}{n!} f^n(R) + \dots \quad (56)$$

Neglecting the terms containing second and higher powers of h in equation (56), we got:

$$f(R+h) = f(R) + hf'(R)$$

$$\text{Or } f'(R) = \frac{f(R+h) - f(R)}{h} \quad (57)$$

$$\text{Or } f'(R) = \frac{1}{h} \Delta f(R) \quad [\because \Delta f(E+h) = f(E)]$$

$$Df(R) = \frac{1}{h} \Delta f(R) \quad [\because D = \frac{d}{dR}]$$

$$D = \frac{1}{h} \Delta \quad [\text{Because } f(R) \text{ is arbitrary}]$$

$$\therefore D^{n+1} = \frac{1}{h^{n+1}} \Delta^{n+1}$$

From equation (57), we got:

$$f^{(n+1)}(R) = \frac{1}{h^{(n+1)}} \Delta^{(n+1)} f(R)$$

Putting the values of $f^{(n+1)}(R)$ in equation (57), we got

$$f(E) - P_n(E) = \left[\frac{\phi(E)}{(n+1)!} \right] \left[\frac{1}{h^{(n+1)}} \Delta^{(n+1)} f(R) \right]$$

$$f(E) - P_n(E) = \left[\frac{(E - E_0)(E - E_1)(E - E_2) \dots (E - E_n)}{(n+1)!} \right] \left[\frac{1}{h^{(n+1)}} \Delta^{(n+1)} f(R) \right] \quad (58)$$

$$\text{If } \frac{E - E_0}{h} = X$$

Then

$$E - E_0 = hX$$

$$E - E_1 = E - (E_0 + h) = (E - E_0) - h = (hX - h) = h(X - 1)$$

$$\text{Similarly } E - E_2 = h(X - 2)$$

:

:

:

$$\text{Similarly } E - E_n = h(X - n)$$

Putting these values in equation (58), we got:

$$f(E) - P_n(E) = \left[\frac{(hX) \{h(X-1)\} \{h(X-2)\} \{h(X-3)\} \dots \{h(X-n)\}}{(n+1)!} \right] \left[\frac{1}{h^{(n+1)}} \Delta^{(n+1)} f(R) \right]$$

$$f(E) - P_n(E) = \left[\frac{X(X-1)(X-2)(X-3) \dots (X-n)}{(n+1)!} \right] \left[\Delta^{(n+1)} f(R) \right]$$

This is mathematical expression for estimation of error, if the point lies in the upper half.

4.2 IF THE POINT LIES IN THE LOWER HALF

In this condition we used following formula [1]:

$$V(E) = V_n + \nabla V_n(e) + \frac{\nabla^2 V_n}{2!} \{e(e+1)\} + \dots + \frac{\nabla^n V_n}{n!} \{e(e+1) \dots (e+n-1)\}$$

$$[\text{Where } \nabla \text{ is backward difference operator and } \frac{E - E_n}{h} = e]$$

4.2.1 ESTIMATION OF ERROR

Let $V = f(E)$ be a function defined by $(n+1)$ points $(E_0, V_0), (E_1, V_1), \dots, (E_n, V_n)$. When $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$ are equally spaced with interval h and this function is continuous and differentiable $(n+1)$ times.

Let $V = f(E)$ be approximated by a polynomial $P_n(E)$ of degree not exceeding n such that

$$P_n(E_i) = V_i \quad [\text{Where } i = 1, 2, 3, \dots, n] \quad (59)$$

Since the expression $f(E) - P_n(E)$ vanishes for $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$,

$$\text{We put } f(E) - P_n(E) = K\phi(E) \quad (60)$$

$$\text{Where } \phi(E) = (E - E_0)(E - E_1) \dots (E - E_n) \quad (61)$$

And K is to be determined in such a way that equation (60) holds for any intermediate values of E , say $E - E'$ [where $E_0 \leq E' \leq E_n$].

Therefore from (60)

$$K = \frac{f(E') - P(E')}{\varphi_1(E')} \quad (62)$$

Now we construct a function $f(E)$ such that

$$f(E_0) = f(E_1) - P_n(E) - K\varphi_1(E)$$

Where K is given by equation (62).

It is clear that

$$f(E_0) = f(E_1) = f(E_2) = f(E_3) = \dots \dots \dots f(E_n) = f(E') = 0 \quad (63)$$

Let $f(E)$ vanishes $(n+2)$ times in the interval $E_0 \leq E \leq E_n$; consequently, by the repeated application of Rolle's Theorem [15] [16], $f'(E)$ must vanish $(n+1)$ times, $f''(E)$ must vanish n times etc in the interval $E_0 \leq E \leq E_n$.

Particularly, $f^{(n+1)}(E)$ must vanish once in the interval $E_0 \leq E \leq E_n$. Let this point be $E = R$, $E_0 \leq E \leq E_n$.

Now differentiating equation (5) $(n+1)$ times with respect to E and putting $E = R$, we got:

$$f^{(n+1)}(R) - K(n+1)! = 0$$

$$\text{Or} \quad K = \frac{f^{(n+1)}(R)}{(n+1)!} \quad (64)$$

Putting this value of K in equation (62), we got:

$$\frac{f^{(n+1)}(R)}{(n+1)!} = \frac{f(E') - P_n(E')}{\varphi_1(E')}$$

$$\text{Or} \quad f(E') - P_n(E') = \frac{f^{(n+1)}(R)}{(n+1)!} \varphi_1(E'), \quad E_0 < E < E_n$$

Since E' is arbitrary therefore on dropping the prime on E' we got:

$$f(E) - P_n(E) = \frac{f^{(n+1)}(R)}{(n+1)!} \varphi_1(E), \quad E_0 < E < E_n \quad (65)$$

Now we use Taylor's theorem [17] [18]:

$$f(E+h) = f(R) + hf'(R) + \frac{h^2}{2!} f''(R) + \dots \dots \dots + \frac{h^n}{n!} f^n(R) + \dots \quad (66)$$

Neglecting the terms containing second and higher powers of h in equation (66), we got:

$$f(R+h) = f(R) + hf'(R)$$

$$\text{Or} \quad f'(R) = \frac{f(R+h) - f(R)}{h} \quad (67)$$

$$\text{Or} \quad f'(R) = \frac{1}{h} \Delta f(R) \quad [\because \Delta f(E+h) = f(E)]$$

$$Df(R) = \frac{1}{h} \Delta f(R) \quad [\because D = \frac{d}{dR}]$$

$$D = \frac{1}{h} \Delta \quad [\text{Because } f(R) \text{ is arbitrary}]$$

$$\therefore D^{n+1} = \frac{1}{h^{n+1}} \Delta^{n+1}$$

From equation (67), we got:

$$f^{(n+1)}(R) = \frac{1}{h^{(n+1)}} \Delta^{(n+1)} f(R)$$

Putting the values of $f^{(n+1)}(R)$ in equation (65), we got

$$f(E) - P_n(E) = \left[\frac{\phi_1(E)}{(n+1)!} \right] \left[\frac{1}{h^{(n+1)}} \Delta^{(n+1)} f(R) \right]$$

$$f(E) - P_n(E) = \left[\frac{(E-E_0)(E-E_1)(E-E_2)\dots\dots(E-E_n)}{(n+1)!} \right] \left[\frac{1}{h^{(n+1)}} \Delta^{(n+1)} f(R) \right] \quad (68)$$

$$\text{If } \frac{E-E_n}{h} = e$$

Then

$$E - E_n = he$$

$$E - E_{n-1} = E - (E_n - h) = (E - E_n) + h = (he + h) = h(e+1)$$

Similarly $E - E_{n-2} = h(e+2)$

:

:

:

Similarly $E - E_0 = h(e+n)$

Putting these values in equation (68), we got:

$$f(E) - P_n(E) = \left[\frac{(he)\{h(e-1)\}\{h(e-2)\}\{h(e-3)\}\dots\dots\{h(e-n)\}}{(n+1)!} \right] \left[\frac{1}{h^{(n+1)}} \Delta^{(n+1)} f(R) \right]$$

$$f(E) - P_n(E) = \left[\frac{e(e-1)(e-2)(e-3)\dots\dots(e-n)}{(n+1)!} \right] \left[\Delta^{(n+1)} f(R) \right]$$

This is mathematical expression for estimation of error, if the point lies in the lower half.

4.3 IF INTERVALS ARE NOT BE EQUALLY SPACED

In this condition we used following formula [1]:

$$V(E) = V_1 + \Delta_d V_1(E-E_1) + \Delta_d^2 V_1(E-E_1)(E-E_2) + \dots + \Delta_d^n V_1[(E-E_1)(E-E_2)\dots(E-E_n)]$$

[Where Δ_d is divide difference operator]

4.3.1 ESTIMATION OF ERROR

Let $f(E)$ be a real-valued function define n interval and $(n+1)$ times differentiable on (a, b) . If $P_n(E)$ is the polynomial. Which interpolates $f(E)$ at the $(n+1)$ distinct points $E_0, E_1, \dots, E_n \in (a, b)$, then for all $\bar{E} \in [a, b]$, there exists $\xi = \xi(\bar{E}) \in (a, b)$

$$\begin{aligned} e_n(\bar{E}) &= f(\bar{E}) - P_n(\bar{E}) \\ &= \frac{f^{(n+1)}(\xi)}{(n+1)!} \prod_{j=0}^n (\bar{E} - E_j) \end{aligned} \quad (69)$$

This is mathematical expression for estimation of error, if intervals are not be equally spaced.

4.4 WHEN THE TABULATED VALUES OF THE FUNCTION ARE NOT EQUIDISTANT

In this condition we used following formula [2]:

$$V(E) = \sum_{i=1}^n V_i \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{(E - E_j)}{(E_i - E_j)}$$

4.4.1 ESTIMATION OF ERROR

Since the approximating polynomial $f(E)$ given by Lagrangian formula has the same values $f(E_0) f(E_1) f(E_2) f(E_3) f(E_4) \dots f(E_n)$ as does $V = f(E)$ for the arguments $E_0, E_1, E_2, E_3, E_4, \dots, E_n$ the error term must have zeros at these $(n+1)$ points.

Therefore $(E - E_0)(E - E_1)(E - E_2)(E - E_3) \dots (E - E_n)$ must be factors of the error and we can write:

$$F(E) = f(E) + \frac{(E - E_0)(E - E_1)(E - E_2)(E - E_3) \dots (E - E_n)}{(n+1)!} K(E) \quad (70)$$

Let E to be fixed in value and consider the function

$$W(x) = F(x) - f(x) \frac{(x - E_0)(x - E_1)(x - E_2)(x - E_3) \dots (x - E_n)}{(n+1)!} K(E) \quad (71)$$

Then $W(x)$ has zero $x = E_0, E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$ and E .

Since the $(n+1)^{th}$ derivative of the n^{th} degree polynomial $f(E)$ is zero.

$$W^{(n+1)}(x) = F^{(n+1)}(x) - K(E) \quad (72)$$

As a consequence of Rolle's Theorem [15] [16] the $(n+1)^{th}$ derivative of $W(x)$ has at least one real zero $x = \xi$ in the range $E_0 < \xi < E_n$

Therefore substituting $x = \xi$ in equation (73):

$$W^{(n+1)}(\xi) = F^{(n+1)}(\xi) - K(E)$$

Or

$$\begin{aligned} K(E) &= F^{(n+1)}(\xi) - W^{(n+1)}(\xi) \\ &= F^{(n+1)}(\xi) \end{aligned}$$

Using this expression for $K(S)$ and writing out $f(S)$

$$f(E) = \frac{(E-E_1)(E-E_2)\dots(E-E_n)}{(E_0-E_1)(E_0-E_2)\dots(E_0-E_n)} f(E_0) + \frac{(E-E_0)(E-E_2)\dots(E-E_n)}{(E_1-E_0)(E_1-E_2)\dots(E_1-E_n)} f(E_1) + \dots$$

$$\dots + \frac{(E-E_0)(E-E_1)\dots(E-E_{n-1})}{(E_n-E_0)(E_n-E_1)\dots(E_n-E_{n-1})} f(E_n) + \frac{(E-E_0)(E-E_1)\dots(E-E_n)}{(n+1)!} f^{(n+1)}(\xi)$$

Where $E_0 < \xi < E_n$

This is mathematical expression for estimation of error, if the tabulated values of the function are not equidistant.

5 CONCLUSION

Derived mathematical expressions are useful to estimation of the errors in the formulas for obtaining intermediate values of the rate of enzymatic reaction. All expressions are worked in n limit which is the optimum limit. When we obtain the intermediate values of the rate of enzymatic reaction then these mathematical expressions are useful to estimate the errors in interpolated values of the rate of enzymatic reaction.

REFERENCES

- [1] Uddin, N., "Interpolate the Rate of Enzymatic Reaction: Temperature, Substrate Concentration and Enzyme Concentration based Formulas using Newton's Method," International Journal of Research in Biochemistry and Biophysics, 2(2), 5-9, 2012.
- [2] Uddin, N., "Enzyme Concentration, Substrate Concentration and Temperature based Formulas for obtaining intermediate values of the rate of enzymatic reaction using Lagrangian polynomial," International Journal of Basic And Applied Sciences, 1(3), 299-302, 2012.
- [3] Meijering, Erik (2002), "A chronology of interpolation: from ancient astronomy to modern signal and image processing," Proceedings of the IEEE 90 (3): 319-342.
- [4] Abramowitz, M. and Stegun, I. A. (Eds.). Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables, 9th printing. New York: Dover, p. 880, 1972.
- [5] Hildebrand, F. B., "Introduction to Numerical Analysis," New York: McGraw-Hill, pp. 43-44 and 62-63, 1956.
- [6] Whittaker, E. T. and Robinson, G., "Newton's Formula for Unequal Intervals," §13 in The Calculus of Observations: A Treatise on Numerical Mathematics, 4th ed. New York: Dover, pp. 24-26, 1967.
- [7] Abramowitz, M. and Stegun, I. A. (Eds.). Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables, 9th printing. New York: Dover, p. 880, 1972.
- [8] Beyer, W. H., "CRC Standard Mathematical Tables," 28th ed. Boca Raton, FL: CRC Press, p. 432, 1987.
- [9] Graham, R. L., Knuth, D. E., and Patashnik, O., "Concrete Mathematics: A Foundation for Computer Science," 2nd ed. Reading, MA: Addison-Wesley, 1994.
- [10] Jordan, C., "Calculus of Finite Differences," 3rd ed. New York: Chelsea, 1965.
- [11] Nörlund, N. E., "Vorlesungen über Differenzenrechnung," New York: Chelsea, 1954.
- [12] Riordan, J., "An Introduction to Combinatorial Analysis," New York: Wiley, 1980.
- [13] Whittaker, E. T. and Robinson, G., "The Gregory-Newton Formula of Interpolation" and "An Alternative Form of the Gregory-Newton Formula," §8-9 in The Calculus of Observations: A Treatise on Numerical Mathematics, 4th ed. New York: Dover, pp. 10-15, 1967.
- [14] Beyer, W. H., "CRC Standard Mathematical Tables," 28th ed. Boca Raton, FL: CRC Press, p. 433, 1987.
- [15] Anton, H., "Rolle's Theorem; Mean Value Theorem," §4.9 in Calculus: A New Horizon, 6th ed. New York: Wiley, pp. 260-266, 1999.
- [16] Apostol, T. M. Calculus, "One-Variable Calculus, with an Introduction to Linear Algebra," Waltham, MA: Blaisdell, 2nd ed., Vol. 1, p. 184, 1967.
- [17] Dehn, M. and Hellinger, D., "Certain Mathematical Achievements of James Gregory," Amer. Math. Monthly 50, 149-163, 1943.
- [18] Jeffreys, H. and Jeffreys, B. S. "Taylor's Theorem," §1.133 in Methods of Mathematical Physics, 3rd ed. Cambridge, England: Cambridge University Press, pp. 50-51, 1988.

