

# European Journal of Scientific Research

ISSN: 1450-216X

Volume 21, No 3 August, 2008

## Editor-In-chief

Adrian M. Steinberg, *Wissenschaftlicher Forscher*

## Editorial Advisory Board

Parag Garhyan, *Auburn University*

Morteza Shahbazi, *Edinburgh University*

Raj Rajagopalan, *National University of Singapore*

Sang-Eon Park, *Inha University*

Said Elnashaie, *Auburn University*

Subrata Chowdhury, *University of Rhode Island*

Ghasem-Ali Omrani, *Tehran University of Medical Sciences*

Ajay K. Ray, *National University of Singapore*

Mutwakil Nafi, *China University of Geosciences*

Felix Ayadi, *Texas Southern University*

Bansi Sawhney, *University of Baltimore*

David Wang, *Hsuan Chuang University*

Cornelis A. Los, *Kazakh-British Technical University*

Jatin Pancholi, *Middlesex University*

Teresa Smith, *University of South Carolina*

Ranjit Biswas, *Philadelphia University*

Chiaku Chukwuogor-Ndu, *Eastern Connecticut State University*

John Mylonakis, *Hellenic Open University (Tutor)*

M. Femi Ayadi, *University of Houston-Clear Lake*

Emmanuel Anoruo, *Coppin State University*

H. Young Baek, *Nova Southeastern University*

Dimitrios Mavridis, *Technological Educational Institute of West Macedonia*

Mohand-Said Oukil, *Kind Fhad University of Petroleum & Minerals*

Jean-Luc Grosso, *University of South Carolina*

Richard Omotoye, *Virginia State University*

Mahdi Hadi, *Kuwait University*

Jerry Kolo, *Florida Atlantic University*

Leo V. Ryan, *DePaul University*

As of 2005, European Journal of Scientific Research is indexed in ULRICH, DOAJ and CABELL academic listings.

# European Journal of Scientific Research

<http://www.eurojournals.com/ejsr.htm>

## Editorial Policies:

1) European Journal of Scientific Research is an international official journal publishing high quality research papers, reviews, and short communications in the fields of biology, chemistry, physics, environmental sciences, mathematics, geology, engineering, computer science, social sciences, medicine, industrial, and all other applied and theoretical sciences. The journal welcomes submission of articles through [ejrs@eurojournals.com](mailto:ejrs@eurojournals.com).

2) The journal realizes the meaning of fast publication to researchers, particularly to those working in competitive & dynamic fields. Hence, it offers an exceptionally fast publication schedule including prompt peer-review by the experts in the field and immediate publication upon acceptance. It is the major editorial policy to review the submitted articles as fast as possible and promptly include them in the forthcoming issues should they pass the evaluation process.

3) All research and reviews published in the journal have been fully peer-reviewed by two, and in some cases, three internal or external reviewers. Unless they are out of scope for the journal, or are of an unacceptably low standard of presentation, submitted articles will be sent to peer reviewers. They will generally be reviewed by two experts with the aim of reaching a first decision within a three day period. Reviewers have to sign their reports and are asked to declare any competing interests. Any suggested external peer reviewers should not have published with any of the authors of the manuscript within the past five years and should not be members of the same research institution. Suggested reviewers will be considered alongside potential reviewers identified by their publication record or recommended by Editorial Board members. Reviewers are asked whether the manuscript is scientifically sound and coherent, how interesting it is and whether the quality of the writing is acceptable. Where possible, the final decision is made on the basis that the peer reviewers are in accordance with one another, or that at least there is no strong dissenting view.

4) In cases where there is strong disagreement either among peer reviewers or between the authors and peer reviewers, advice is sought from a member of the journal's Editorial Board. The journal allows a maximum of two revisions of any manuscripts. The ultimate responsibility for any decision lies with the Editor-in-Chief. Reviewers are also asked to indicate which articles they consider to be especially interesting or significant. These articles may be given greater prominence and greater external publicity.

5) Any manuscript submitted to the journals must not already have been published in another journal or be under consideration by any other journal, although it may have been deposited on a preprint server. Manuscripts that are derived from papers presented at conferences can be submitted even if they have been published as part of the conference proceedings in a peer reviewed journal. Authors are required to ensure that no material submitted as part of a manuscript infringes existing copyrights, or the rights of a third party. Contributing authors retain copyright to their work.

6) Submission of a manuscript to EuroJournals, Inc. implies that all authors have read and agreed to its content, and that any experimental research that is reported in the manuscript has been performed with the approval of an appropriate ethics committee. Research carried out on humans must be in compliance with the Helsinki Declaration, and any experimental research on animals should follow internationally recognized guidelines. A statement to this effect must appear in the Methods section of the manuscript, including the name of the body which gave approval, with a reference number where

appropriate. Manuscripts may be rejected if the editorial office considers that the research has not been carried out within an ethical framework, e.g. if the severity of the experimental procedure is not justified by the value of the knowledge gained. Generic drug names should generally be used where appropriate. When proprietary brands are used in research, include the brand names in parentheses in the Methods section.

7) Manuscripts must be submitted by one of the authors of the manuscript, and should not be submitted by anyone on their behalf. The submitting author takes responsibility for the article during submission and peer review. To facilitate rapid publication and to minimize administrative costs, the journal accepts only online submissions through [ejsr@eurojournals.com](mailto:ejsr@eurojournals.com). E-mails should clearly state the name of the article as well as full names and e-mail addresses of all the contributing authors.

8) The journal makes all published original research immediately accessible through [www.EuroJournals.com](http://www.EuroJournals.com) without subscription charges or registration barriers. European Journal of Scientific Research indexed in ULRICH, DOAJ and CABELL academic listings. Through its open access policy, the Journal is committed permanently to maintaining this policy. All research published in the Journal is fully peer reviewed. This process is streamlined thanks to a user-friendly, web-based system for submission and for referees to view manuscripts and return their reviews. The journal does not have page charges, color figure charges or submission fees. However, there is an article-processing and publication charge.

Further information is available at: <http://www.eurojournals.com/ejsr.htm>

© EuroJournals Publishing, Inc. 2005

## Contents

- Variations Saisonnières des Paramètres Abiotiques des Eaux D'une Lagune  
Tropicale: La Lagune de Grand-Lahou, Côte D'ivoire** 376-393  
*Kouakou Séraphin Konan, Aka Marcel Kouassi, Amma Antoinette Adingra  
B. K. Dongui and Dago Gnakri*
- Courbes Intensité Durée Fréquence des Précipitations Enclimat  
Tropical Humide: Cas de la Région D'abidjan (Côte D'Ivoire)** 394-405  
*Soro Gneneyougo Emile, Goula Bi Tié Albert, Kouassi Francis Williams  
Koffi Kouadio, Kamagate Bamory, Doumouya Inza, Savane Issiaka and Srohorou Bernard*
- Variabilité Interannuelle et Saisonnière de L'écoulement de Quatre Cours  
D'eau de L'ouest Côtier de la Côte D'ivoire (Tabou, Dodo, Néro et San Pédro)  
Dans un Contexte de Baisse de la Pluviométrie en Afrique de L'ouest** 406-418  
*Fadika Vamoryba, Goula Bi Tié Albert, Kouassi Francis Williams  
Doumouya Inza, Koffi Kouadio, Kamagate Bamory, Savane Issiaka and Srohorou Bernard*
- Sexual Reproductive Health Lifestyle of Male Adolescents in Jamaica** 419-428  
*Tazhmoye Crawford and Donovan McGrowder*
- Approche Algorithmique Pour la Reconstruction de Surfaces D'objets  
Complexes Basée Sur la Triangulation de Delaunay** 429-443  
*Idir Belaidi, Mohand Oulhadj Challali, Kamal Mohammedi  
Belaid Brachemi and Guy Ishiomin*
- The Effect of Clove Bud, Nigella and Salix Alba on Wart and  
Comparison with Conventional Therapy** 444-450  
*Kobra Rezaei, Roghieh Jebraeili, Bahram Delfan, Maryam Noorytajer  
Mohammad Hadi Meshkat and Hossein Maturianpour*
- Environmental Benchmarking of Electric Appliance for SMEs  
Application: Electric Iron Case Study in Thailand** 451-458  
*Harnpon Phungrassami*
- Effect of Soil Slope and Cover on Runoff and Rate Soil Loss from  
Experimental Plots in Area of Attecoube** 459-470  
*Brou Etienne N Dri, Yao Alexis N'go, Kadio Hilaire Niamke  
Adama Ouattara, Baba Toure and Jean Biemi*
- Diagnostic D'une Contamination Par les Éléments Traces Métalliques de L'épinard  
(Spinacia Oleracea) Cultivé Sur des Sols Maraîchers de la Ville D'abidjan  
(Côte D'ivoire) Amendés Avec de la Fiente de Volaille** 471-487  
*Kouassi Joseph Kouakou, Yves-Alain Bekro, Ahoua Edmond Sika  
Denis Baize, Denezon Odette Dogbo, Moussa Bounakhla, Fatiha Zahry and Peggy Macaigne*