La productivité dans le cadre de l'approche du développement endogène: Application au cas du Système Productif Local de Ksar-Hellal (Tunisie)

[The productivity within the framework of the endogenous development approach: Application to the case of the Local Productive System of Ksar-Hellal (Tunisia)]

Makram Gaaliche

Institut Supérieur De Gestion,
Sousse, Tunisie

Copyright © 2013 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The new configuration productive do not consider any more the space as a source of costs and as a passive support of productive factors but, it replaces it by the concept of territory, where its organization, its socio-economic and institutional characteristics, play an active role. This article aims to verify the hypothesis which assumes that the territory is a windfall for the productivity of the agglomerated companies. Indeed, by application to the Local Productive System (LPS) of Ksar-Hellal, it turned out that the specific resources of the territory can be in the service of agglomerated companies, but it is not necessary that they participate together in their productive efficiency, and in the institution of an endogenous dynamics of development. In addition, the analysis proved that social relationships play an unimportant role in the productive performances of the concentrated companies, putting into question the theoretical hypotheses, which consider the relevance of the role of the extraeconomic processes. Therefore, the assumption that all the specific resources of the country are responsible for the productivity of agglomerated firms should be allowed with some caution. There is no guarantee that the concentrated companies of LPS enjoy all the economic and social benefits of their territorial base. The agglomerated companies can take profit by exploiting their economic factors, while ignoring the informal aspects.

KEYWORDS: Local Productive System, territory, specific resources, endogenous development, productivity.

RESUME: Dans cet article, par une application sur le Système Productif Local (SPL) de Ksar-Hellal, nous avons essayé de vérifier l'hypothèse qui stipule que le territoire est une aubaine pour la productivité des entreprises agglomérées. Certes, l'analyse montre que les ressources spécifiques du territoire peuvent être au service des entreprises agglomérées, mais il n'est pas nécessaire qu'elles participent ensemble à leur efficacité productive, et à l'instauration d'une dynamique endogène de développement. En effet, il s'est avéré que les relations sociales jouent un rôle négligeable au niveau des performances productives des entreprises concentrées, mettant ainsi en cause les hypothèses théoriques, prévoyant la pertinence du rôle des processus extra-économiques.

MOTS-CLEFS: Système productif local, territoire, ressources spécifiques, développement endogène, productivité.

1 INTRODUCTION

Par sa redécouverte du concept marshallien de district industriel, [1] avance que le développement des régions italiennes s'explique moins par leur dotation initiale en facteurs de production, que par les avantages qu'elles tirent de la concentration géographique des activités. En effet, en mettant en exergue l'importance des économies externes et du sens de l'appartenance, il soulève l'intérêt de la dynamique du développement endogène. Un modèle de développement endogène est un modèle « basé sur l'utilisation des ressources locales, la capacité de contrôle au niveau local du processus d'accumulation, le contrôle de l'innovation, la capacité de réaction aux pressions extérieures et la capacité d'introduire des formes spécifiques de régulation sociale au niveau local favorisant les éléments précédents » ([2], p.8). Il s'agit de la prise en

compte de nouveaux facteurs de production, ancrés dans une société locale et non transposables ni transférables ailleurs. En effet, la nouvelle configuration productive ne considère plus l'espace comme simple source de coûts et support passif de facteurs productifs de développement mais, elle le remplace par le concept de territoire, où son organisation, ses caractéristiques socio-économiques et institutionnelles, y jouent un rôle actif.

Le territoire devient porteur d'externalités spatiales spécifiques, non transférables, qui lui confèrent une compétitivité particulière. Il peut s'agir d'externalités technologiques, que [3] identifie comme une grande disponibilité d'inputs spécialisés, la diffusion de l'information, une main d'œuvre plus qualifiée et plus accessible, et aussi d'externalités pécuniaires, qui traduisent l'effet des structures de marché sur le système des prix, comme par exemple dans la sous-traitance ou les réseaux de firmes. D'après [4] le territoire est une création institutionnelle dans lequel « des procédures d'échanges non-structurées et concurrentielles, des négociations et des relations contractuelles (et dans ce sens que c'est un) ensemble de contraintes formelles sans lesquelles ces échanges et ces relations ne seraient pas possibles » ([4], p.11). De même, selon [5], le territoire est constituée d'institutions informelles, composées de coutumes, de représentations collectives, qui structurent des modèles collectifs et normatifs de pensée et d'action, et d'institutions formelles (dispositifs juridiques et administratifs qui définissent les frontières des territoires) qui en quelque sorte, pallient aux insuffisances des institutions informelles mais, lui sont complémentaires. Cette interaction stratégique entre formel et informel peut être vue comme une sorte d'hybridation, qui peut être illustrée par le modèle de spécialisation flexible [5].

La spécialisation flexible implique des relations stables entre les firmes, une concentration géographique et des institutions intermédiaires, ce qui favorise la création d'une structure institutionnelle [6]. Cette spécialisation est surtout présente dans des Système Productif Locale (SPL), des clusters ou des districts industriels, qui se caractérisent par une régulation qui combine le marché et la réciprocité [7]. La combinaison « donne lieu à une pratique, une régulation territoriale dont l'identité est fortement marquée. Elle remet en cause un des principes de base de l'économie politique classique: celui de la séparation entre l'économie et la société » ([8], p.6). Certes, par une application sur le SPL de Textile_Habillement de Ksar-Hellal, nous essayons de vérifier un tel constat. En effet, en identifiant l'impact des ressources spécifiques du territoire hilalien sur la productivité des entreprises en question, nous pouvons vérifier la pertinence de la thèse, qui considère le territoire comme source de performance pour les entreprises localisées. Cependant, après avoir présenté le modèle à estimer dans une première étape, nous procédons à son analyse économétrique, afin de vérifier la portée des ressources spécifiques du territoire hilalien, sur la dynamique productive de ses entreprises.

2 PRESENTATION DU MODELE

C'est à partir de la fonction de production du modèle de croissance endogène de [9], que nous essayons de détecter les différents déterminants de la productivité du SPL de Ksar_Hellal, C'est une fonction de Cobb-Douglas où Y_t représente la production totale de l'économie, A_t le niveau de progrès technique constitué par le savoir dérivé de l'investissement commun à toutes les entreprises, K_t le facteur capital et L_t le facteur travail. On a ainsi:

$$Y_t = K_t^\alpha (A_t L_t)^{1-\alpha} \quad (1)$$

$$\text{Avec } A_t = A_0 e^{\theta_j w_j t}$$

Où : W_j : vecteur des variables introduites supposées influencer le progrès technique.

θ_j : vecteur des coefficients qui relient les variables du vecteur.

Introduite de cette façon, la variable technologique (A) augmente l'efficacité du travail. On dit aussi qu'elle est « neutre au sens de Harrod ». Le modèle de [9] repose sur les phénomènes d'externalité entre les firmes. Il s'agit d'externalité technologique qui se diffuse inévitablement aux autres firmes. Dans notre étude empirique, nous allons suivre la même méthodologie utilisée par les économistes de la croissance endogène, et ce en ajoutant des variables dans l'équation de la fonction de production, pour expliquer le progrès technique. L'élargissement consiste à introduire un ensemble de facteurs institutionnels, sociaux et économiques, qui font la spécificité du territoire hilalien, et susceptibles d'influencer la dynamique productive des entreprises hilaliennes. En l'occurrence, en appliquant le logarithme linéaire et en ajoutant les facteurs susceptibles d'expliquer le progrès technique dans l'équation de la fonction de production (1), nous obtenons l'équation (2) ci-dessous :

$$\begin{aligned} \log(PPT_i) = & \beta_0 + \beta_1 \log(Inkp_i) + \beta_2 (I_Cop_i) + \beta_3 (Coe_Tec_i) + \beta_4 (Tx_Mge_i) \\ & + \beta_5 (I_Ide_Loc_i) + \beta_6 (Tec_Kh_i) + \beta_7 (Tx_Remp_i) + \beta_8 (I_Reg_Loc_i) + \varepsilon_i \end{aligned} \quad (2)$$

Où :

- PPT : représente la Productivité Partielle du Travail de l'entreprise. Elle sera mesurée en rapportant la Valeur Ajoutée Brute (VAB) à la quantité du travail (L) engagé dans une entreprise. On a mesuré la quantité du travail de chaque entreprise par le nombre des employés.
- Inkp : représente l'intensité capitalistique de chaque entreprise. Elle est mesurée en rapportant le facteur capital (K) par le facteur travail (L). Généralement, on utilise le Stock du Capital fixe (SCF) pour représenter le facteur capital. Mais, vu l'absence des données concernant le stock du capital par entreprise, on est obligé de se limiter à utiliser le proxy communément adoptée, qui est la variable Formation Brute de Capital Fixe (FBCF).
- I_Cop : Représente l'Indicateur des relations de coopération de chaque entreprise. Il porte sur l'esprit d'entraide entre les entreprises d'un SPL. En effet, il désigne les relations établies entre firmes pour partager un ensemble de ressources, sans pour autant remettre en question leur autonomie [10].
- Coe_Tec : représente le coefficient technique de chaque entreprise. À côté des relations de complémentarité qu'il représente, on va l'utiliser aussi comme un proxy, pour appréhender les externalités pécuniaires qui se produisent sur le marché, à travers les mécanismes habituels c'est-à-dire, à travers le prix.
- Tx_Mge : représente le Taux de marge de chaque entreprise. Le Taux de marge défini par le rapport entre l'Excédent Brut d'Exploitation (EBE) et la Valeur Ajoutée Brute (VAB), est considéré comme indicateur permettant d'apprécier l'intensité concurrentielle d'un secteur. Il reflète la part qui revient à l'entreprise dans la valeur ajoutée une fois rémunérés les salariés et payés les cotisations sociales et les impôts liés à la production. En effet, plus le Taux de marge se rapproche de 1, moins le secteur est concurrentiel.
- I_Ide_Loc : c'est l'indicateur d'identité locale relative à chaque entreprise. Il représente les valeurs supposées solidement ancrées dans les mentalités de la population de Ksar-Hellal, et faciliter l'interaction entre les différentes entreprises du SPL en question. Ces valeurs sur lesquelles nous focaliserons notre étude seront selon la théorie sont [11], [12] : la solidarité, l'action collective et la réciprocité.
- Tec_Kh : représente la part des techniciens diplômés à Ksar-Hellal du total des techniciens de chaque entreprise. Il s'agit d'un proxy des externalités technologiques. Certes, les entreprises bénéficient de connaissances provenant des instituts et des centres de formation, et ce en embauchant des techniciens spécialisés, diplômés par ces établissements. En effet, par l'emploi de ce type de technicien, de la connaissance spécifique incorporée aux individus est transférée à la firme.
- Tx_Remp : représente le Taux de remplacement de chaque entreprise. Le Taux de remplacement représente en effet, la proportion des nouveaux employés ayant remplacé ceux qui ont quitté l'entreprise. En effet, l'un des principaux mécanismes de transmission des connaissances est la mobilité de la main-d'œuvre. Les travailleurs possèdent des connaissances spécialisées, qui peuvent être transférées vers d'autres entreprises au moment du changement d'emploi [13]. Donc le Taux de remplacement peut être considéré comme un proxy des externalités technologiques, associées à la mobilité de la main-d'œuvre qualifiée.
- I_Reg_Loc : Indicateur de régulation locale relatif à chaque entreprise. Il appréhende l'efficacité des institutions locales, au niveau de la régulation des comportements relationnels du système productif hilalien. Il s'agit des institutions formelles, représentées par une autorité légale ou des règles bureaucratiques [14] et, des institutions informelles, appréhendées par des mécanismes sociaux, qui consistent à se servir de la confiance [15]- [17], et à imposer des sanctions collectives, pour décourager les comportements opportunistes [18], [19].

En se référant à la théorie [20], on n'utilisera que des Petites et Moyennes Entreprises (PME) dans notre étude du SPL hilalien, qui sont au nombre de 73 unités, et représente 36.45% de l'emploi total de Textile-Habillement de Ksar-Hellal en 2009. Les données quantitatives telles que : chiffre d'affaire, masse salariale, consommation intermédiaire, etc., seront tirées directement auprès du bureau local de contrôle des impôts de Ksar-Hellal. Mais, dans notre étude, certains indicateurs seront construits via une enquête spécifique, en l'occurrence : l'indicateur de coopération, d'identité locale et de régulation locale. Concernant la méthode de construction de nos indicateurs synthétiques, il n'existe pas de solution canonique. Mais, nous avons opté pour utiliser la méthode du Ministère de l'Economie des Finances et de l'Industrie de France [21], qui présente l'avantage de réduire la subjectivité des réponses dans la construction. Il s'agit en effet, que chaque indicateur est construit par la moyenne arithmétique des questions utilisées dans l'enquête, pondérées par leurs écarts types. Ainsi, à partir de l'estimation du modèle correspondant, nous pouvons détecter les principales sources du territoire hilalien, qui entrent dans la dynamique productive des entreprises en question.

3 LES SOURCES DE PRODUCTIVITE DU SYSTEME PRODUCTIF LOCAL DE KSAR-HELLAL

L'estimation du modèle 2 nous a permis d'avoir les principaux résultats affichés dans la colonne 2 du Tableau 1. Avant de procéder à l'interprétation des coefficients estimés, certains tests devraient être élaborés, afin de vérifier la fiabilité des coefficients. En effet, en abordant le problème de multicolinéarité, on peut utiliser la *règle de Klein* [22]. Ce test est fondé sur

la comparaison entre le coefficient de détermination R^2 , et le coefficient de corrélation simple r^2 des variables explicatives. En effet, si $R^2 < r^2$, il y a présomption de multicolinéarité. En l'occurrence, l'estimation du modèle 2 donne un $R^2 = 0.45$, qui est inférieur au coefficient de corrélation $r^2 = 0.51$, entre l'Indicateur Régulation Locale (I_Reg_Loc) et l'Indicateur Identité Locale (I_Ide_Loc), et inférieur aussi au coefficient de corrélation $r^2 = 0.69$, entre l'Indicateur de Coopération (I_Cop) et l'Indicateur d'Identité Locale (I_Ide_Loc) (voir les Tableaux 1 et 2). Ceci affirme qu'il y a présomption de multicolinéarité dans notre modèle.