<b>Optimum Design of 1KW Axial Flux Permanent Magnet Slotted TORUS Motor</b> <i>S.A. Gholamian, M. Ardebil, K. Abbaszadeh and S. Mahmodi Charati</i>	488-499
<b>Economic and Environmental Effect of Poultry Production in Akure Metropolis, Ondo State, Nigeria</b> <i>R. A. Alabi, O.F. Alabi and S.O. Abu</i>	500-507
<b>Fixed Coefficients Block Backward Differentiation Formulas for the Numerical Solution of Stiff Ordinary Differential Equations</b> <i>Zarina Bibi Ibrahim, Mohamed Suleiman and Khairil Iskandar Othman</i>	508-520
<b>Variable Step Variable Order Two Point Block Fully Implicit Method for Solving Ordinary Differential Equations</b> <i>Zanariah Abdul Majid and Mohamed Bin Suleiman</i>	521-529
<b>The Architecture and Design of an Online Course Authoring Tool Using Learning Objects (OCATLO)</b> <i>Hassan Mathkour and Saleh Al-Hammami</i>	530-541
<b>Protocols for Testing Polysomy of Chromosome 17 in Breast Cancer Tumors</b> <i>Maika G. Mitchell</i>	542-553

# Variations Saisonnières des Paramètres Abiotiques des Eaux D'une Lagune Tropicale: La Lagune de Grand-Lahou, Côte D'ivoire

**Kouakou Séraphin Konan**

*Université d'Abobo-Adjamé 02 BP 801 Abidjan, Côte d'Ivoire*  
E-mail: konandks@yahoo.fr

**Aka Marcel Kouassi**

*Centre de Recherches Océanologiques BP V18 Abidjan, Côte d'Ivoire*

**Amma Antoinette Adingra**

*Centre de Recherches Océanologiques BP V18 Abidjan, Côte d'Ivoire*

**B. K. Dongui**

*Ecole Normale Supérieure 22 BP 582 Abidjan, Côte d'Ivoire*

**Dago Gnakri**

*Université d'Abobo-Adjamé 02 BP 801 Abidjan, Côte d'Ivoire*

## Abstract

The Grand-Lahou lagoon was studied between May 2003 and April 2006. Thirty six (36) measurements campaigns were undertaken in ten stations spreaded along the ecosystem. The physical and chemical parameters were measured at the surface (0,5m). Temperature, salinity, pH, turbidity and transparency are characterized by a seasonal rhythm depending on oceanic and continental inputs. Waters from the Grand-Lahou lagoon are turbid, and nutrients and hydrogen sulphide concentrations show that the milieu is eutrophic; this is mainly due to the continental, oceanic and anthropogenic inputs, to suspended sediments and to the morphology of the lagoon. Principal Component Analysis (PCA) has permitted to distinguish to ecological zones. An continental (well renewed zone under continental influence) and an oceanic (more stable, and less influenced by the continental inputs) zones

**Keywords:** Tropical lagoon, West Africa, Physical and Chemical parameters, Seasonal Variation, Hydrology

## Introduction

Les lagunes sont des plans d'eau côtiers, généralement de faibles profondeurs, séparées de la mer par un cordon littoral. D'un point de vue hydrologique, la communication avec le milieu marin est réalisée par une passe (ou un grau). Le caractère temporaire ou permanent de ces échanges avec la mer confère aux eaux lagunaires un caractère saumâtre (Guelorget et Perthuisot, 1984; Yanez-Arancibia, 1987; Suzuki *et al.*, 2002).

Les lagunes sont caractérisées par des variations spatiotemporelles de leurs caractéristiques hydrochimiques et par une richesse en diversité biologique. Ces milieux sont le support d'activités de pêche, de chasse, d'élevage, de productions piscicoles, ainsi que d'extraction de sable. Enfin les lagunes côtières, par leurs valeurs esthétiques, paysagères et récréatives, constituent en effet un pôle d'attraction majeur pour une région ou un pays (Esteves, 1998).

La Côte d'Ivoire dispose d'un système lagunaire d'environ 1200 km<sup>2</sup> s'étendant sur près de 300 km le long du littoral. Ce système est composé de trois lagunes comprenant d'ouest en est, la lagune de Grand-Lahou, 190 km<sup>2</sup>; la lagune Ebrié, 525 km<sup>2</sup> et la lagune Aby, 425 km<sup>2</sup> (Chantraine, 1980 et Durand et Chantraine, 1982). Leur importance halieutique est loin d'être négligeable puisque les captures annuelles sont comprises entre 10 000 et 20 000 tonnes (Ecoutin *et al.*, 1994).

Par la diversité et l'accessibilité de leurs ressources, les lagunes côtières ivoiriennes sont depuis toujours des foyers favorables à l'implantation de l'homme. Si les sociétés sont de plus en plus soucieuses de la qualité de leur environnement et de la préservation de leurs ressources, les lagunes sont aussi le siège de multiples activités anthropiques souvent incompatibles et contradictoires. De fait, les usages des milieux lagunaires (aquaculture, pêche, tourisme, industrie...) sont multiples et leur mise en œuvre engendre des conflits écologiques et sociaux de manière particulièrement aiguë dans les pays en développement tel que la Côte d'Ivoire.

Devant ces multiples menaces tendant à fragiliser l'équilibre naturel de leur écosystème, les lagunes ivoiriennes ont besoin d'être protégées et gérées de façon rationnelle pour continuer à jouer un rôle prépondérant dans le développement de la Côte d'Ivoire.

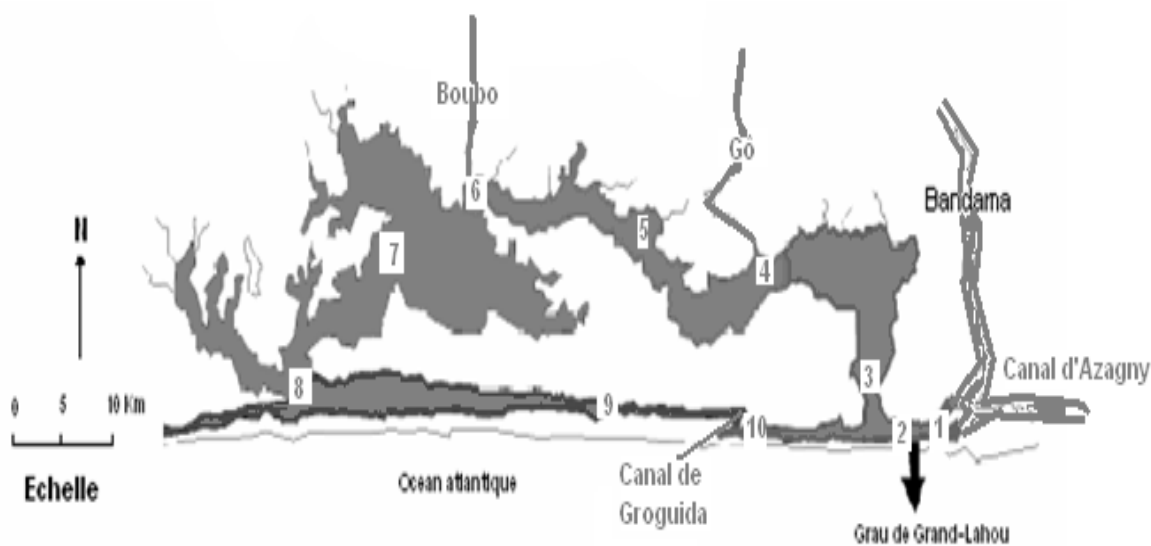
L'étude de la structure et du fonctionnement d'une telle lagune côtière peut fournir des informations utiles pour une gestion durable de cet écosystème sensible.

L'objectif général de ce travail de recherche est d'étudier les variations spatiales et temporelles de quelques caractéristiques physico-chimiques de la lagune de Grand-Lahou et d'identifier la zonation écologique de cet écosystème.