Tableau 1. Principaux résultats des différentes estimations

Variables	Modèle (2) Estimation par MCO	Modèle (2) Estimation par Stepwise Regression	Modèle (4) Estimation par MCO
INKP	-0.01 (0.53)	0.02 (0.0002)	0.02 (0.0)
TX_MGE	0.67 (0.006)	0.93 (0.0)	0.92 (0.0)
TX_REMP	0.0097 (0.86)		
TEC_KH	-0.24 (0.0002)	-0.03 (0.13)	
COE_TEC	0.03 (0.42)	0.42 (0.0)	0.45 (0.0)
I_COP	0.24 (0.36)		
I_IDE_LOC	0.06 (0.66)	0.01 (0.02)	0.01 (0.02)
I_REG_LOC	0.75 (0.13)	0.15 (0.008)	0.14 (0.01)
R^2	0.45	0.77	0.76
Akaike info criterion (AIC)	-0.65		-2.67
Schwarz criterion (SC)	-0.37		-2.48

Source : Nos propres investigations à partir du logiciel Eviews.

Les valeurs entre parenthèses représentent les probabilités de l'significativité individuelle.

Tableau 2. Matrice des coefficients de corrélation des variables explicatives de l'équation (2)

	PPT	INKP	TX_MGE	COE_TEC	I_COP	TX_REMP	TEC_KH	I_IDE_LOC	I_REG_LOC
PPT	1								
INKP	-0.24	1							
TX_MGE	0.04	0.29	1						
COE_TEC	0.28	0.15	-0.11	1					
I_COP	0.39	-0.44	-0.35	0.17	1				
TX_REMP	-0.25	0.37	0.06	-0.02	-0.22	1			
TEC_KH	-0.57	0.32	0.21	-0.34	-0.41	0.37	1		
I_IDE_LOC	0.36	-0.39	-0.31	0.18	0.69	-0.32	-0.37	1	
I_REG_LOC	0.34	-0.21	-0.29	0.22	0.48	-0.21	-0.26	0.51	1

Source : Nos propres investigations à partir du logiciel Eviews.

Face au problème de la multicolinéarité, la seule solution vraiment efficace consiste, lors de la spécification du modèle, est d'éliminer les variables explicatives susceptibles d'être corrélées entre-elles. En effet, il existe plusieurs méthodes qui permettent de retenir le meilleur modèle. Dans notre cas, nous allons utiliser la méthode de Stepwise Regression (régression pas à pas), vu qu'elle représente la procédure la plus utilisées [22]. L'application de la méthode Stepwise Regression sur notre

modèle à tester (voir colonne 3 du Tableau 1), considère que le modèle supposé réduire les éventuelles colinéarités entre les variables explicatives, est le suivant :

$$\log(PPT_i) = \alpha_0 + \alpha_1 \log(\lnkp_i) + \alpha_2 (Coe_Tec_i) + \alpha_3 (Tx_Mge_i) + \alpha_4 (I_Ide_Loc_i) + \alpha_5 (Tec_Kh_i) + \alpha_6 (I_Reg_Loc_i) + \varepsilon_i \quad (3)$$

Cependant, on constate qu'une telle correction du modèle a permis la suppression de 2 variables, en l'occurrence : I_Cop et Tx_Remp (voir colonne 3 du Tableau 1). En d'autres termes, pour pallier le problème de la multicollinéarité, le nombre des variables composant le modèle s'est limité seulement à 6, au lieu de 8 variables explicatives du départ (modèle 2). Mais, on constate que tous les coefficients trouvés sont significatifs, hormis la variable Tec_kh . Cette dernière admet une probabilité de significativité individuelle (0.13), supérieure au seuil de risque $\alpha = 5\%$ (voir Tableau 1). Donc, il est primordial d'en éliminer du modèle. Par conséquent, on peut considérer le modèle 4 ci-dessous, comme modèle optimal, privé de colinéarité entre ses variables explicatives :

$$\log(PPT_i) = \alpha_0 + \alpha_1 \log(\lnkp_i) + \alpha_2 (Coe_Tec_i) + \alpha_3 (Tx_Mge_i) + \alpha_4 (I_Ide_Loc_i) + \alpha_5 (I_Reg_Loc_i) + \varepsilon_i \quad (4)$$

Nous appliquons le test de *White* pour identifier d'éventuel problème hétéroscédasticité dans notre modèle. Ainsi, suite à l'application de ce test sur le modèle (4), nous avons obtenu les principaux résultats suivants :

Tableau 3. Principaux résultats de l'application du test de White sur l'équation (4)

Prob. F(20,49)	0.5943
Prob. Chi-Square(20)	0.5396
Prob. Chi-Square(20)	0.7763

Source : Nos propres investigations à partir du logiciel Eviews.

D'après le (Tableau 3), on constate, la probabilité de la significativité du test qui est égale à 0.5396 est supérieure à 0.05 ($\text{Prob}(X^2(20)) = 0.5396 > 0.05$). Cependant, on peut accepter l'hypothèse H_0 , d'homoscédasticité du modèle. Le problème d'hétéroscédasticité est écarté de notre modèle, et on peut enfin lancer la régression du modèle (4) par la méthode des MCO (voir Tableau 1 colonne 4). En effet, avec un coefficient de détermination R^2 respectable de 0.76, le modèle admet un pouvoir explicatif important (voir Tableau 1 colonne 4). De même, la baisse des critères d'Akaike (AIC) et de Schwarz (SC), observés dans le modèle (4) par rapport au modèle (2), justifie la réussite du choix du modèle. Ces deux critères sont généralement utilisés, pour sélectionner parmi des modèles impliquant un nombre de variables explicatives différent (Bourbonnais, 2003). Le meilleur modèle est celui qui possède les critères les plus bas. Dans notre cas, le critère d'Akaike a passé de -0.65 à -2.67, et celui de Schwarz, de -0.37 à -2.48, respectivement dans le modèle (2) et le modèle (4) (voir le Tableaux 1).

Certes, l'analyse montre que les coefficients estimés présentent des probabilités inférieures au risque 5%, justifiant ainsi leur significativité individuelle dans le modèle. En effet, malgré la faiblesse du coefficient de la relation entre l'Intensité capitalistique ($\ln Kp$) et la Productivité Partielle de Travail (PPT), il admet un signe positif (0.02), conformément à la théorie. L'analyse montre qu'une augmentation de 1% du Taux de marge (Tx_Mge), synonyme d'une baisse de la concurrence au niveau du SPL de Ksar-Hellal, sera accompagnée par une augmentation de 0.92% de la productivité du travail des entreprises hilaliennes. En d'autres termes, le SPL de Ksar-Hellal est moins productive dans un environnement concurrentiel. Malgré que ce résultat soit non conforme à la théorie, il a été trouvé et confirmé par plusieurs auteurs [23], [24]. En effet, [23] et [24], ont mis en évidence qu'une intensification de la concurrence au niveau du secteur manufacturier, conduit à un ralentissement de la productivité, alors que dans les services, la concurrence favorise l'accroissement de la productivité. Selon eux, le secteur manufacturier se caractérisait en général, par des coûts d'entrée élevés. Les firmes de ce secteur seraient prêtes à innover, si elles ont l'assurance de pouvoir par la suite couvrir les coûts irrécouvrables assurés à la R&D. Donc, des marges suffisamment importantes seraient nécessaires pour stimuler l'innovation. En d'autres termes, une diminution du Tm dans les secteurs manufacturiers, synonyme d'une augmentation de la concurrence, découragera l'initiative de l'innovation, et aurait un impact négatif sur la croissance de la productivité et vice versa, toute augmentation de marge, traduite par une baisse de la concurrence, incitera les entreprises à dépenser dans l'innovation, favorable pour l'amélioration de la productivité. Certes, un tel raisonnement est applicable sur le cas du SPL de Ksar-Hellal. Les entreprises de Textile-Habillement de Ksar-Hellal nécessitent des marges importantes pour couvrir leurs dépenses en innovation et en investissement. Donc, toute amélioration de marge au niveau du SPL de Ksar-Hellal, synonyme d'une baisse de la concurrence, se répercutera par une amélioration de la productivité des entreprises. En d'autres termes, moins la concurrence locale est intense, plus le SPL de Ksar-Hellal est productive. Donc, la proximité géographique, responsable de la concurrence sur le territoire hilalien, s'est avérée défavorable à la croissance de la productivité des entreprises agglomérées, tout à fait le contraire de ce qui a été avancé dans la théorie spécialisée.

Parallèlement, il s'est avéré que toute amélioration de 1% du Coefficient technique (Coe_Tec), entraîne une amélioration de 0.45% de la productivité de travail des entreprises hilaliennes. Donc, la complémentarité des branches d'activités au sein du SPL de Ksar-Hellal, affecte positivement la productivité. Un tel avantage accordé par l'agglomération des entreprises, est synonyme de la présence d'externalités pécuniaires. En effet, les entreprises du SPL en question bénéficient, par les effets d'interactions qui se produisent sur le marché, de biens intermédiaires à des prix plus bas. Au niveau de la sphère institutionnelle, l'estimation révèle que toute augmentation de 1% de la qualité de régulation sur le territoire hilalien, entraîne une faible croissance de la PPT de l'ordre de 0.14%. Donc, la régulation des conflits d'intérêt et des comportements opportunistes, au sein du SPL de Ksar-Hellal, contribue à l'amélioration des performances productives des entreprises de Textile-Habillement, mais d'une faible proportion. En outre, vu que toute augmentation de 1% de l'indicateur d'identité locale, provoque une très infime croissance de la productivité de travail de l'ordre de 0.014%, la portée des aspects sociaux sur les performances productives des entreprises de Ksar-Hellal, s'avère négligeable.

A l'issue de cette analyse, on peut confirmer que les performances productives des entreprises du SPL de Ksar-Hellal, ne découlent pas de l'exploitation de la totalité des ressources spécifiques disponibles sur le territoire. Il s'est avéré que les entreprises hilaliennes bénéficient principalement d'externalités pécuniaires, concrétisées par les relations de complémentarité. En effet, elles ne bénéficient pas d'externalités technologiques, générées via les processus de communication et d'échanges d'informations. Mais, on doit admettre ce résultat avec précaution, car l'omission du modèle des variables qui appréhendent les réseaux de connaissance, en raison de leur non significativité, peut être due à une lacune statistique, vu que notre étude économétrique est non dynamique. Donc, la non significativité de certaines variables, peut être due à cette lacune, et non à l'absence de leurs effets sur la productivité.

A l'issue de cette étude, il s'est avéré que le SPL de Ksar-Hellal, s'appuie sur un aspect plutôt économique, tel que la complémentarité, que social, en l'occurrence, les valeurs partagées. Donc le SPL de Ksar-Hellal met en évidence une dynamique de développement endogène mais, impulsée seulement par certaines ressources précises, qui sont en majorité économiques, alors que ceux hors économiques sont, soient absents (coopération) ou, de faible poids (identité locale, régulation locale). Ainsi, l'idée que l'essor du SPL de Ksar-Hellal est fondé sur une inscription territoriale c'est-à-dire, basé sur une utilisation des ressources spécifiques locales doit être relativisée. Les relations sociales et la culture hilalienne qui font la spécificité du territoire en question, jouent un rôle marginal au niveau des performances productives des entreprises concentrées, contredisant ainsi les hypothèses théoriques, prévoyant la pertinence du rôle des processus extraéconomiques. Donc l'hypothèse que le territoire est aubaine pour la productivité des entreprises localisées n'est pas une évidence incontestable, et doit être manipulé avec quelques réserves.

4 CONCLUSION

L'analyse du SPL de Ksar-Hellal, stipule que ce dernier suit une logique de développement endogène mais, non basée sur l'exploitation de la totalité des ressources contrôlées par son territoire. Ainsi, un territoire peut renfermer tous les types d'externalités (pécuniaire et technologique) et plusieurs autres ressources spécifiques (valeurs partagées, régulation locale, coopération,...etc), mais leurs incidences sur les performances productives des entreprises agglomérées n'est pas toujours garantie. Par conséquent, l'hypothèse que toutes les ressources spécifiques du territoire sont responsables de la productivité des entreprises agglomérées, doit être admise avec quelque précaution. Il n'est pas garanti que les entreprises concentrées d'un SPL, bénéficient de tous les aspects économiques et sociaux découlant de leur ancrage territorial. Les entreprises agglomérées peuvent tirer leurs performances à partir de facteurs économiques, sans tenir compte des aspects informels.

REFERENCES

- [1] G. Becattini, "Dal settore industriale al distretto industriale : alla ricerca dell'unità d'indagine della economia industriale," *Revista di economia e politica industriale*, Vol. 7, N°1, pp. 7-21, 1979.
- [2] C. Courlet and G. Garofoli, "Districts industriels, systèmes productifs localisés et développement," *Actes du XXXIVe Colloque international de l'Association de Science Régionale de Langue Française Dynamiques industrielles, dynamiques territoriales*, Toulouse: 31 août – 1 septembre, 1995.
- [3] A. Marshall, "Industry and Trade," *Marcel Giard*, Paris, 442p, 1919.
- [4] E. Friedberg, "Le pouvoir et la règle : Dynamiques de l'action organisée," *Seuil*, Paris, 405p, 1993.
- [5] L. Abdelmalki, D. Dufourt, T. Kirat et D. Recquier-Desjardins, "Dynamiques territoriales et mutations économiques," *L'Harmattan*, Paris, pp. 177-194, 1996.
- [6] G. Garofoli, "The Rise and Decline of Industrial Districts: External Economies and factors of Competitiveness," *International Conference on Local Productive Systems and European Integration*, Turin, 5-8 July, 1996.