## **Materiel et Methodes**

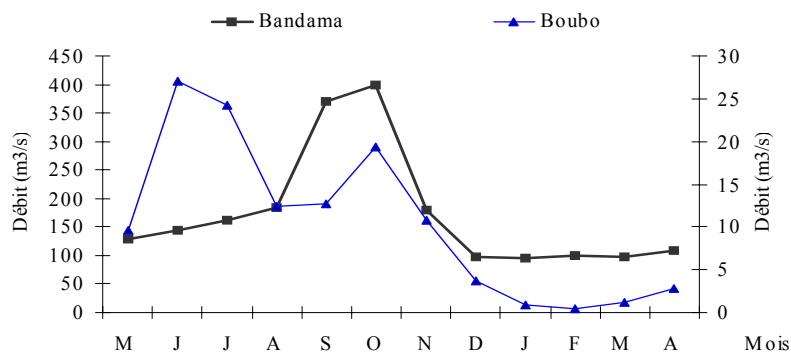
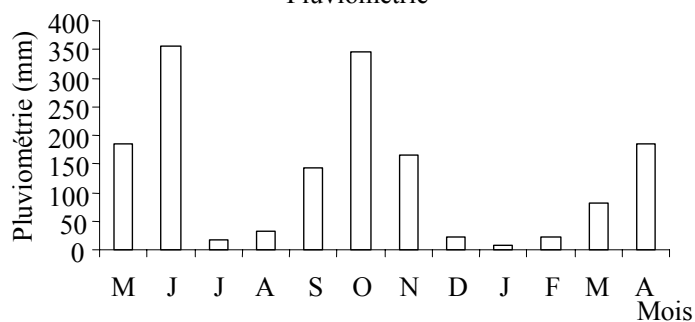
### **Campagnes de mesures et d'échantillonnage**

Les campagnes de mesures et d'échantillonnage ont été réalisées dans dix (10) stations réparties sur tout le plan d'eau lagunaire (*figure 1*). Ces campagnes se sont déroulées sur trois cycles annuels (de mai 2003 à avril 2006) soit 36 campagnes de mesures. Les campagnes de mesure se sont déroulées pendant la première quinzaine de chaque mois et une fois dans le mois. A chaque station, à l'aide d'une bouteille de Niskin, les échantillons d'eau ont été prélevés à une vingtaine de centimètres (20 cm) de la surface et à une cinquantaine de centimètres (50 cm) à l'interface eau/sédiment. Les prélèvements, conservés à basse température ( $T^{\circ} \leq 4^{\circ}\text{C}$ ) et à l'obscurité (glacière), ont été analysés au laboratoire.

**Figure 1:** Stations de mesure et d'échantillonnage sur la lagune de Grand-Lahou

### Données hydroclimatiques

La pluviométrie et le débit des principaux affluents ont été fournis par la SODEXAM<sup>1</sup> et la Direction de l'eau du Ministère des Infrastructures Economiques de Côte d'Ivoire. A partir de ces données, ces paramètres ont été représentés sur la *figure 2*.

**Figure 2:** Variation saisonnière: des précipitations dans la région de Grand-Lahou (a) et des débits du fleuve Bandama et de la rivière Boubo (b) (mai 2003 – avril 2006).**Figure 2 (a)**  
Pluviométrie**Figure 2 (b)**

<sup>1</sup> SODEXAM: Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique.



### **Analyses physico-chimiques**

La température, la salinité, le pH, l'oxygène dissous et la turbidité ont été mesurés *in situ* à l'aide d'une sonde connectée à un multi paramètre collecteur de marque TURO T-611. La transparence a été mesurée *in situ* à l'aide d'un disque de secchi.

### **Analyse des sels nutritifs et de l'hydrogène sulfureux**

Les nitrates et nitrites ont été dosés selon les méthodes normalisées d'AFNOR: NFT 90013/90012, le dosage des ions phosphates et les H<sub>2</sub>S ont été réalisés selon la méthode colorimétrique ou spectrophotométrie d'adsorption moléculaire (Aminot et Chaussepied, 1983).

### **Traitement des données**

La Corrélation Paramétrique de Bravais Pearson et l'Analyse en Composantes Principales ont été utilisées pour le traitement des données.

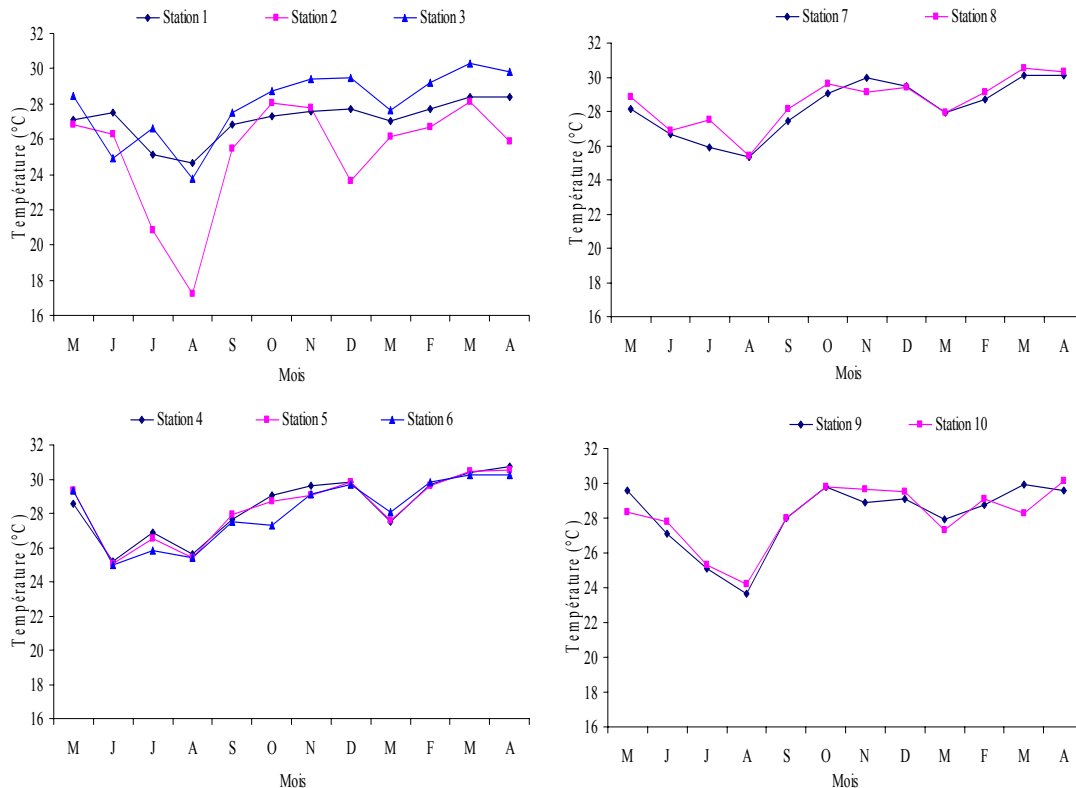
## **Resultats et Discussion**

### **Paramètres Physico-Chimiques**

#### **Température**

La température moyenne des eaux de la lagune de Grand-Lahou varie entre 25°C et 28°C. Les valeurs maximales (30°C à 31°C) ont été observées en mars et avril pendant la grande saison sèche et la valeur minimale (17°C) en août pendant la petite saison sèche en raison de l'upwelling côtier. En dehors de la station 2 avec un cv de 13% en raison de sa proximité avec la passe, les cv sont en général très faibles ( $cv \leq 7\%$ ), traduisant une absence de variation thermique importante au sein du système lagunaire de Grand-Lahou (**Tableau I**).

Les stations étudiées présentent des courbes de variation de température de même allure, mais d'amplitudes différentes. La variabilité spatiale est comprise entre 2°C et 8°C. Les écarts les plus importants s'observent en juillet et août en raison de l'upwelling côtier et les moins importantes en périodes de pluies (**figure 3**). Cette relative stabilité thermique, qui pourrait, par les faibles profondeurs (3m en moyenne) et le fort hydrodynamisme du système lagunaire, induirent une homogénéité des eaux, est caractéristique des eaux estuariennes des régions tropicales (Varlet, 1978; Pagès *et al.*, 1979 et Dufour, 1984). Ces observations coïncident avec celles effectuées sur le lac Nokoué au Bénin (Texier *et al.*, 1980) et en lagune Ebrié où l'écart spatial de température dans les zones non soumise à une influence des marées, ne dépasse pas 3°C (Durand et Chantraine, 1982 et Kouassi et al, 2005).

**Figure 3:** Variation saisonnière de la température des eaux de la lagune de Grand-Lahou entre 2003 et 2006.

### Salinité

La salinité moyenne des eaux de la lagune de Grand-Lahou est comprise entre 4 ‰ et 19 ‰. Les stations à proximité des embouchures des affluents (stations 1, 4, 5 et 6), présentent les valeurs les plus faibles et celles proches de la passe (stations 2 et 3) et du canal de Groguida (stations 9 et 10) enregistrent les teneurs les plus élevées. Les coefficients de variations (cv) sont dans l'ensemble très élevés; les stations 1 à 6 ont des valeurs supérieures à 80 % et ceux des stations 7 à 10 sont compris entre 39 et 50 % (**Tableau I**).

Les variations saisonnières de la salinité observées sur la figure 4a montrent également qu'il existe une similitude entre les courbes de variation de la salinité. Aux stations 2 à 6, les plus faibles salinités s'observent entre septembre et novembre, période de crue du fleuve Bandama qui coïncide avec la seconde crue des rivières forestières. Les valeurs plus élevées de salinité sont observées entre janvier et avril, période d'étiage du Bandama et des rivières forestières. Le second groupe de stations (7 à 10) ne montre pas de variation saisonnière nette. Ce groupe, de par son hydroclimat et sa position, est relativement fermé, reçoit moins d'eau douce comparativement au premier groupe. Par conséquent, la salinité des eaux est relativement plus stable; les eaux sont toujours saumâtres (sur toute l'année, la salinité est au dessus de 5‰). Contrairement au premier groupe, les salinités sont plus élevées au cours de la petite saison des pluies (saison de crue du fleuve Bandama) qu'à la saison d'upwelling. La station 1, proche de l'embouchure du fleuve Bandama, enregistre des salinités quasiment nulles entre avril et novembre. Le maximum de salinité est observé pendant la période océanique maximale (janvier à mars), correspondant à la grande période d'étiage du Bandama (**figure 4a**).

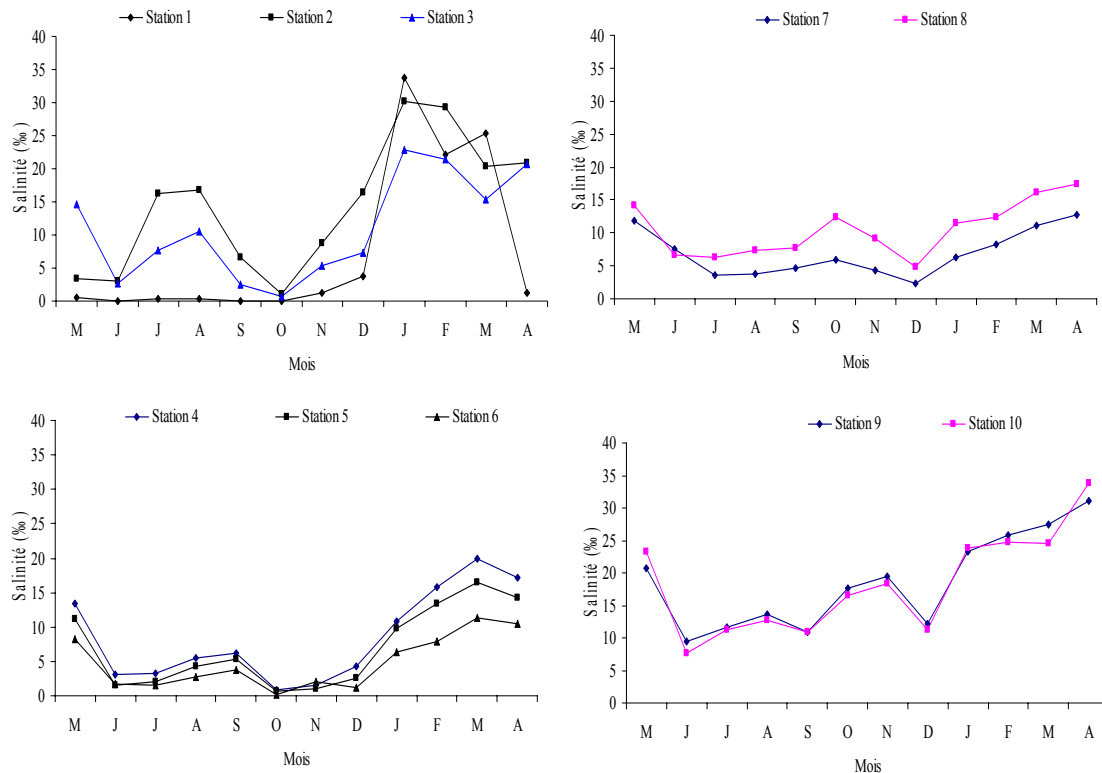
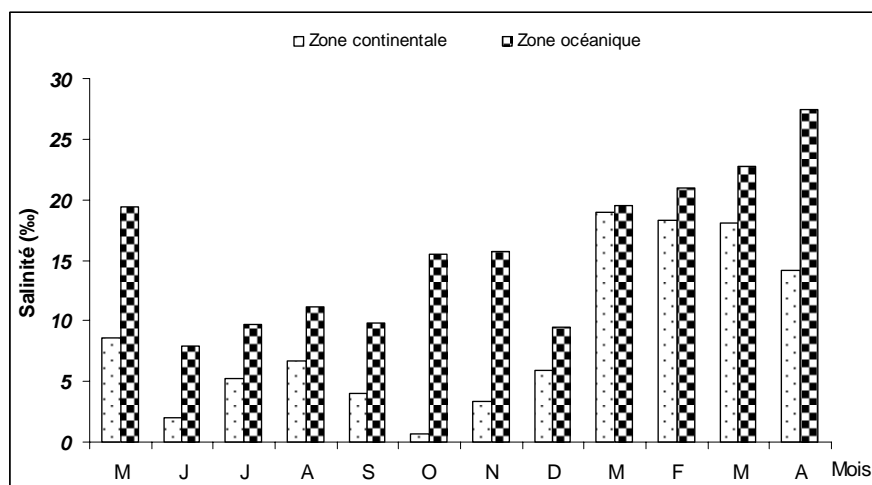
Les résultats de ce travail montrent que la lagune de Grand-Lahou peut être subdivisée en deux zones (**figure 4b**); lesquelles zones sont dépendantes des milieux frontières (influence du fleuve Bandama, des rivières forestières et de l'océan). Dans la première zone (station 1 à 6), relativement moins salée, la salinité allant de 0 ‰ à 19 ‰, peut être qualifiée de « zone continentale », les eaux peuvent être totalement douce sous l'influence des deux écosystèmes continentaux (Bandama et

Boubo) et saumâtre pendant l'influence océanique. Dans la seconde zone (station 7 à 10), plus salée avec des valeurs comprises entre 8 ‰ à 27 ‰, moins renouvelée, recevant très peu d'apports fluviaux peut être qualifiée de « zone océanique », les eaux restent toujours saumâtres parce qu'elles sont moins influencées par les d'apports continentaux.

La lagune de Grand-Lahou communique avec l'environnement marin à travers un grau qui se ferme partiellement (ensablement) à la fin de la période d'étiage et qui s'ouvre pendant la période de crue (Abé *et al.*, 1983); contrairement à la lagune Ebrié qui communique de façon permanente avec le milieu océanique à travers le canal de Vridi (Dufour, 1982 et 1984). Ainsi, en lagune de Grand-Lahou, aux variations temporelles ci-dessus mentionnées, se surajoute le facteur «ouverture et fermeture du grau » comme il a été observé dans les lagunes du Brésil (Suzuki *et al.*, 1998).

Le degré d'influence du fleuve Bandama sur la lagune dépendrait donc de ce facteur «ouverture et fermeture du grau ». Il a été enregistré des valeurs de salinité élevées, dans la zone océanique, au cours de la période de crue du fleuve Bandama. Le Bandama pourrait exercer une influence relativement faible sur l'ensemble de la lagune. Ces résultats sont conformes à ceux de Kouassi *et al.* (2005) et en contradiction avec ceux de Durand et Guiral (1994) qui observent une dessalure totale de la lagune après le passage du fleuve Bandama. La crue du fleuve Bandama atteint son débit maximal en octobre pendant que la courbe d'évolution de la salinité présente son minimum en juin (coïncidant avec les valeurs maximales du débit de la rivière Boubo et de la pluviométrie). Ainsi, la dessalure observée dans la zone continentale, de septembre à novembre, est principalement due aux eaux des rivières forestières dont le Boubo. Le Bandama, à son arrivée dans la lagune, en septembre et octobre, semble se jeter directement en mer. Cependant, la salinité des eaux relativement moins élevée dans les deux zones en période de crue du fleuve Bandama pourrait s'expliquer par l'effet de chasse des eaux lagunaires. A l'arrivée des eaux du fleuve Bandama, la passe est sous domination de ces eaux et les eaux lagunaires sont freinées entraînant certainement une diminution de la salinité des eaux de la zone océanique par les eaux des rivières forestières.