- [7] C. Courlet, "Les industrialisations du Tiers Monde," *Syros-Alternatives*, Paris, 1990.
- [8] C. Courlet et B. Soulage, "Dynamique d'évolution des systèmes industriels localisés et formes institutionnelles d'intermédiation," *IREPD Grenoble*, 29 p, 1993.
- [9] P.M. Romer, "Increasing Returns and Long-Run Growth," *The Journal of Political Economy*, Vol. 94, n°. 5, pp. 1002-1037, 1986.
- [10] A. Mouline, "Les accords de coopération inter-entreprises dans les technologies de l'information : nouveaux apports quantitatifs et qualitatifs," *Revue d'Economie Industrielle*, n°89, pp.85-106,1999.
- [11] G. Becattini, "Le district marshallien : une notion socio-économique," *Presses universitaires de France*, Paris, pp. 35-55, 1992.
- [12] D. Maillât, "Du district industriel au milieu innovateur : contribution à une analyse des organisations productives territorialisées," *Working Paper N° 9606*, IREER, Neuchâtel, 1996.
- [13] M.P. Feldman, "The New Economics of Innovation, Spillovers and Agglomeration: A Review of Empirical Studies," *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 8, pp. 5-25, 1999.
- [14] C. Jones, W. Hesterly and S. Borgatti, "A General Theory of Network Governance: Exchange Conditions and Social Mechanisms," *The Academy of Management Review*, vol. 22, n° 4, pp. 911-945, 1997.
- [15] R. Gulati, "Social structure and alliances formation patterns: a longitudinal analysis," *Administrative Science Quarterly*, Vol.40, pp.619-652, 1995.
- [16] W. Powell, "Neither Market nor Hierarchy: Network Form of Organization," *Sage Publication*, London, 1991.
- [17] B. Uzzi, "Social Structure and competition in the interfirm networks: the paradox of embeddedness," *Administrative Science Quarterly*, n°42, pp35-67, 1997.
- [18] A. Larson, "Network Dyads in Entrepreneurial Setting: A Study of the Governance of Exchanges Processes," *Administrative Science Quarterly*, Vol.37, pp. 76-104, 1992.
- [19] K. Weigelt and C. Camerer, "Reputation and corporate strategy: A review of recent theory and applications," *Strategic Management Journal*, Vol.9, pp.443-454, 1988.
- [20] C. Courlet, "La suisse et la coopération transfrontalière : repli ou redéploiement ?," *Seismo*, Zurich, pp. 149-168,1995.
- [21] P. Berthelier, D. Alain et O. A. Jacques, "Profils institutionnels : Présentation et analyse d'une base de données originale sur les caractéristiques institutionnelles de pays en développement, en transition et développés," *Document de Travail*, Ministère de l'Economie des Finances et de l'Industrie (MINEFI), Direction de la Prévision, France, Juillet, 2003.
- [22] R. Bourbonnais, "Econométrie," *Dunod*, 5ème édition, Paris, 2003.
- [23] W.Roeger, J. Varga et J. in't Veld, "Structural Reforms in the EU: A Simulation-Based Analysis Using QUEST Model with Endogenous Growth," *Economic Papers*, n° 351, Commission Européenne, Bruxelles, Belgique, 2008.
- [24] B. Romain et C. Klein, "La concurrence favorise-t-elle les gains de productivité ? Une analyse sectorielle dans les pays de l'OCDE," *Economie et statistique*, n° 419-420, pp.73-99, 2008.

Tests préliminaires de récupération par cyanuration en bouteilles d'échantillons combinés de minerais latéritique et argileux de la province aurifère du Yaouré dans le Centre de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest)

[Preliminary tests for recovering by bottled cyanidation from combined lateritic and clayey ores samples of the gold-bearing province of Yaouré in central Côte d'Ivoire (West Africa)]

Paul Tonga TIEMOKO and Gbele OUATTARA

Département des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STeRMi) / Laboratoire du Génie Civil, des Géosciences et Sciences géographiques / Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Copyright © 2013 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The "Yaoure" gold deposit (Central Ivory Coast, West Africa) is composed of several types of ores: quartz vein, sulphide facies (45-50 m in depth), oxidized facies (35-45 m in depth) and, on the surface, a clayey zone. Therefore some physical features like permeability are essential in the heap leaching method. Taken separately, the ore associated with the clay show some recovery problems, when the humidity level is more than 12 to 15%. For this cause, the Department of science and mining resources of INP-HB has study the blending method thus to face that problem. It's consisting of mixing the clayey ore with different other types of ore proportionally to obtain a heterogeneous ore and increase its permeability thus. A leaching test has been achieved on six samples (blended clayey and lateritic ores) to determine the maximum recovery and the optimum consumption in reagents (NaCN and CaO). The tests results permit to obtain the best figure with 96.63% of reconstituted quantity recovery with reagents consumption of 1.41 kg/t in NaCN and 0.45 kg/t in CaO. In addition, some "in column" leaching tests must be done often to simulate the leaching in heap with the aim of determining some technical, physical and economic parameters to improve the process and therefore to increase the recovery.

KEYWORDS: Lateritic and clayey ores, Cyanidation in bottle, Gold recovery rate, Yaouré gold province, Central Ivory Coast, West Africa.

RESUME: Le gisement d'or de la province aurifère du "Yaouré" (Centre de la Côte d'Ivoire) est constitué de plusieurs types de minerais dont, du quartz filonien, un faciès sulfuré en profondeur (45-50 m), un faciès oxydé de mi-profondeur (35-45 m) et, plus en surface, un faciès argileux. Ces minerais sont donc de perméabilités différentes, propriété essentielle pour la cyanuration. Pris individuellement, le minerai argileux pose des difficultés de cyanuration liées à son imperméabilité lorsque l'humidité est supérieure à 12 – 15%. Ce qui a emmené le Département de recherche et de formation en Sciences de la Terre de l'INP-HB à étudier la méthode du "blending" qui consiste à combiner les différents types de minerais en roche avec le minerai argileux, afin de le rendre hétérogène et augmenter ainsi sa perméabilité. Des essais de lixiviation en bouteilles ont été réalisés sur six échantillons combinés de minerais argileux et latéritique pour déterminer le taux de récupération maximum et la consommation optimum en réactifs (NaCN et CaO). Les tests réalisés sur une densité de pulpe à 50% de solides montrent que le meilleur résultat obtenu au cours de ces essais indique une récupération de 96,63% de l'or en calculant par rapport aux quantités reconstituées, avec une consommation en réactifs de 1,41 kg/t pour le NaCN et 0,45 kg/t pour le CaO. Pour la suite de l'étude, des essais de lixiviation en colonne doivent se faire pour simuler la lixiviation en tas et en déterminer les paramètres économiques.

MOTS-CLEFS: Minerais latéritique et argileux, Cyanuration en bouteilles, Taux de récupération de l'or, Province aurifère du Yaouré, Centre de la Côte d'Ivoire, Afrique de l'Ouest.

1 INTRODUCTION

L'or, métal noble par excellence, est l'un des métaux les plus prisés aujourd'hui, vu son coût qui ne cesse de croître sur le marché international (plus de 1700 \$ l'once Troy en 2012 (1 once Troy = 31,10348 g)). Le gisement d'or de la province aurifère du Yaouré comporte plusieurs types de minerais distincts dont, notamment [1] :

- Du quartz filonien qui indique les origines hydrothermales de la minéralisation aurifère ;
- Un faciès sulfuré en profondeur (45-50 m) dans les roches vertes ;
- Un faciès de mi-profondeur (35-45 m) en altération (faciès dit "oxydé") encore compétent pour le concassage, mais qui connaît un début d'argilisation et où les sulfures et carbonates sont quasiment détruits ;
- Un faciès plus en surface où l'oxydation y est intense mais avec conservation de la texture de la roche. Ce minerai est dit "argileux".

Ces minerais sont de perméabilités différentes, propriété essentielle dans la cyanuration de l'or. Pris individuellement, le minerai argileux pose des difficultés de cyanuration lorsque l'humidité est supérieure à 12 – 15%. Avec l'accroissement des cours de l'or de ces dernières années, et donc de la baisse de la teneur de coupure du gisement à 0,6 g/t (gisement exploité par, CLUFF Gold (WA) Côte d'Ivoire, aujourd'hui Amara Gold Plc), il est apparu nécessaire d'étudier les conditions de traitement d'un nouveau minerai de type "latéritique", surtout en combinaison avec le minerai argileux. L'initiative de cette étude a été prise par le Département des Sciences de la Terre et des Ressources Minières de l'Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny de Yamoussoukro (INP-HB) en Côte d'Ivoire.

L'objectif principal de l'étude est d'hétérogénéiser le mélange obtenu et d'augmenter ainsi sa perméabilité. De façon spécifique, il s'agissait de réaliser des tests de cyanuration en bouteilles en vue de l'optimisation des taux de récupération de l'or dans les échantillons combinés de minerais latéritiques et argileux de la mine d'Angovia. Ces tests devraient permettre de quantifier le contenu en or du mélange obtenu et de déterminer les paramètres nécessaires à la récupération maximale de l'or.

2 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

2.1 LE MILIEU BIOPHYSIQUE

La province aurifère du "Yaouré" se situe au centre de la Côte d'Ivoire, à l'extrême Est de la Région du Marahoué, dans le Département et la Sous - Préfecture de Bouaflé (Figure 1). Elle est dominée par un massif montagneux très découpé et long de vingt (20) kilomètres sur dix (10) kilomètres de large environ. Le sommet le plus haut du massif culmine à six cent (600) mètres d'altitude au dessus de la pénéplaine environnante qui n'est qu'à deux cent (200) mètres [2]. La région appartient à l'unité structurale déformée du Protérozoïque inférieur ou Birimien du Yaouré, et comporte (Figure 2) :

- Un ensemble de gneiss migmatiques à biotites, marqués par une foliation centimétrique serrée, pouvant s'atténuer et disparaître par endroit pour donner à la roche l'aspect d'un granite homogène. Ces gneiss se rencontrent seulement sur la bordure ouest du Yaouré ;
- Un ensemble sédimentaire constitué d'un matériel vert sombre argilo-silteux passant à des grès fins grauwackeux parfois enrichis en niveaux quartzeux ;
- Un ensemble essentiellement volcanique constitué de coulées de basaltes andésitiques en coussin qui sont associées à de minces niveaux d'épiclastites et de hyaloclastites ;

Tardivement, des intrusions plutoniques de gabbros, d'ultrabasites, de diorites quartziques subvolcaniques, de dykes, de rhyolites-dacites et de granites discordants marquent la fin du magmatisme régional [3]-[7].

L'étude a été réalisée dans la carrière de la mine d'Or d'Angovia et sur l'un des deux sommets de la colline "Blanguand", celui qui culmine à 356 m d'altitude, de latitude N: 07°00,556', de longitude W: 005°31,027'. Sur ce sommet, se retrouvent une épaisse cuirasse latéritique aurifère, polygénique par endroits, à fragments de quartz et de roches vertes de taille centimétrique, indiquant la présence de brèches volcaniques. L'altération de ce matériau rocheux conduit à d'épaisses couches de sols brunifiés, argilisés, très riches en éléments grossiers, notamment au bas et à la mi-pente [8].

2.2 HISTORIQUE DE L'EXPLOITATION D'OR DANS LE YAOURE

Les travaux de prospection pour or dans la région du "Yaouré", ont commencé depuis les années 1920 par des prospecteurs travaillant pour leur propre compte ou celui de compagnies privées. Ces travaux se sont poursuivis avec la Direction des Mines de l'Afrique Occidentale Française (AOF), puis par le Bureau de Recherches Géologique et Minière (BRGM, France) pour aboutir à la découverte d'un gisement d'or en 1993. Le permis d'exploitation a été attribué à une société dénommée « Compagnie Minière d'Afrique (CMA) » qui a exploité une partie du gisement de 1998 à 2003. Le permis

a été ensuite repris par la compagnie CLUFF GOLD (WA) Côte d'Ivoire qui a développé, de 2004 à 2007, des travaux de certification et entamé en fin 2007, l'exploitation du gisement additionnel des "Monts Yaouré".

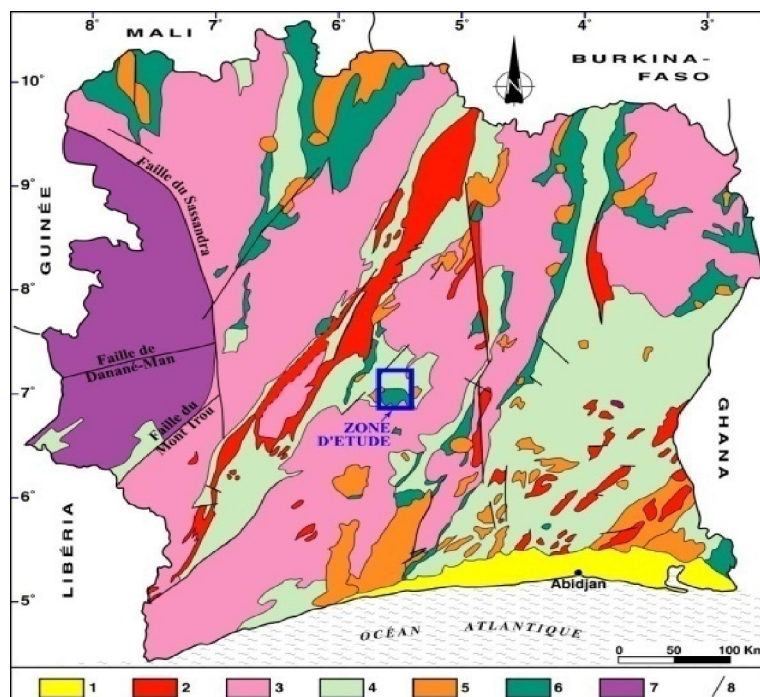


Fig. 1. Carte géologique simplifiée de la Côte d'Ivoire et localisation de la zone d'étude, modifiée d'après [9]. 1= formations post-birimien; 2= Domaines Paléoprotérozoïques; 3= granitoïdes à deux micas de type bassin; 4= granitoïdes indifférenciés; 5= bassins métasédimentaires; 6= granitoïdes de type ceintures de roches vertes d'âge; 7= volcanites; 8= domaine archéen; 9= fractures majeures

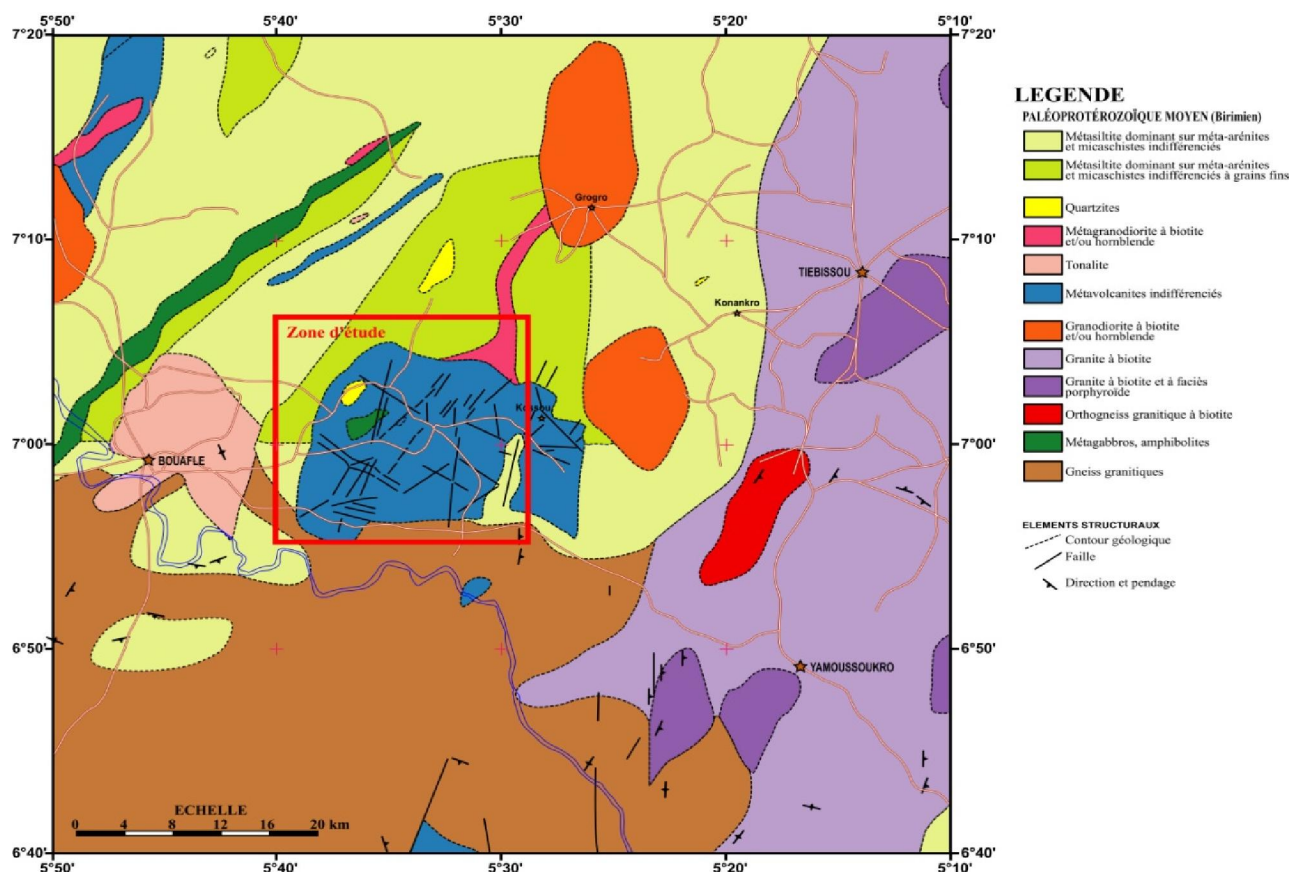


Fig. 2. Carte géologique des monts Yaouré, modifiée d'après [10]-[11]

3 MATERIEL ET METHODES

3.1 PREPARATION DES ECHANTILLONS

Un lot de vingt (20) échantillons dont 10 échantillons de minerais latéritique et 10 de minerais argileux totalisant 25 kg a été réceptionné au laboratoire de géologie et de traitement des minerais de l'INP-HB. Le lot de dix (10) échantillons de minerai latéritique a été prélevé entre le niveau 20 et la surface des sondages RAB au sommet de la colline Blangand. Ces sondages ont été réalisés sur divers points à des dates différentes et portent les dénominations suivantes : Lat-1-10 (0 - 2 m), Lat-3-10 (2 - 4 m), Lat-5-10 (4 - 6 m), Lat-6-10 (6 - 8 m), Lat-7-10 (8 - 10 m), Lat-8-10 (10 - 12 m), Lat-12-10 (12 - 14 m), Lat-13-10 (14 - 16 m), Lat-15-10 (16 - 18 m), Lat-16-10 (18 - 20 m). Le lot des 10 échantillons de minerai argileux a été prélevé dans la carrière de minerai argileux en exploitation.

La teneur moyenne en or est de l'ordre de 4,5 g/t pour le minerai argileux et de 2,5 g/t pour le minerai latéritique. Le choix du mélange est dû au fait que la latérite peut être facilement fragmentée et agglomérée, contrairement au minerai argileux, surtout lorsqu'il est humide. Ainsi, le mélange des deux types de minerais a été réalisé dans les proportions 1/2 pour le minerai latéritique et 1/2 pour le minerai argileux ; l'objectif étant de rendre plus perméable le minerai argileux plus riche en or.

L'ensemble des 20 échantillons est mis sur une bâche et mélangé à la pelle pour former un tas homogène. A l'aide d'un grand « diviseur », le tas est divisé en deux lots approximativement de même quantité, soit 12,5 Kg. L'un a été gardé en stock et l'autre réservé pour les différents tests. Ce dernier lot a été réduit dans un concasseur à mâchoires (KEEGOR-Jaw crusher) à 100% passant 2 mm. Par quartage du produit obtenu, une partie en a été extraite pour l'analyse quantitative de l'or, une autre pour l'analyse chimique totale, et une troisième pour l'étude minéralogique. Le reste a été re-mélangé puis passé au broyeur à meule (KEEGOR – vertical spindle pulverizer) pour donner un produit à 80% passant 75 µm. Par la suite, il a été quarté en douze portions destinées aux essais de cyanuration en bouteilles. Des prélèvements de 500 g ont été effectués sur chacune de ces douze portions pour déterminer, par analyse quantitative, les teneurs en or de l'alimentation pour chaque essai. Le schéma général de la préparation des échantillons est indiqué dans la Figure 3.

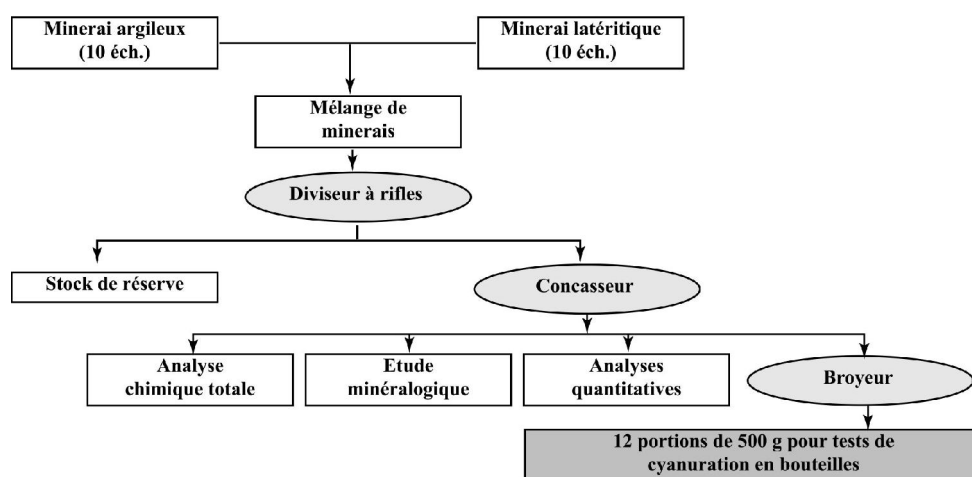


Fig. 3. Schéma général de préparation des échantillons

3.2 ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUES

Les analyses ont été réalisées dans les laboratoires de sol, de chimie et de Géologie de l'INP-HB de Yamoussoukro. Il s'agit de l'analyse minéralogique, de l'analyse chimique totale et de l'analyse quantitative.

4 ESSAIS DE CYANURATION EN BOUTEILLES

Les essais de cyanuration en bouteille ont été réalisés à différentes densités de pulpe puis en faisant varier la concentration de cyanure ajoutée à la pulpe aux différents essais. Les essais en bouteilles à différentes densités de pulpe ont été réalisés avec des sous-échantillons prélevés dans le composé. Les sous-échantillons ont été mis dans différentes bouteilles contenant de l'eau cyanurée à une concentration de 1g de NaCN/litre ; le pH a été ajusté avec de la chaux pour le maintenir entre 10,5 et 11. Les tests ont été réalisés à des densités de pulpe fixés à 40% solides, 50% solides, et 60% solides.

Chaque test a été fait en double pour vérifier la répétitivité des résultats, soit six tests réalisés (Tableau 1). Suite aux premiers résultats, nous avons décidé de continuer les analyses. Six autres essais en bouteilles ont été réalisés en faisant varier les quantités de cyanure ajoutées aux pulpes préparées à une densité de 50% solides (Tableau 2). Les différents pH ont été maintenus entre 10,5 et 11.

Table 1. Pulpes préparées à différentes densités en bouteilles

Densité de la pulpe % solide	Poids (grammes)				PH
	Minerai	Eau	CaO	NaCN	
40	400	600	0,23	0,60	10,5
40	400	600	0,24	0,60	10,5
50	500	500	0,25	0,50	10,5
50	500	500	0,26	0,50	10,5
60	600	400	0,27	0,40	10,5
60	600	400	0,27	0,40	10,5

Tableau 2. Pulpes préparées à différents taux de concentration de cyanure de sodium

Densité de la pulpe % solides	Poids (grammes)				PH
	Minerai	Eau	CaO	NaCN	
50	500	500	0,25	0,75	10,5
50	500	500	0,25	1,00	10,5
50	500	500	0,25	1,25	11,0
50	500	500	0,09	1,50	11,0
50	500	500	0,04	1,75	11,0
50	500	500	0,00	2,00	11,0

Les bouteilles contenant les différentes pulpes ont été déposées par lots de six sur un agitateur tournant (Roller). L'agitateur a été réglé à une vitesse de rotation de 75 tours par minute. Les bouteilles étaient ouvertes pour obtenir une bonne aération pendant l'opération. Elles ont été agitées en les faisant tourner sur elles-mêmes pendant 72 heures. A la fin de l'agitation, le contenu de chaque bouteille a été filtré à l'aide d'un filtre à pression. Les résidus ont été rincés chacun avec un litre d'eau, les solutions riches et les solutions de rinçage ont été dosées pour le cyanure résiduel et l'alcalinité protectrice. Des prélèvements de la solution riche et de la solution de rinçage ont été envoyés au laboratoire d'analyses pour déterminer les contenus en or. Les résidus rincés ont été séchés à l'étuve et des échantillons en ont été prélevés pour l'analyse quantitative de l'or.

5 RESULTATS ET DISCUSSION

5.1 ANALYSES QUANTITATIVE ET CHIMIQUE TOTALE

Les principaux minéraux de valeur contenus dans le minerai sont l'or et l'argent. Les différentes analyses faites sur les échantillons de l'alimentation des essais en bouteilles montrent que les teneurs en or varient entre 4 g/t et 6,6 g/t. Les éléments déterminés par l'analyse chimique totale sont : Al_2O_3 (8,78%), Fe_2O_3 (0,26%), MnO (0,01%), MgO (0,01%), CaO (0,01%), Na_2O (0,12%), K_2O (0,07%), TiO_2 (0,5%), P_2O_5 (0,33%), SiO_2 (pourcentage non déterminé).

5.2 ETUDE MINERALOGIQUE

Elle a été effectuée en stéréomicroscopie à un agrandissement de 25 fois. Les principaux minéraux déterminés dans l'échantillon sont l'or, la pyrite, le mica et le quartz. L'étude effectuée sur environ 63 g d'échantillon du minerai a mis en évidence 1% pyrite, 59% de mica, 40% de quartz, et 3 points d'or.

5.3 BILAN METALLURGIQUE (Au) A PARTIR DE L'ANALYSE QUANTITATIVE

Les résultats des analyses quantitatives ont permis de faire les bilans des lixiviations en bouteilles présentés par les tableaux 3 et 4 ci-après.

5.4 PULPES PREPAREES A DIFFERENTES DENSITES DE PULPES

Les résultats obtenus pour les tests effectués à différentes densités de pulpes (40% à 60% solides) ne caractérisent pas de manière évidente une tendance particulière de récupération de l'or qui se situe à un taux relativement élevé par rapport aux quantités reconstituées ; ils se situent entre 79,67% et 92,39%. Toutefois, on observe que le plus important taux de récupération se situe à une densité de 50% de pulpe. Ainsi, pour la suite de l'étude, il a donc été choisi la pulpe à 50% de solides.

5.4.1 PULPES PREPAREES A DIFFERENTS TAUX DE CONCENTRATION DE CYANURE DE NACN ET DE CAO

En faisant varier la concentration de cyanure de 1,5 g/l à 4 g/l dans une pulpe à 50% solide, on constate que : les taux de récupération sont assez élevés, variant entre 91,09 et 96,63% par rapport à la quantité reconstituée, le taux de récupération est le plus élevé avec une concentration en cyanure de 2 g/l, une certaine quantité d'or n'a pas été dissoute par le cyanure et se retrouve dans le résidu, une infime quantité d'or reste introuvable puisque la quantité d'or reconstituée est inférieure à celle déterminée à l'alimentation.

De l'or a été retrouvé dans le résidu parce qu'il pourrait y avoir eu passivation du cyanure par la présence soit d'ions retardateurs libérés en solution par les minéraux accompagnateurs de l'or tels que la pyrite. En effet, l'analyse de la composition minéralogique des échantillons indique la présence de pyrite (1%) qui pourrait être à la base de cette passivation. La pyrite est un cyanicide qui complexe le cyanure soit sous la forme ferrocyanate $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$, soit sous la forme thiocyanate SCN^- qui sont inertes pour l'or [12]-[13]-[14].

Il convient de signaler que le minerai est constitué de sulfures disséminés et d'or libre. L'or se présente sous des habitus divers, en plage variant de 1 à 150µm, inclus dans la structure solide des sulfures ou libre dans la gangue (silice, carbonates, mica blanc). L'or des sulfures est donc de type "réfractaire" [15], difficile à extraire car les sulfures et particulièrement la pyrite est inaltérable dans les conditions de cyanuration. La récupération nécessite alors un prétraitement oxydant pour libérer l'or (grillage, oxydation chimique, bio-oxydation).

Tableau 3. Bilan métallurgique (Au) des essais en bouteilles avec variation de la densité de la pulpe

Densité % solide	Alimentation			Solution riche			Solution de rinçage			Qt d'Or extrait (mg)	Résidus			Qt d'Or reconstituée (mg)	% récupération /Qt reconstituée
	Poids (g)	Teneur (ppb)	Qt Au (mg)	Volume (ml)	Teneur (ppb)	Qt Au (mg)	Volume (ml)	Teneur (ppb)	Qt Au (mg)		Poids (mg)	Teneur (ppb)	Qt Au (mg)		
40	400	4126	1,65	415	1217	1,01	1000	102	0,10	1,11	396,50	2188	0,12	1,23	90,24
40	400	4179	1,67	450	1152	1,02	1000	89	0,09	1,11	397,00	2268	0,15	1,26	88,10
50	500	4320	2,16	320	1800	1,33	1000	210	0,21	1,54	496,80	2087	0,25	1,79	86,03
50	500	4097	2,05	315	1836	1,58	1000	244	0,24	1,82	497,10	2421	0,15	1,97	92,39
60	600	4451	2,67	230	2579	1,59	1000	373	0,37	1,96	597,50	2276	0,50	2,46	79,67
60	600	6594	3,96	250	2390	2,60	1000	497	0,50	3,1	596,10	2405	0,33	3,43	90,38

Tableau 4. Bilan métallurgique (Au) des essais en bouteilles avec variation de la concentration en cyanure

Solution NaCN (g/litre)	Alimentation			Solution riche			Solution de rinçage			Qt d'Or extrait (mg)	Résidus			Qt d'Or reconstituée (mg)	% récupération /Qt reconstituée
	Poids (g)	Teneur (ppb)	Qt Au (mg)	Volume (ml)	Teneur (ppb)	Qt Au (mg)	Volume (ml)	Teneur (ppb)	Qt Au (mg)		Poids (mg)	Teneur (ppb)	Qt Au (mg)		
1,50	500	4650	2,33	310	2275	1,61	1000	483	0,25	1,86	491,8	2507	0,13	1,99	93,47
2,00	500	4734	2,37	285	2382	1,68	1000	425	0,33	2,01	495,5	2162	0,07	2,08	96,63
2,50	500	5148	2,57	285	2212	1,53	1000	360	0,26	1,79	496,1	2391	0,19	1,98	90,40
3,00	500	4907	2,45	280	2280	1,54	1000	329	0,23	1,77	495,5	2233	0,11	1,88	94,15
3,50	500	4838	2,42	280	2349	1,56	1000	375	0,28	1,84	493,8	2389	0,18	2,02	91,09
4,00	500	4985	2,49	290	2325	1,47	1000	350	0,25	1,72	493,2	2304	0,14	1,86	92,47

5.5 BILAN DES CONSOMMATIONS EN REACTIFS CHIMIQUES (NACN ET CAO)

Deux types d'évaluation ont été faites : la consommation des réactifs chimiques à l'essai avec variation de la densité de la pulpe et celle des réactifs chimiques à l'essai avec variation de la concentration de cyanure.