La salinité des eaux de la lagune de Grand-Lahou reflète directement le contexte climatique dont l'influence se fait sentir aussi bien par le régime des apports que par leur importance. Elle est par ailleurs modifiée par la morphologie et sa faible profondeur. Tout comme la zone ouest de Dabou de la lagune Ebrié (Pagès *et al.*, 1979), il n'existe pas de gradients verticaux du fait des profondeurs faibles. Les amplitudes annuelles de salinité obtenues pour la lagune de Grand-Lahou sont inférieures à ceux indiquées par Kouassi *et al.* (1990) sur la lagune Ebrié en Côte d'Ivoire et Kwei (1977) sur la lagune Sakumo II au Ghana. Par contre elles sont comparables à ceux enregistrées par Texier *et al.* (1980) sur le lac Nokoué au Bénin et Millet (1986) sur le lac Togo.

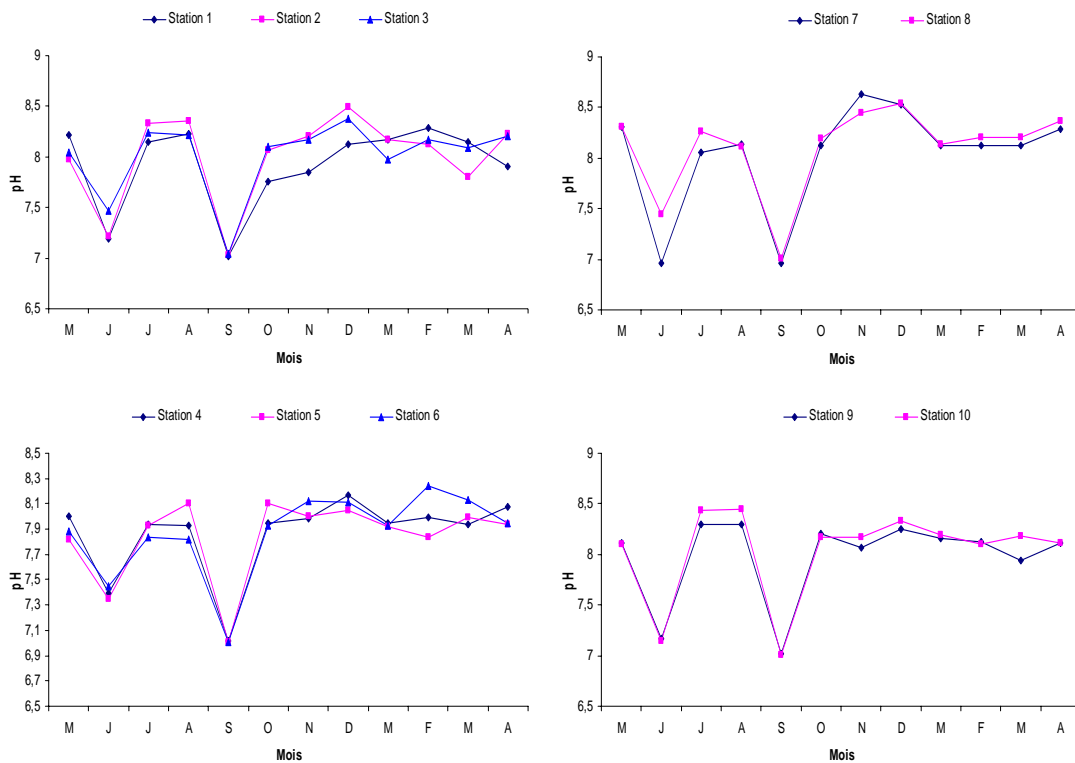
**Figure 4a:** Variation saisonnière de la salinité des eaux de la lagune de Grand-Lahou entre 2003 et 2006.**Figure 4b:** Histogramme de la variation saisonnière de la salinité dans les deux zones de la lagune de Grand-Lahou (mai 2003 à avril 2006).

## pH

Les valeurs moyennes du pH des eaux de la lagune de Grand-Lahou sont comprises entre 7,8 et 8,1. Sur toute la période de l'étude et à toutes les stations de mesure, les pH sont restés au dessus de 7 traduisant le caractère basique des eaux de la lagune de Grand-Lahou. Les valeurs de pH les plus élevées s'observent pendant la période d'étiage (forte influence océanique) et les celles les plus faibles, en période de pluies et de crue. Les coefficients de variations sont en général très faibles ( $4 \leq cv \leq 8$ ) (Tableau I). La *figure 5* indique que l'évolution du pH est identique d'une station à l'autre avec deux chutes aux mois de juin et septembre.

Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait qu'en septembre, début de la crue du fleuve Bandama et de la petite saison des pluies, du fait de la position (*cf. figure 1*) et de l'ensablement de la passe de Grand-Lahou, les premières eaux soudanaises plus acides, combinées aux premières pluies, pénètrent en lagune abaissant ainsi les pH. Avec l'augmentation du débit des crues (Bandama et rivières côtières), ces eaux arrivent à pénétrer plus aisément dans l'océan. Ainsi, les eaux du Bandama se déversent directement en mer pendant le mois d'octobre. L'ensemble des résultats montre que les variations spatiales et temporelles du pH suivent celles de la salinité, dépendant de l'importance relative des apports continentaux et océaniques. D'une manière générale, les variations spatiales et saisonnières du pH des eaux de la lagune de Grand-Lahou sont moins marquées que celles des eaux de la lagune Ebrié qui en plus des apports océaniques et fluviaux, sont soumises aux forts rejets domestiques et industriels. (Pages *et al.*, 1979; Dufour, 1984; Arfi R. *et al.*, 1989; Kouassi *et al.*, 1990 et 2005). Les résultats obtenus par cette étude sont confirmés par d'autres scientifiques (Texier *et al.* (1980) sur le Lac Nokoué au Bénin et Millet (1986) sur le lac du Togo.

**Figure 5:** Variation saisonnière du pH des eaux de la lagune de Grand-Lahou entre 2003 et 2006.



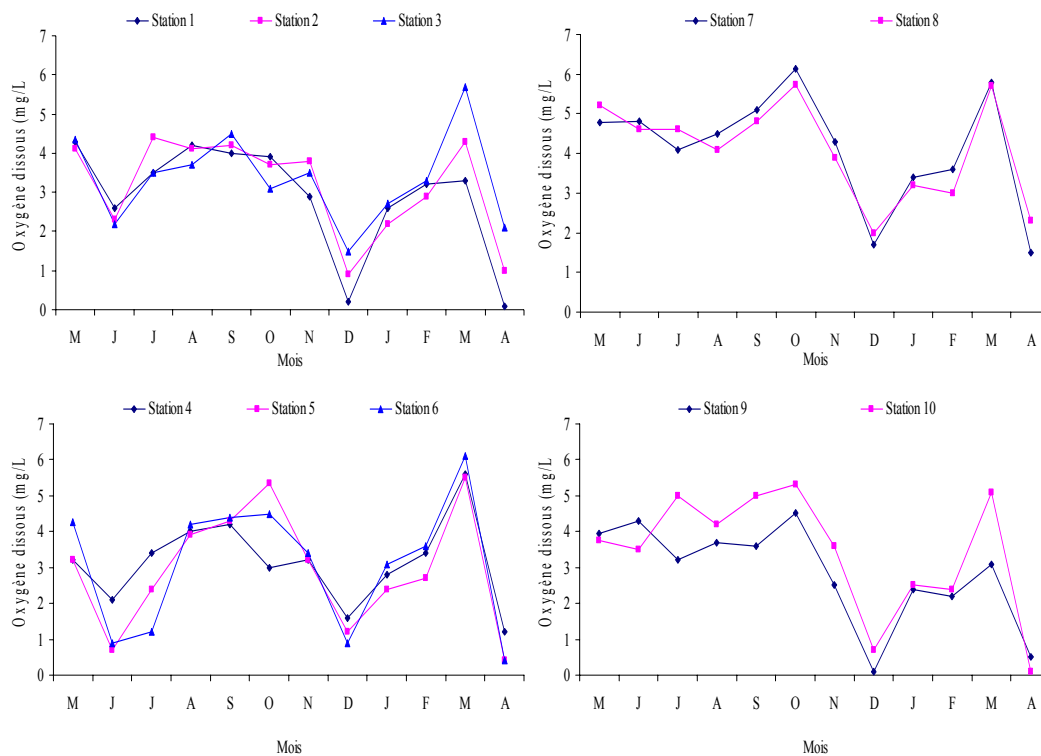
### Oxygène dissous

Les valeurs moyennes de la teneur en oxygène dissous des eaux de la lagune de Grand-Lahou sont comprises entre 2,8 mg/L et 4,1 mg/L. Les teneurs les plus élevées sont obtenues en octobre (saison de crue) et en mars (fin de la saison sèche). Les coefficients de variations sont élevés et compris entre 30 % et 59 % (*Tableau I*).