5.5.1 LA CONSOMMATION DE CYANURE DE SODIUM

La consommation de cyanure décroît au fur et à mesure que la densité de la pulpe augmente (tableau 5) : de 1,35 kg/tonne de minerai dans la préparation de 40% solides à 0,65 kg/tonne de minerai dans la préparation à 60% solides. En faisant varier la concentration de cyanure de 1,5 g/l à 4 g/l, le taux de récupération de l'or évolue en "dents de scie" de 93,47% correspondant à 1,5 g/l à 92,47% correspondant à 4 g/l, avec un pic de 96,63% correspondant à 2 g/l de NaCN. La quantité de cyanure consommée croît progressivement avec une augmentation de sa concentration dans la pulpe au départ (tableau 6) : de 0,96 Kg/tonne de minerai pour une concentration de 1g/l de solution à la préparation, elle monte à 2,49 kg/tonne pour une concentration de cyanure de 4 gr/l (Tableau 6). Cette croissance ne s'accompagne pas de celle du taux de récupération à partir de 2 g/l. Cela pourrait s'expliquer par la présence de pyrite (FeS₂) qui favorise une consommation importante de cyanure pendant la lixiviation et empêche une bonne récupération de l'or.

Tableau 5. Consommation de NaCN à l'essai en bouteilles avec variation de la densité de pulpe

Densité de la pulpe % solides	Poids (grammes)				Consommation NaCN en kg/t de minerai
	Minerai	NaCN initial	NaCN final	NaCN consommé	
40	400	0,600	0,058	0,542	1,35
40	400	0,600	0,063	0,537	1,34
50	500	0,500	0,019	0,481	0,96
50	500	0,500	0,019	0,481	0,96
60	600	0,400	0,009	0,391	0,65
60	600	0,400	0,010	0,390	0,65

Tableau 6. Consommation de NaCN à l'essai avec variation de la concentration de cyanure

Concentration de NaCN dans la pulpe (g/l)	Poids (grammes)				Consommation NaCN en kg/t de minerai
	Minerai	NaCN initial	NaCN final	NaCN consommé	
1,50	500	0,750	0,048	0,702	1,40
2,00	500	1,000	0,294	0,706	1,41
2,50	500	1,250	0,352	0,898	1,80
3,00	500	1,500	0,484	1,016	2,03
3,50	500	1,750	0,552	1,198	2,40
4,00	500	2,000	0,755	1,245	2,49

5.5.2 LA CONSOMMATION DE CHAUX

La quantité de chaux consommée par contre décroît progressivement de 0,45 kg/tonne de minerai pour une concentration de cyanure de 1,5 g/l à une consommation nulle pour une concentration de cyanure de 4 g/l (Tableaux 7 et 8). Cela peut s'expliquer, avec l'augmentation de la quantité de NaCN, par la passivation progressive des ions cyanures due à la formation des complexes de ferrocyanates ou de thiocyanides liés à la présence de sulfures. L'alcalisation de la pulpe va, en conséquence, baisser progressivement.

Tableau 7. Consommation de CaO à l'essai en bouteilles avec variation de la densité de pulpe

Densité de la pulpe % solides	Poids (grammes)				Consommation CaO en kg/t de minerai
	Minerai	CaO initial	CaO final	CaO consommé	
40	400	0,230	0,007	0,223	0,56
40	400	0,240	0,007	0,233	0,58
50	500	0,250	0,005	0,245	0,49
50	500	0,260	0,005	0,255	0,51
60	600	0,270	0,004	0,266	0,44
60	600	0,270	0,004	0,266	0,44

Tableau 8. Consommation de CaO à l'essai avec variation de la concentration de cyanure

Concentration de NaCN dans la pulpe (g/l)	Poids (grammes)				Consommation CaO en kg/t de minerai
	Minerai	CaO initial	CaO final	CaO consommé	
1,50	500	0,250	0,027	0,223	0,45
2,00	500	0,250	0,025	0,225	0,45
2,50	500	0,250	0,047	0,203	0,41
3,00	500	0,090	0,067	0,023	0,05
3,50	500	0,040	0,004	0,036	0,07
4,00	500,00	0,000	0,000	0,000	0,00

Une synthèse de la consommation en réactifs chimiques est indiquée dans le tableau 9.

Tableau 9. Récapitulatif des bilans des analyses

Concentration NaCN (g/litre)	Teneur d'alimentation en or (ppb)	Récupération par rapport à la quantité reconstituée	Consommation en réactifs (Kg/tonne de minerai)	
			NaCN	CaO
1,50	4650	93,47	1,40	0,45
2,00	4734	96,63	1,41	0,45
2,50	5148	90,40	1,80	0,41
3,00	4907	94,15	2,03	0,05
3,50	4838	91,09	2,40	0,07
4,00	4985	92,47	2,49	0,00

6 CONCLUSION

Les tests réalisés dans le cadre de cette étude indiquent qu'on peut inclure dans les réserves exploitables, des minerais latéritiques en combinaison avec le minerai argileux. En effet, les essais de lixiviation en bouteilles ont été effectués pour déterminer l'extraction maximale de l'or, la consommation en cyanure et en chaux. Ces essais montrent bien que le minerai soumis au "blending" est facilement lixiviable, avec une récupération de l'or de 91,09 à 96,63%, dans des conditions de traitement bien spécifiques (variation d'ajouts de cyanure et de chaux). En somme, la récupération maximale (96,63%) est obtenue avec une consommation de 2 g/l de NaCN et 0,225 g/l de CaO, soit respectivement 1,41 kg/tonne et 0,45 kg/tonne de minerai. Des taux de récupération similaires ont été obtenus dans le gisement aurifère de Sega au Burkina Faso (Afrique de l'Ouest) [16].

La consommation de chaux est relativement faible et décroît avec l'augmentation en concentration de cyanure ajoutée. Les différents paramètres déterminés à partir des essais pourront permettre de comparer les coûts de production au gain qu'elle peut obtenir par la récupération de 96,63% dans ce minerai. Il faut cependant retenir que les échantillons traités ont été préparés dans des conditions optimum d'opération (broyage fin, excès de réactifs, homogénéisation de la pulpe, etc.). Pour la récupération de l'or contenu dans les résidus, nous recommandons l'ajout à la pulpe de sels de thallium qui, soulignons-le, augmentent de façon spectaculaire la dissolution de l'or lorsqu'il y a passivation. Les résultats pourraient indiquer si ce réactif peut être utilisé sur les tas de lixiviation dans des conditions économiques acceptables.

Nous recommandons, pour la suite de l'étude, la réalisation d'essais en colonnes sur le minerai argileux et latéritique combinés pour permettre de mieux cerner les conditions d'opération sur le terrain (temps effectif de cyanuration, tenue des agglomérats de minerai, perméabilité des tas à lixivier, consommation effective de réactifs) et surtout, la fiabilité des résultats de la cyanuration en bouteilles ainsi que les écarts à observer pour une meilleure récupération de l'or.

REFERENCES

- [1] C.M.A., "Rapport technique du service Mine et Géologie," *Compagnie Minière d'Afrique, Mine d'Angovia*, document non publié, 2000.
- [2] L. Gauthier, "Contact forêt-savane en Côte d'Ivoire centrale ; évolution du recouvrement ligneux des savanes de la réserve de Lamto (Sud du V-baoulé)," *Candolléa*, vol. 45, pp. 628-629, 1990.
- [3] R. Fabre, P. Ledru, and J. P. Milési, "Le Protérozoïque inférieur (Birimien) du centre de la Côte-d'Ivoire: évolution tectonique et corrélations," *C. R. Acad. Sci. Paris*, vol. 311, ser. II pp. 971-976, 1990.
- [4] R. Fabre and B. Morel, "Stratigraphie des unités birimiennes dans le centre de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest)," *Bulletin de la Société Géologique, France (BSGF)*, vol. 164, no. 4, pp. 609-621, 1993.
- [5] K. Affian, F. B. Anoh, E. V. Djagoua, M. Robin, M. C. Azagoh, P. NGuessan, K. F. Kouamé, M. B. Saley, and J. Biémi, "Contribution de la télédétection à la recherche de gisement d'or dans la région d'Angovia en Côte d'Ivoire," *Télédétection*, vol. 4, no. 3, pp. 277-288, 2004.
- [6] G. B. Koffi, G. Ouattara, and A. K. Yao, "Geometry and kinematics of structures controlling the mineralization of Angovia gold mine (Central Ivory Coast, West Africa)," *Revue International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 4, Issue 2, February 2013, ISSN 2229-5518*, à paraître, 2013.
- [7] SRK Consulting (UK) Ltd, "Technical review of the Angovia gold mine, mount Yaouré, Côte d'Ivoire," *Prepared under National Instrument 43-101 and accompanying documents 43-101F1 and 43-101CP. Report Prepared for : CLUFF GOLD PLC, 24 Queen Anne Gate, London (UK), SW1H 9AA*, 2008, www.srk.co.uk / www.cluffgold.com.
- [8] A. Yao-Kouamé, G. F. Yao, A. K. N'Guessan, T. P. Tiémoko, and Y. K. Kloman, "Etude morphopédologique du bassin versant du mont Blanguand dans le massif du Yaouré en région centre de la Côte d'Ivoire," *Afrique SCIENCE*, vol. 04, no. 3, 2008, <http://www.afriquescience.info/document.php?id=1216>. ISSN 1813-548X.
- [9] B. Tagini, "Esquisse structurale de la Côte d'Ivoire. Essai de géotechnique régionale," *Thèse Université Lausanne, Société pour le Développement Minier de la Côte d'Ivoire (SODEMI), Abidjan, Côte d'Ivoire*, 302 p, 1971.
- [10] M. Jaujou, "Le levé géologique du degré carré de Bouaké, Rapport de fin de mission," *Bureau de Recherches Géologique et Minière (BRGM), France*, 1970.
- [11] M. Diallo, "Cartographie géologique et structurale : Proposition d'un modèle géologique du corps minéralisé," *Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de technique, INP-HB, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire*, 56 p., Rapport non publié, 2009.
- [12] N. P. Finkelstein, "The chemistry of the extraction of gold from its ores," *Gold metallurgy in South Africa, Adamson, R. J. (ed.), Johannesburg, Chamber of Mines of South Africa*, pp. 84-351, 1972.
- [13] E. Jessica, "Effet de la granulométrie sur la cyanuration de l'or," *Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval dans le cadre du programme de maîtrise en génie de la métallurgie pour l'obtention du grade de maître en sciences (M. Se.)*, 183 p., décembre 2007.
- [14] G. Deschênes, M. Rousseau, J. Tardif, and P. J. H. Prud'Homme, "Effect of the composition of some sulphide minerals on cyanidation and use of Lead Nitrate and Oxygen to alleviate their Impact," *Hydrometallurgy*, pp. 205-221, August 1998.
- [15] M. D. Adams, "The chemical behaviour of cyanide in the extraction of gold. 2. Mechanisms of cyanide loss in the carbon-in-pulp process," *Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy*, vol. 90, no.3, pp. 67-73, 1990.
- [16] OreZone, "Orezone confirme des résultats métallurgiques positifs pour le gisement aurifère de Segha, Des recouvrements HL indiqués > 90% pour les CIL et 85% pour la lixiviation en tas de ressources oxydées". <http://www.orezone.com/fr/actualités/communiqués-de-presse/2011/4/orezone-confirme-des-résultats-métallurgiques-positifs-pour->

Larvicidal Activities of Different Parts of *Artemisia vulgaris* Linn. against *Culex quinquefasciatus* Say. (Diptera: Culicidae)

Ikram Ilahi and Farman Ullah

Department of Zoology,
University of Malakand,
Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan

Copyright © 2013 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The plant *Artemisia vulgaris* is a perennial weed, belongs to the family Asteraceae, and locally known as Tarkha in Dir and Swat regions of Khyber Pakhtunkhwa (K.P.K), Pakistan. The present study aimed to evaluate the larvicidal activity of methanol extracts of roots, stem and leaves of *Artemisia vulgaris* against *Culex quinquefasciatus*. The 3rd and 4th instars larvae of *Culex quinquefasciatus* were exposed for 24 hours to various concentrations (50, 100, 500, 1000, and 1500 ppm) of methanol extracts of different parts of *Artemisia vulgaris*. The leaves extract resulted in significantly higher ($P < 0.05$) mortality when compared to the mortality caused by the root and stem extracts. The LC_{50} value for roots extract was 9141.0 ppm, stem extract 2224.2 ppm and leaves extract 803.2 ppm. The findings of the present study presented the methanol extract of the leaves of *Artemisia vulgaris* as a good source of preparations for pest control especially mosquito control.

KEYWORDS: Methanol extracts, Mortality, LC_{50} , 3rd instars, 4th instars.

1 INTRODUCTION

The mosquito, *Culex quinquefasciatus* Say. is a painful and persistent biter and acts as a vector of *Wuchereria bancrofti* which causes lymphatic filariasis [1]. Lymphatic filariasis, commonly known as elephantiasis is a painful and profoundly disfiguring disease. According to WHO (2010) [2], 120 million people in tropical and subtropical areas of the world suffered from lymphatic filariasis. Among these infected people, about 25 million men suffered with genital disease most commonly hydrocele, and 15 million, mostly women, suffered with lymphoedema or elephantiasis of leg [2]. In Pakistan, imported cases of human filariasis were reported from Sindh province during 1969 by Wolf and Aslamkhan [3]. In 2001, confirmed cases of tropical pulmonary eosinophilia (TPE) were reported in indigenous patients; however the disease is rare in Pakistan [4]. Other species of mosquitos are also constant threats to man by manifesting different diseases including malaria, dengue, yellow fever and certain other mosquito- borne viral diseases.