La variation saisonnière de la teneur en oxygène dissous montre que les différentes courbes de variations présentent la même allure avec des amplitudes différentes (*figure 6*). La lagune Tadjò (station 7 et 8), est la plus oxygénée des quatre lagunes que compte le complexe lagunaire de Grand-Lahou. Cette lagune Tadjò, avec ses 90 km<sup>2</sup> de surface, s'apparente à un lac et présente une surface de contact plus grande avec l'air (*cf. figure 2*). Selon Assi et Tardif (2005), la surface de contact agit sur la teneur en oxygène car l'oxygène dissous dans l'eau provient essentiellement de l'air. Au mois de

juin, période de forte précipitation, la zone continentale, soumise également aux apports continentaux, s'appauvrit en oxygène du fait des eaux des rivières forestières déficitaires en oxygène car chargées de matières organiques et d'acides humiques. Par contre, dans la zone océanique, sous domination des eaux de pluies, les eaux sont toujours saturées (Guiral *et al.*, 1992). Les faibles taux sont observés à la station 9 et peuvent s'expliquer par les polluants organiques (huile végétale de Copra) apportés par la société SICOR qui réduisent ainsi la fixation de l'oxygène de l'air. A ce phénomène de pollution s'ajoute celui du non renouvellement des eaux de la lagune Niouzoumou qui se caractérise par une forte consommation de l'oxygène dissous liée à la production primaire. Ce résultat montre que la mise en place du canal artificiel de Groguida n'a pas bouleversé considérablement l'écosystème de cette lagune de Grand-Lahou.

**Figure 6:** Variation saisonnière de l'oxygène dissous des eaux de la lagune de Grand-Lahou entre 2003 et 2006.



### Turbidité et transparence

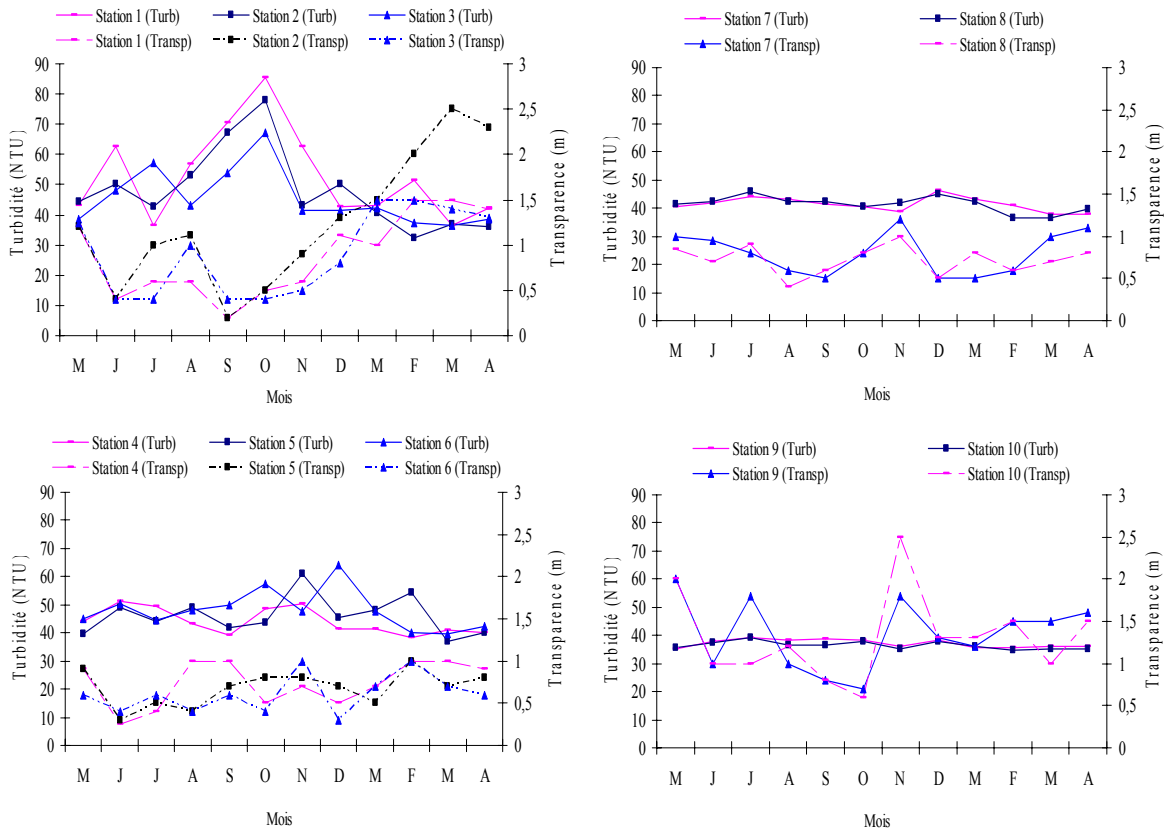
Les valeurs moyennes de la turbidité sont comprises entre 36,5 NTU et 52,9 NTU. Les valeurs les plus élevées sont observées en octobre (saison de crue du fleuve Bandama) et celles les plus faibles en saison sèche. La transparence est comprise entre 0,6 m et 1,3 m et d'une façon générale, la variation de la transparence est inverse à celle de la turbidité: les eaux les plus transparentes sont celles les moins turbides.

Les coefficients de variations de la turbidité sont décroissants de la station 1 à la station 10. Ils passent de 29% à 15% de la station 1 à la station 6 et de 6% à 4% de la station 7 à la station 10 (*tableau I*). Ces résultats montrent que la variabilité annuelle de la turbidité est importante aux environs de la passe et se réduit lorsqu'on s'en éloigne. Quant aux coefficients de variations de la transparence, ils sont supérieurs à 25% traduisant une variation annuelle importante de ce paramètre.

Les variations de la turbidité et de la transparence confirment la partition du système lagunaire de Grand-Lahou en deux zones (*figure 7*). Les eaux de la zone continentale sont plus turbides ( $40 \text{ NTU} \leq \text{turbidité}$ ) que celles de la zone océanique ( $\text{turbidité} \leq 40 \text{ NTU}$ ). En effet, la turbidité est fonction des

matières en suspension, telles que l'argile, le limon, les particules organiques, le plancton et les autres organismes microscopiques. Les eaux continentales plus troubles sont donc plus turbides et moins transparentes que les eaux océaniques. Une turbidité trop élevée empêche la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau et peut diminuer la croissance des algues et des plantes aquatiques.

**Figure 7:** Variation saisonnière de la turbidité et la transparence des eaux de la lagune de Grand-Lahou entre 2003 et 2006.



**Tableau I:** Moyenne (m), écart-type (s) et coefficient de variation (cv) des paramètres physico-chimiques dans les eaux de la lagune de Grand-Lahou.

	Paramètres	T (°C)	S (‰)	pH	O <sub>2</sub> (mg/L)	Turbidité (NTU)	Transparence (m)
Station 1	m	27,1	7,4	7,9	2,9	52,9	0,9
	s	1,1	6,9	0,4	1,4	15,2	0,5
	cv	4	94	5	49	29	52
Station 2	m	25,2	14,4	8	3,2	47,9	1,2
	s	3,2	9,9	0,4	1,3	13,3	0,7
	cv	13	69	6	40	28	57
Station 3	m	28	11	8	3,3	45,5	0,8
	s	2	7,9	0,4	1,2	9,4	0,5
	cv	7	72	5	35	21	56
Station 4	m	28,4	8,5	7,9	3,1	44,1	0,7
	s	1,8	6,6	0,3	1,2	4,6	0,3
	cv	6	78	4	38	10	38
Station 5	m	28,3	6,9	7,8	2,9	46,1	0,7
	s	1,9	5,8	0,3	1,7	6,7	0,2
	cv	7	84	4	57	15	33
Station 6	m	28,1	4,8	7,9	3,1	48	0,6
	s	1,9	3,9	0,3	1,8	7	0,2
	cv	7	81	4	59	15	38
Station 7	m	28,2	6,9	8	4,1	41,4	0,8
	s	1,6	3,5	0,5	1,4	2,5	0,2
	cv	6	50	7	35	6	32
Station 8	m	28,6	10,5	8,1	4,1	41,4	0,7
	s	1,5	4,1	0,4	1,2	2,8	0,2
	cv	5	39	5	30	7	25
Station 9	m	28,1	18,6	8	2,8	37,1	1,3
	s	2	7,2	0,4	1,4	1,4	0,4
	cv	7	39	5	49	4	33
Station 10	m	28,1	18,2	8	3,4	36,5	1,3
	s	1,8	7,9	0,5	1,7	1,4	0,5
	cv	6	43	6	50	4	42

### Sels nutritifs

Les valeurs moyennes en PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et NO<sub>2</sub><sup>-</sup> sont présentés dans le tableau II et varient respectivement entre (100 µg/L et 241 µg/L), (14 µg/L à 215 µg/L) et (13 µg/L et 33 µg/L). Les coefficients de variation sont généralement très élevés (cv ≥ 49%). Ceci montre que la très forte variabilité des éléments nutritifs est liée aux différentes masses d'eau de la lagune (*tableau II*).

Les *figures 8a, 8b et 8c* présentent respectivement la variation saisonnière de la concentration en PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et en NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. Les périodes de crue et de pluies sont plus chargées que les périodes d'étiages (saison sèche et saison d'upwelling). En pleine saison de crue des rivières forestières, l'influence enrichissante du Boubo et du Gô est manifeste en région continentale. La région océanique qui ne reçoit aucune rivière est plus pauvre. Par contre, en saison de crue du fleuve Bandama, les teneurs en PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> des deux zones sont élevées et peuvent s'expliquer par « l'effet de chasse ».

Selon Dufour (1985), Pagès *et al.* (1979), les concentrations des eaux de surface en nutriments varient régulièrement sous l'influence des milieux frontières. Les deux saisons de pluies et de crue, à l'origine des apports anthropiques en sels nutritifs et le relargage des sédiments liés au fait que cette lagune est peu profonde (3m en moyenne), sont intercalées par les deux saisons d'étiage. En effet, le bassin versant de cette lagune ainsi que ceux des effluents se trouvent dans des zones agricoles avec de grandes plantations industrielles. Les engrais épandus généralement entre mars et avril sont entraînés par les précipitations qui « lessivent » (Dorioz *et al.*, 2004) puis sont drainés par les eaux de ruissellement jusqu'aux lits des affluents tels que le fleuve Bandama, les rivières Boubo et Gô. Ce



phénomène pourrait expliquer les teneurs élevées enregistrées aux embouchures de ces affluents. La circulation de ces eaux en saison des pluies et le renouvellement des eaux entraînent une remontée des sédiments qui viennent également enrichir la colonne d'eau. A cela s'ajoute le fait que les populations riveraines et les animaux défèquent directement ou indirectement dans les eaux.

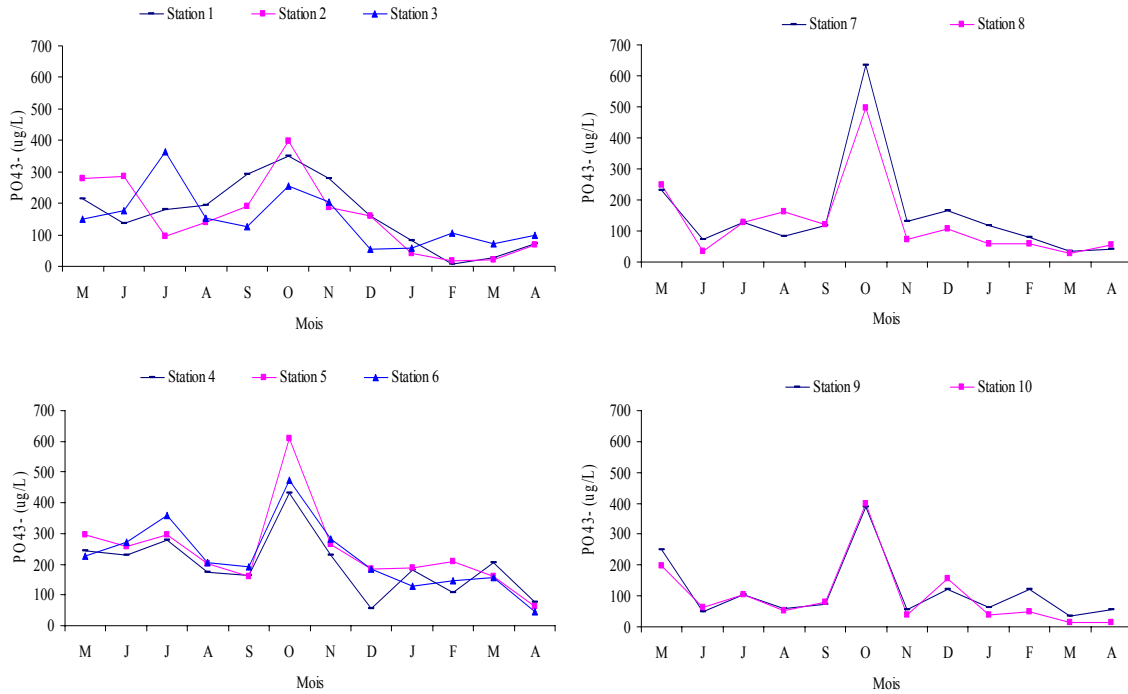
La saison d'upwelling est caractérisée par les entrées massives d'eaux marines provenant du fond marin riche en éléments nutritifs et la saison sèche par une importante prolifération des algues représentant une source de consommation des sels nutritifs. En période de pluies, on assiste à une importante sédimentation des sels nutritifs liée à la faible circulation des eaux de la lagune de Grand-Lahou.

Ces résultats sont conformes à ceux de Dufour (1984) et Kouassi *et al.* (2005) en lagune Ebrié qui ont observés des valeurs sels nutritifs relativement élevées en saison de crue et faibles en saison sèche. Cependant, le niveau de pollution est relativement faible comparativement à celui indiqué par ces auteurs. En effet, la lagune de Grand-Lahou est rurale et donc moins soumises aux rejets domestiques et industriels. En plus, les eaux du fleuve Bandama s'embles atteindre que les stations proches de la passe (stations 1, 2 et 3) contrairement à celles du fleuve Comoé qui travers toute la lagune Ebrié du fait de la fermeture de la passe de Grand-Bassam (Kouassi *et al.*, 2005). Les valeurs moyennes en sels nutritifs observées sur tout le plan d'eau lagunaire de Grand-Lahou montre que les eaux de cette lagune, comme celles des lagunes tropicales, sont eutrophes.

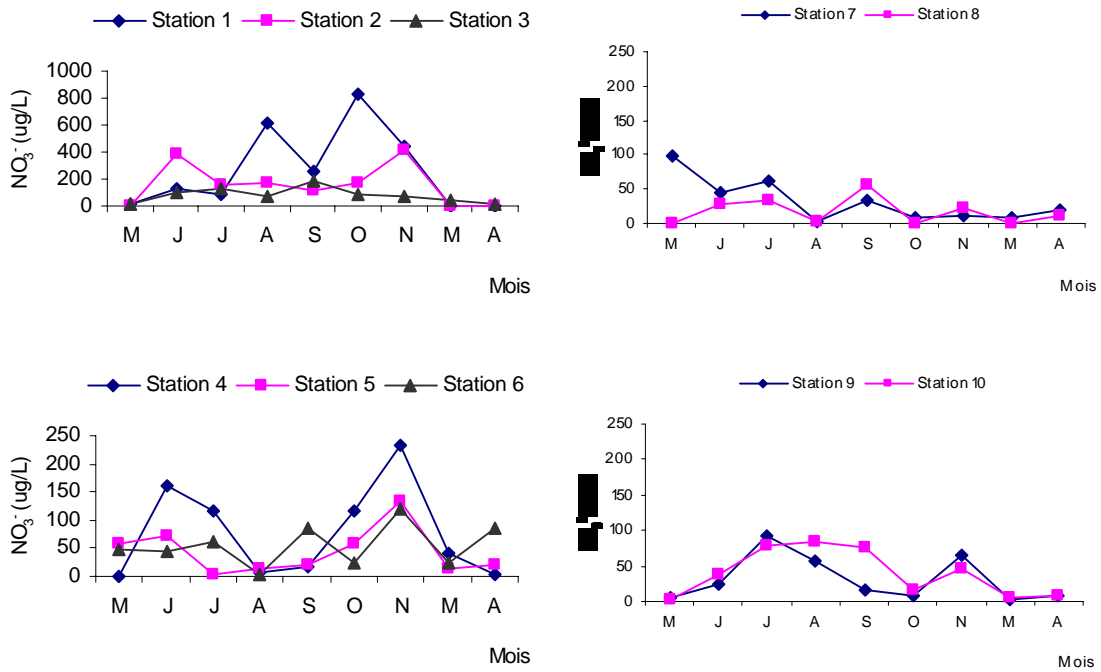
**Tableau II:** Moyennes, écart-types et coefficients de variations de la teneur en sels nutritifs des eaux de la lagune de Grand-Lahou.