The increasing incidence of mosquito-borne diseases is due to the availability of breeding places and the increasing resistance of mosquitoes to current commercial insecticides [5]. For the control of mosquito-borne diseases, especially the vectors (mosquitoes) should be eradicated. In mosquito control program, a more efficient and attractive approach is to kill them in larval stages [6]-[7]. Various synthetic insecticides are widely used for controlling adult and larval mosquito populations. Larvicides are used for controlling mosquito population in standing water. There are three main groups of mosquito larvicides; natural organic, synthetic organic and inorganic, which are further classified on the basis of the way in which the chemical compounds enter into the body of the insect. The larvicides that are ingested and absorbed through alimentary tract are called stomach poison e.g Paris green; the larvicides that penetrate into the body wall are called contact poisons e.g Pyrethrum, and those which enter through the spiracles are called respiratory poison such as Dichlorvos, a fumigant [8].

The constant use of chemical insecticides leads to the disruption of natural biological control systems and outbreaks of insect species [9]-[11]. This constant use of synthetic insecticides also leads to insect resistance, environmental pollution and

undesirable effects on humans, mammals, and other non-target organisms [9]-[10]. Therefore there is increasing inclination towards alternative and sustainable methods of mosquito control which is eco-friendly [11].

Plant based insecticide are gaining attraction. Botanical based pesticides are effective, eco-friendly, easily degradable and also inexpensive [12]. Many plant species are known to have insecticidal properties [13]-[16]. Various types of plant preparations such as powder, solvent extracts and essential oils have been reported for their larvicidal activity against insect pests including mosquitoes. These plant preparations act as insect growth regulators, anti-feedants and insect repellents [17]-[19]. Several plants are known for their larvicidal activities, for example *Artemisia annua* Linn. [20], *Ageratina adenophora* (Spreng). king & H. Rob [21], *Artemisia parviflora* Buch. [22], *Sterculia guttata* Linn. [23], *Solanum xanthocarpum* Linn. [24] and *Melia azedarach* Linn. [25]-[30].

In the present study, the plant *Artemisia vulgaris* Linn. was selected for the larvicidal activity against *Culex quinquefasciatus*. The plant *Artemisia vulgaris* (mugwort or common wormwood) is a perennial weed, belongs to the family Asteraceae, growing wild and abundantly in temperate and cold-temperature zones [31]. The *Artemisia vulgaris* is locally known as Tarkha in Dir and Swat regions of Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. Different parts of *Ar. vulgaris* have also been reported for their antibacterial and anti-viral activities [32]. This plant is also known for its insecticidal and insect repellent property [33]. Its essential oils have shown insecticidal activity against *Aedes aegypti* [34]. The branches and leaves of *Artemisia vulgaris* have been reported for repelling insects and rats from granaries [35]. Pugazhvendan et al. (2012) [36] studied the insecticidal and repellent activity of *Artemisia vulgaris* against the stored grain pest, *Tribolium castaneum*.

1.1 AIMS

The present study aimed to point out the efficient and potent larvicidal part of *Artemisia vulgaris* by evaluating the larvicidal activities of methanol extracts of its root, stem and leaves, against a mosquito, *Culex quinquefasciatus*. The objective of the study was to contribute further to the knowledge of use of eco-friends, the herbs, against the most frequently occurring mosquito, *Culex quinquefasciatus*, which is a persistent bitter and vector of filariasis.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 PLANT MATERIAL

The leaves, roots and stem of *Artemisia vulgaris* (L) were collected from the area of Bandagi Talash, Dir (L), Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan, during May, 2012. The plant was identified by Dr. Nasurallah Khan, Assistant professor, Department of Botany, University of Malakand, Khyber Pakhtunkhwa (K.P.K), Pakistan.

2.2 EXTRACTION

The root, stem and leaves of *Artemisia vulgaris* were cleaned and shade dried. The stem, roots and leaves of the plant were separately ground and their powder forms were obtained. The powdered forms of roots, stem and leaves in amount of 64, 47 and 55gm respectively were soaked in methanol for seven days. The volume of methanol used was 300ml for roots powder, 560 ml for stem powder and 300 ml for leaves powder. The soaked materials were separately filtered through muslin cloth. Each filtrates was then separately evaporated on a rotary evaporator (Heidolph Laborata efficient), under reduced pressure at 40°C and a thick solution of each filtrate was obtained. Each solution was then transferred to a separate petridish and the remaining solvent was evaporated by placing the petri dishes under running fan in shade. The dry weight of stem extract was 1.42g (3.02 %), roots extract 1.12g (2.03 %) and leaves extract was 5.12g (8 %). The extracts were stored in refrigerator.

2.3 TEST ORGANISM AND LARVICIDAL BIOASSAY

The 3rd and 4th instars larvae of *Culex* mosquito were collected in a large plastic jar with the help of a glass dropper from a ditch of stagnant water at the campus of University of Malakand, and brought to the laboratory. A stock solution of 5000 ppm of each extract was prepared in distilled water. From the stock solution of each extract, 100 ml each of 50, 100, 500, 1000 and 1500 ppm, were prepared in different 400ml plastic cups, which were labeled accordingly. For larvicidal activity of each extract, 20 larvae of late 3rd and early 4th instars were transferred to each plastic cup with the help of a large mouthed glass dropper. Larval food consisting of finely ground brewer's yeast and dog biscuit in 3:2 was added to each cup. A control was also maintained by adding only larval food. All the experiments were carried out at 35 ± 3°C and 65-70 % relative humidity. The larvae were exposed to the extract solution for 24 hours. After 24 hours, the dead larvae were studied for

taxonomic characters by using binocular microscope and identification was made up to species level with the help of taxonomic keys provided in the literatures [37]-[38]. The larvae that remained alive were killed by transferring to petridish containing hot water and then identified up to species. All the larvae were belonging to the mosquito species, *Culex quinquefasciatus*.

2.4 STATISTICAL ANALYSIS

The larvicidal activities of extracts were presented as percent mortality of larvae by using the following formula; percent mortality = Number of dead larvae / Total exposed larvae X 100. The results were presented as mean $\pm$ standard deviation of means of three replicates. The dose-response data were subjected to linear Regression analysis to point out the relationship between the increase in extract concentration and larval mortality. For the calculation of LC₅₀ values the data was subjected to Probit Regression Analysis. To compare the Larvicidal activities of methanol extracts of leaves, root and stem, the data was subjected to Duncan Test of Post Hoc Multiple Comparisons in One Way ANOVA. For all these analysis computer software SPSS 16.0 was used.

3 RESULTS

The larvicidal activity of various concentration of methanol extracts of different parts of *Artemisia vulgaris* were studied against *Culex quinquefasciatus*. There occurred a continuous increase in mortality of 3rd and 4th instars larvae with increase in concentration of the extracts. The mortality caused by each of the roots, stem and leaves methanol extract, was subjected to linear regression analysis. The value of R square for roots, stem and leaves was 69.9, 72.5 and 96.2 respectively (Table 3.1). The results of linear regression analysis clearly indicated the relationship between the increase in concentration of extracts and the increase in larvicidal activity. Maximum linearity (R square = 96.2) was shown by the leaves extract. The LC₅₀ values of different parts of *Artemisia vulgaris* with 95 % confidence interval are shown in table 3.2. The LC₅₀ values of roots, stem and leaves extracts were 9141.0ppm, 2224.2ppm and 803.2ppm respectively. These results indicated the leaves extract as efficient larvicidal against *Culex quinquefasciatus*.

The larvicidal activities of roots, stem and leaves extracts were compared statistically (Table 3.3). At the concentrations of 50 and 100ppm, the leaves extract caused non-significantly higher ($P>0.05$) mortality. At 500, 1000 and 1500 ppm, the larvicidal activity of leaves extract was significantly higher ($P<0.05$) as compared to the larvicidal activities of roots and stem extracts.

Table 3.1. Linear regression analysis of larvicidal activities of methanol extracts of *Artemisia vulgaris* against *Culex quinquefasciatus* after 24 hours exposure

Model	R	R square	Significance
Root	69.9	48.9	0.122
Steam	72.5	52.6	0.103
Leaves	96.2	92.6	0.002

Table 3.2. The LC₅₀ values of methanol extracts of different parts of *Artemisia vulgaris* against 3rd and 4th instar larvae of *Culex quinquefasciatus* after 24 hours exposure period

Plant Parts	LC ₅₀ (ppm)	95 Confidence interval		df	X ²
		Lower bound	Upper bound		
Root	9141.0	3457	78179.6	3	0.129
Stem	2224.2	1461.12	8320.60	3	0.554
Leaves	803.2	602.9	1146.03	3	2.728

LC₅₀. extract concentration that kills 50 % of *Culex quinquefasciatus* larvae.

4 DISCUSSION

In the present study the larvicidal potentials of methanol extracts of roots, stem and leaves of the plant *Artemisia vulgaris* (Linn) were evaluated against a culicine mosquito, *Culex quinquefasciatus* Say. The extract of each part showed dose dependent increase in larvicidal activity. At higher doses, the leaves extract caused a significantly higher mortality against the 3rd and 4th instar larvae of *Culex quinquefasciatus*.

Documented reports are available about the insecticidal potential of *Artemisia vulgaris*. Lavor et al. (2012) [39] studied the larvicidal activities of essential oils from the leaves of *Artemisia vulgaris*, *Cymbopogon flexuosus* (Nees ex Steud.) Wats. and *Piper tuberculatum* Jacq. against *Aedes aegypti*. The essential oil of *P. tuberculatum* had the lowest LC50 value (106.3 +/- 2.2 microg/mL), followed by *A. vulgaris* (114.1 +/- 1.7 microg/mL) and *C. flexuosus* (121.6 +/- 0.8 microg/mL). Thujone, an active component of essential oils, extracted from *A. vulgaris* and other plants of the genus *Artemisia*, is a cyclic ketone and insecticidal [40]-[41]. Pugazhvendan et al. (2012) [36] studied the insecticidal and repellent actions of *A. vulgaris* and some other plant extracts against stored grain pest, *Tribolium castaneum* (Herbst). It was suggested that the plant extract contain actives toxic substances acting after consumption or topical application. The insecticidal activity of *Artemisia vulgaris* extract has also been reported against *Sarcoptes scabiei* [42]. Jogar et al. (2006) [43] studied the effects of *A. vulgaris*, *A. absinthum* and some other plants extracts, on the development and physiological state of Lepidopterous insects. The respiration and transpiration systems of the insects were the vulnerable targets for extracts [43]. The plant extracts caused a loss in discontinuous gas exchange cycles (DGCs) which resulted in water loss and death of insect [43].

Other plants of the genus *Artemisia* have also been reported for their larvicidal activity. Abd-Elhady et al. (2012) [44] reported the insecticidal properties of essential oil derived from aerial parts of *Artemisia judaica* (Linn), against the cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus* (Fab.) (Coleoptera: Bruchidae). Sharifian et al. (2012) [45] reported the insecticidal activity of *A. herba-alba* oil against *Tribolium castaneum* (Herbst), *Callosobruchus maculatus* (F.) and *Rhyzopertha dominica* (F). Panneerselvam et al. (2012) [46] reported the larvicidal, pupicidal, adulticidal, and repellent activity of *Artemisia nilagirica* against the mosquitoes, *Anopheles stephensi* and *Aedes aegypti*, and suggested the leaf extract as a potent larvicidal.

Artemisia extracts contain secondary metabolites mainly monoterpenoids such as vulgarole, spathulenol, vulgarin, triterpenoids: α -amyrin, α -amyrin acetate and fernenol [47]-[48]. The insecticidal properties of *Artemisia vulgaris* and other plants of the genus *Artemisia* have been attributed to the presence of these secondary metabolites. Huwang et al. (1985) [49] isolated and identified mosquito repellent compounds in *Artemisia vulgaris* against *Aedes aegypti*. The compounds isolated were mainly monoterpenoids such as linalool, camphor, isoborneol, borneol, terpinen-4-ol, isobornyl, Nonanone-3, (α + β)-thujone, bornyl acetate, β -Pinene, myrcene, α -terpinene, limonene, and cineole [49].

Table 3.3. Comparison of larvicidal activities of methanol extracts of different parts of *Artemisia vulgaris* against *Culex quinquefasciatus* after 24 hours exposure

Concentration (ppm)	Root (Mortality %)	Stem (Mortality %)	Leaves (Mortality %)	F Value
50 ppm	9.30 $\pm$ 2.85 ^a	7.5 $\pm$ 2.85 ^a	11.65 $\pm$ 2.85 ^a	0.333
100 ppm	13 $\pm$ 10 ^a	11 $\pm$ 5 ^a	17 $\pm$ 5 ^a	0.500
500 ppm	22 $\pm$ 8.65 ^a	17.23 $\pm$ 10 ^a	38.3 $\pm$ 7.85 ^b	4.32
1000 ppm	28.3 $\pm$ 7.635 ^a	21.65 $\pm$ 11.545 ^a	49.65 $\pm$ 23.6 ^b	10.81
1500 ppm	33.3 $\pm$ 10.4 ^a	28.3 $\pm$ 7.6 ^a	66.3 $\pm$ 8 ^b	44.33

Values are mean and standard deviation of means of three replicates. Means sharing no letter are significantly different at P<0.05. Means sharing a letter in common are not significantly different at P<0.05.

During the present study, the larvicidal activity of the methanol extracts of roots, stem and leaves of *Artemisia vulgaris* was studied against the mosquito *Culex quinquefasciatus*. Many other plants have also been reported for their larvicidal activity against *Culex quinquefasciatus*. Ilahi et al. (2012) [30] studied the larvicidal activity of aqueous extracts of bark, fruits and leaves of *Melia azedarach* (Linn) against *Culex quinquefasciatus* at the concentrations of 50, 100, 500, 1000, 1500 and 2000 ppm. Among these extracts, the bark extract caused significantly higher mortality of 3rd and 4th instar larvae of *Culex quinquefasciatus*. Tennyson et al. (2012) [50] reported the larvicidal activity of *Aegle marmelos* (Linn), *Alstomia scholaris* (Linn), *Aristolochia indica* (Linn), *Cassia fistula* (Linn), *Cinnamomum zeylanicum* (Breyn), *Cleistanthus collinus* (Roxb) and

several other plants against *Culex quinquefasciatus*. Sakthivadivel et al. (2012) [51] reported the larvicidal activity of *Argemone mexicana* (Linn), *Clausena dentate* (Wild) M. Roem, *Sepadessa baccifer* (Roth), *Dodonaea angustifolia* (Linn) and *Melia dubia* (Cav) against *Culex quinquefasciatus*. Other plants that possess larvicidal activity against *Culex quinquefasciatus* include *Citrus aurantium* (Linn) [52], *Jatropha curcas* (Linn), *Euphorbia hirta* (Linn) [53], *Aloe barbandensis*, *Cannabis sativa* [54], *Ocimum basilicum* (Linn) [55], *Solanum nigrum* (Linn) [56] and *Feronia limonia* (Linn) [57].

During the present study, the methanol extract of leaves of *Artemisia vulgaris* showed significantly higher larvicidal activity against *Culex quinquefasciatus*. The methanol extracts of other parts of this plant were weak larvicidal. The higher insecticidal potential of leaves extract presents the *Artemisia vulgaris* leaves as the rich source of toxic metabolites.

4.1 CONCLUSION AND FUTURE RECOMMENDATIONS

From the findings of the present research it was concluded that the methanol extract of *Artemisia vulgaris* leaves is the most efficient larvicidal against the mosquitoes and eco-friendly. Further research is needed on activity oriented fractionation, qualitative and quantitative screening of insect repellent, insect growth regulators and antifeedent metabolites which may contribute to the enhanced quality measurements of humanity against mosquitoes.

REFERENCES

- [1] G.R. Rajasekariah, P.B. Parab, R. Chandrashekar, L. Deshpande and D. Subrahmanyam, "Pattern of *Wuchereria bancrofti* microfilaraemia in young and adolescent school children in Bessein, India, an endemic area for lymphatic filariasis," *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, vol.85, pp. 663 – 665, 1991.
- [2] WHO, Global program to estimate lymphatic filariasis: http://www.who.int/lymphatic_filariasis/disease/en/, 2010.
- [3] M.S. Wolfe and M. AslamKhan, "Filariasis survey in Karachi," *Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, vol. 63, pp. 147, 1969.
- [4] M.A. Beg, A. Naqvi, V. Zamanand, R. Hussain, "Tropical Pulmonary Eosinophilia and Filariasis in Pakistan," *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, vol. 32, no. 1, pp. 73-75, March 2001.
- [5] G. Ciccio, J. Coussio and E. Mongelli, "Insecticidal activity against *Aedes aegypti* larvae of some medicinal South American plants," *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 72, pp. 185-189, September 2000.
- [6] A. Amerand H. Mehlhorn, "Larvicidal effects of various essential oils against *Ades*, *Anopheles*, and *Culex* larvae (Diptera: Culicidae)," *Parasitology Research*, vol. 99, pp. 466-472, April 2006.
- [7] K.M. Knio, J. Usta, S. Dagher, H. Zournajian and S. Kreydiyyeh, "Larvicidal activity of essential oils extracted from commonly used herbs in Lebanon against the seaside mosquito, *Ochlerotatus caspius*," *Bioresource Technology*, vol.99, pp. 763-768, March 2008.
- [8] G. Macdonald, "The epidemiology and control of malaria," London, New York: Oxford University Press, pp. 201, 1957.
- [9] A.W.A. Brown, "Insecticide resistance in mosquitoes: a pragmatic review," *Journal of the American Mosquito Control Association*, vol. 2, pp. 123-143, June 1986.
- [10] S.E. Lee, J.E. Kim and H.S., "Insecticide resistance in increasing interest," *Agricultural Chemistry & Biotechnology*, vol. 44, pp. 105–112, 2001.
- [11] C.D. Milam, J.L. Farris and J.D. Wilhide, "Evaluating mosquito control pesticides for effect on target and non target organisms," *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 39, pp. 324-328, September 2000.
- [12] M. Jacobson, "Insecticides from plants: a review of the literature," 1941 - 1953; U. S Dept. Agric. Handbook, 154.U.S Department of Agriculture, Washington, pp. 299, 1941.
- [13] T. Pankaj and S. Anita, "Assessment of larvicidal properties of aqueous extracts of four plants against *Culex quinquefasciatus* larvae," *Jordan Journal of Biological Sciences*, vol. 3, no. 1, pp. 1- 6, January 2010.
- [14] C. Kamaraj, A. Bagavan, G. Elango, A. AbdulZahir, G. Rajakumar, S. Marimuthu, T. Santhoshkumar and A. Abdul Rahman, "Larvicidal activity of medicinal plant extracts against *Anopheles subpictus* & *Culex tritaeniorhynchus*," *Indian Journal of Medical Research*, vol. 134, pp. 101-106, July 2011.
- [15] S. Nazar, S. Ravikumar, G. P. Williams, M.S. Ali and P. Suganthi, "Screening of Indian coastal plant extracts for larvicidal activity of *Culex quinquefasciatus*," *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 2, no. 3, pp. 24-27, March 2009.
- [16] S. Nataya, C. Wej, T. Benjawan, J. Anuluck, J. Atchariya, C. Udom, R. Dounggrat and P. Benjawan, "Chemical composition and larvicidal Activity of Edible plant- Derived Essential Oils Against the Pyrethroid –Susceptible and Resistant Strains of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae)," *Journal of Vector Ecology*, vol. 35, no. 1, pp. 106-115, June 2010.
- [17] A. Prakashand and J. Rao, "Botanical pesticides in agriculture," CRC Press, New York, pp. 298, 1997.
- [18] M.B. Isman, "Plant essential oils for pest and disease management," *Crop Protection*, vol. 19, pp. 603-608, September 2000.

- [19] D.K. Weaver and B. Subramanyam, "Botanicals In: Alternative to pesticides in stored products IPM," Academic Publishers, pp. 303-320, 2000.
- [20] S.R. Tonk, R. Bartarya, K.K. Maharaj, V.P. Bhatnagar and S.S. Srivastava, "Effective method for extraction of larvicidal component from leaves of *Azadirachta indica* and *Artemisia annua* Linn," *Journal of Environmental Biology*, vol. 27, pp. 103-105, January 2006.
- [21] D.R. Mohan and M. Ramaswamy, "Evaluation of larvicidal activity of the leaf extract of a weed plant, *Ageratina adenophora*, against two important species of mosquitoes, *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus*," *African Journal of Biotechnology*, vol. 6, no.5, pp. 631- 638, March 2007.
- [22] R.U. Devi, D. Lakshmi and N. Aarthi, "Toxicity effect of *Artemisia parviflora* against malarial vector *Anopheles stephensi* Liston", *Journal of biopesticides*, vol. 3, no. 1, pp. 195 – 198, 2010.
- [23] S.R. Katade, P.V. Pawar, R.D. Wakharkar and N.R. Deshpande, "*Sterculia guttata* seeds extractives an effective mosquito larvicide," *Indian Journal of Experimental Biology*, vol. 44, pp. 662-665, August 2006.
- [24] L. Mohan, P. Sharma and C.N. Srivastava, "Comparative efficacy of *Solanum xanthocarpum* extracts alone and in combination with a synthetic pyrethroid, cypermethrin, against malaria vector *Anopheles stephensi*," *Southeast Asian journal of tropical medicine and public health*, vol. 38, pp. 256-260, March 2007.
- [25] L.M.F. Borges, H.P. Ferri, W.J. Silva, W.C. Silva and J.G. Silva, "In vitro efficacy of extracts of *Melia azedarach* against the tick *Boophilus microplus*," *Medical and Veterinary Entomology*, vol. 17, pp. 228-31, June 2003.
- [26] S.S. Nathan, G. Savitha, D.K. George, A. Marmadha, L. Suganya and P.G. Chung, "Efficacy of *Melia azedarach* L. extract on the malarial vector *Anopheles stephensi* Liston (Diptera: Culicidae)," *Bioresource Technology*, vol. 97, pp. 1316-3, July 2006.
- [27] B.S. Sastry, K.S. Babu and H.T. Babu, "Synthesis and biological activity of amide derivatives of nimbolide," *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, vol. 16, pp. 4391-4, August 2006.
- [28] C. Coria, W. Almiron and G. Valladers, "Larvicidal and oviposition deterrent effects of fruit and leaf extracts from *Melia azedarach* L. on *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae)," *Bioresource Technology*, vol.99, no. 80, pp. 3066-3070, May 2008.
- [29] Al-Mehmadi, R.M and A.A. AL-Khalaf, "Larvicidal and histological effects of *Melia azedarach* extract on *Culex quinquefasciatus* Say. Larvae (Diptera: Culicidae)," *Journal of King Saud University (Science.)*, vol. 22, pp. 77-85, February 2010.
- [30] I. Ilahi, I. Khan, M. Tariq and I. Ahmad, "Larvicidal Activities of Different Parts of *Melia azedarach* Linn. against *Culex quinquefasciatus* Say. (Diptera: Culicidae)," *Journal of Basic & Applied Sciences*, vol. 8, pp. 23-28, February 2012.
- [31] S.D. Cui, "Codex of Chinese Traditional Medicine," Hei Long-jiang Science and Technology Press, Ha Er-bin, 1989.
- [32] R.X. Tan, H. Lu, J.L. Wolfender, T.T. Yu, W.F. Zheng, L. Yang, S. Gafner and K. Hostettmann, "Mono- and sesquiterpenes and antifungal constituents from *Artemisia* species", *Planta Medica*, vol. 65, pp. 64-67, February 1999.
- [33] J. Wang, F. Zhu, X.M. Zhou, C.Y. Lu and C.L. Lei, "Repellent and fumigant activity of essential oil from *Artemisia vulgaris* to *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae)", *Journal of Stored Products Research*, vol. 42, pp. 339-347, 2006.
- [34] J.M. Chantraine, D. Laurent, C. Ballivian, G. Saavedra, R. Ibanez and L.A. Vilaseca, "Insecticidal activity of essential oils on *Aedes aegypti* larvae", *Phytotherapy Research*, vol. 12, pp. 350-354, December 1998.
- [35] B. Sinha, "An appraisal of the traditional post-harvest pest management methods in Northeast Indian uplands", *Indian journal of traditional Knowledge*, vol. 9, no. 3, pp. 536-543, July 2010.
- [36] S.R. Pugazhendian, P.R. Ross and K. Elumalai, "Insecticidal and Repellent Activities of Four indigenous medicinal Plants Against Stored Grain Pest, *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae)", *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, pp.16 -20, October 2012.
- [37] P.J. Barraud, "The fauna of British India, including Ceylon and Burma: Diptera, family Culicidae. Tribes Megarhinini and Culicini," Taylor and Francis, London, XXVIII, vol. 5, pp. 463, 1934.
- [38] R.E. Harbach, "The mosquitoes of the Subgenus *Culex* in South West Asia and Egypt (Diptera: Culicidae)," *Contribution of American Entomological Institute*, vol. 24, no.1, 1988.
- [39] P.L. Lavor, G.M. Santiago, R.W. Gois, L.M. de Sousa, P. Bezerra Gda, N.R. Romero, A.M. Arriaga, T.L. Lemos, P.B. Alves and P.C. Gomes, "Larvicidal activity against *Aedes aegypti* of essential oils from northeast Brazil", *Natural Product Communications*, vol. 7, no. 10, pp. 1391- 2, October 2012.
- [40] M. Albert-Puleo, "Mythobotany, pharmacology, and chemistry of thujone-containing plants and derivatives", *Economic Botany*, vol. 32, pp. 65-74, January-March 1978.
- [41] T. Petauer, "Leksikon rastlinskih bogastev," *Teh. založ. Slov., Ljubl*, pp.684, 1993.
- [42] S.M. Tabassam, Z. Iqbal, A. Jabbar, Z.U. Sindhu and A.I. Chattha, "Efficacy of crude neem seed kernel extracts against natural infestation of *Sarcoptes scabiei* var. *ovis*", *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 115, pp. 284-287, January 2007.

- [43] K. Jogar, A. Kuusik, L. Metspalu, K. Hiisaar, A. Luik and M. Grishakova, "Results of treatments with natural insecticidal substances on the development and physiological state of insects", *Agronomy Research*, 4 (Special issue), pp. 203-2010, 2006.
- [44] H.K. Abd-Elhady, "Insecticidal activity and chemical composition of essential oil from *Artemisia judaica* L. against *Callosobruchus maculatus* (F) (coleoptera: bruchidae)", *Journal of Plant Protection Research*, vol.52, no.3, pp. 347-352, June 2012.
- [45] I. Sharifian, S.M. Hashemi, M. Aghaei and M. Alizadeh, "Insecticidal activity of essential oil of *Artemisia herba-alba* Asso against three stored product beetles", *Biharean Biologist*, vol. 6, no. 2, pp. 90-93, October 2012.
- [46] C. Panneerselvam, K. Murugan, K. Kovendan and P.M. Kumar, "Mosquito larvicidal, pupicidal, adulticidal, and repellent activity of *Artemisia nilagirica* (Family: Compositae) against *Anopheles stephensi* and *Aedes aegypti*", *Parasitology Research*, DOI 10.1007/s00436-012-3073-9, August 2012.
- [47] J.S. Glasby, Dictionary of plants containing secondary metabolites: Taylor and Francis e-Library, pp. 1644, 2005.
- [48] I. Ciulei, Grigorescu Em, Stănescu Ursula, "Plantemedicinale, fitochimie și fitoterapie (Medicinal plants, phytochemistry and phytotherapy)", Edit. Medicală, București, pp.773, 1993.
- [49] Y.S. Hwang, K.H. Wu, J. Kumamoto, H. Axelrod and M.S. Mulla. "Isolation and Identification of Mosquitoes Repellents in *Artemisia vulgaris*", *Journal Chemical Ecology*, vol. 11, no. 9, September 1985.
- [50] S. Tennyson, K.J. Ravindran and S. Arivoli, "Screening of twenty five plant extracts for larvicidal activity against *Culex quinquefasciatus* Say (Diptera: Culicidae)", *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, pp.1130-1134, August 2012.
- [51] M. Sakthivadivel, A. Eapen and A.P. Dash, "Evaluation of toxicity of plant extracts against vector of lymphatic filariasis, *Culex quinquefasciatus*", *Indian Journal of Medical Research*, vol. 135, pp. 397-400, March 2012.
- [52] J.T. Kassir, Z.H. Mohsen and N.S. Mehdi, "Toxic effects of *Limonene* against *Culex quinquefasciatus* Say. larvae and its interference with oviposition," *Journal of Pesticide Science*, vol. 62, pp. 19-21, January 1989.
- [53] A.A. Rahuman, G. Gopalakrishnan, P. Venkatesan and K. Geetha, "Larvicidal activity of some Euphorbiaceae plant extracts against *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae)", *Parasitology Research*, vol. 102, pp. 867-73, December 2007.
- [54] P. Maurya, L. Mohan, P. Sharma and C.N. Srivastava, "Larval susceptibility of *Aloe barbandensis* and *Cannabis sativa* against *Culex quinquefasciatus*, the filariasis vector", *Journal of Environmental Biology*, vol. 29, no. (6, pp. 941- 943, November 2008.
- [55] P. Maurya, P. Sharma, L. Mohan, L. Batabyal and C. N. Srivastava, "Evaluation of the toxicity of different phytoextracts of *Ocimum basilicum* against *Anopheles stephensi* and *Culex quinquefasciatus*", *J. Asia Pacific Entomol.* vol. 12, pp. 113- 5, June 2009.
- [56] K. Raghavendra, S.P. Singh, S.K. Subbarao and A.P. Dash, "Laboratory studies on mosquito larvicidal efficacy of aqueous & hexane extracts of dried fruit of *Solanum nigrum* Linn", *Indian Journal of Medical Research*, vol. 130, pp. 74-79, July 2009.
- [57] A.A. Rahumana, G. Gopalakrishnan, S. Ghouse, S. Arumugam and B. Himalayan, "Effect of *Feronia limonia* on mosquito larvae", *Fitoterapia*, vol. 71, pp. 553-5, September 2000.