	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (µg/L)			NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (µg/L)			NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (µg/L)			H <sub>2</sub> S (µg/L)		
	m	s	cv	m	s	cv	m	s	cv	m	s	cv
Station 1	165,8	108	65	215	288	134	22,3	15	69	395,2	214	54
Station 2	157,1	119	76	130	154	118	23,0	24	105	82,2	75	91
Station 3	151,1	90	60	65,1	60	93	19,6	12	59	210,0	270	98
Station 4	197,9	100	51	63,3	81	128	20,4	14	68	232,3	230	99
Station 5	241,0	134	55	36,2	41	114	21,2	10	49	387,4	98	25
Station 6	222,1	113	51	45,2	39	87	32,5	23	72	221,3	144	65
Station 7	152,7	161	95	26,3	32	120	26,8	21	79	408,9	276	67
Station 8	130,7	131	94	14,3	19	130	24,3	17	69	621,6	283	46
Station 9	114,1	103	91	25,7	31	122	12,8	12	92	255,4	249	97
Station 10	100,5	109	96	32,3	34	106	17,2	14	83	391,9	262	67

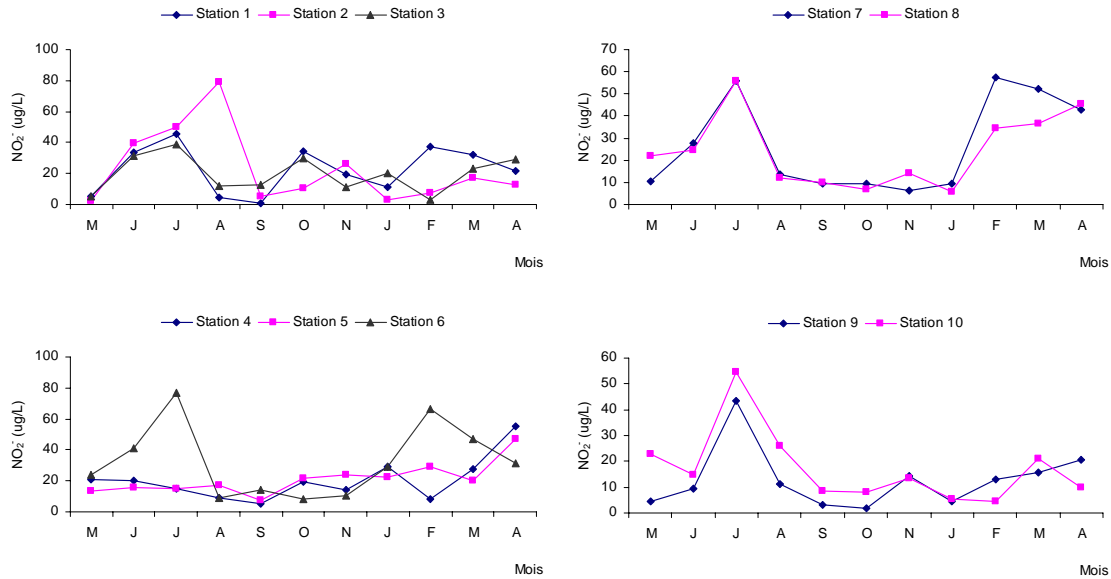
**Figure 8a:** Variation saisonnière du  $PO_4^{3-}$  dans les eaux de la lagune de Grand-Lahou entre 2003 et 2006.



**Figure 8b:** Variation saisonnière du  $NO_3^-$  dans les eaux de la lagune de Grand-Lahou entre 2003 et 2006.



**Figure 8c:** Variation saisonnière du  $\text{NO}_2^-$  dans les eaux de la lagune de Grand-Lahou entre 2003 et 2006.



## H<sub>2</sub>S

Les concentrations de la lagune de Grand-Lahou en H<sub>2</sub>S sont consignées dans le **tableau II**. La valeur la plus élevée (621,6 µg/L) est enregistrée à la station 8 (lagune Niouzoumou) et la plus faible (82,2 µg/L) à la station 2, à proximité du grau de Grand-Lahou (lagune Tagba). Les coefficients de variations sont élevés ( $25\% \leq cv \leq 128\%$ ) traduisant une forte hétérogénéité spatiale.

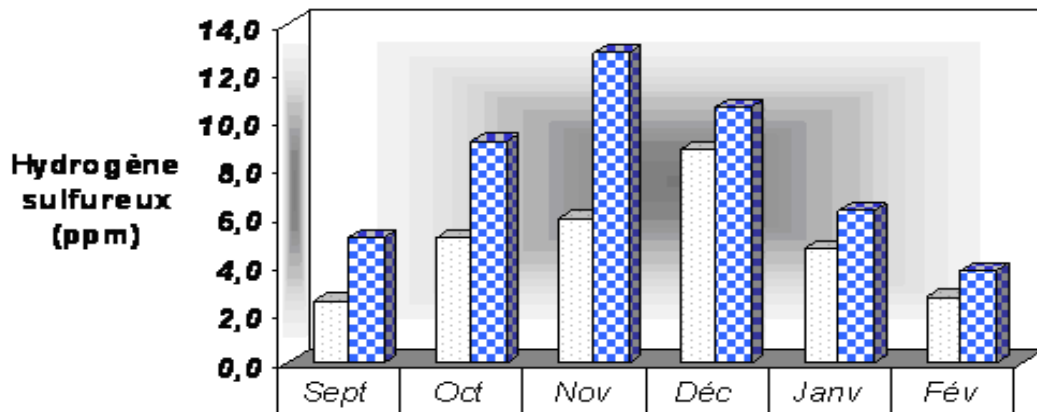
Malgré la faible profondeur de la lagune de Grand-Lahou, une variation verticale de la teneur en H<sub>2</sub>S a été observée. Les résultats des mois de novembre et de janvier indiquent que ces teneurs sont très variables entre la colonne d'eau et la vase. Les eaux de l'interface eau/sédiment sont plus riches en H<sub>2</sub>S que les eaux de surface. Dans la colonne d'eau, en dehors de la station 8 où nous avons enregistré 108,5 µg/L, toutes les valeurs n'atteignent pas 61 µg/L.

La **figure 9** représente l'histogramme de la variation de l'H<sub>2</sub>S dans les deux zones lagunaires. Elle permet d'observer que la zone océanique (lagune Niouzoumou notamment) est plus riche en H<sub>2</sub>S que la zone continentale. Ce fort taux de H<sub>2</sub>S dans la zone océanique pourrait s'expliquer par le faible hydrodynamisme de cette zone. A cela, s'ajoute les apports anthropiques (les rejets domestiques et les effluents industriels de nature organique de la société SICOR).

Les fortes teneurs en H<sub>2</sub>S enregistrées en profondeur par rapport à la colonne d'eau s'expliquent par le fait que les bactéries responsables de la sulfitoréduction, ou réduction dissimulatrice des sulfates, sont des germes anaérobies stricts (*Clostridium perfringens*) et par conséquent se développent dans la vase dépourvue d'oxygène ou dans les eaux anoxiques. Lorsque les sédiments sont riches en matières organiques, la demande en oxydants est forte et les sulfates sont souvent utilisés par ces bactéries sulfitoréductrices dès les premiers millimètres avec production de sulfures (Adingra et Arfi, 1998).

Durant la période de l'étude, le seuil d'odeur insupportable de 10 ppm (Ménesquen, 2001) n'a pas été atteint dans la colonne d'eau. De même, le seuil de danger de 50 ppm n'a pas été enregistré dans les sédiments. La vie des espèces aquatiques dans ces eaux n'est donc pas menacée par ce polluant. Cependant, des risques futurs sont à craindre pour plusieurs raisons. Primo, des teneurs de près de 25 ppm ont été déterminées dans les sédiments de la lagune Niouzoumou (Zone océanique). Secundo, cette zone a un faible hydrodynamisme. Tercio, l'usage de produits phytosanitaires dans l'agriculture et l'activité de pêche ont été observés.

**Figure 9:** Histogramme de la variation de l'hydrogène sulfureux dans les deux zones lagunaires (de septembre 2005 à février 2006).



### Corrélation entre les différents paramètres hydroclimatiques et hydrochimiques

L'analyse de corrélation de Bravais Pearson effectuée entre les différents paramètres hydroclimatiques et hydrochimiques est présentée dans le **Tableau III**. Cette analyse montre que le facteur "débit de la rivière Boubo" est corrélé négativement avec le facteur "salinité (-0,680) et positivement avec la turbidité (0,735) et les nitrates (0,666)". En effet, l'arrivée des eaux de la rivière Boubo est responsable de « l'effet de chasse » des eaux lagunaires en direction de l'océan à travers la passe (station 2). Ce qui entraîne une diminution de la salinité (corrélation négative) et une augmentation de la turbidité et des sels nutritifs (corrélation positive).

Ce tableau indique également que la salinité est corrélée négativement avec les facteurs "turbidité (-0,838) et nitrates (-0,786)" et positive avec la transparence (0,773). Ce résultat explique le fait que les teneurs en nitrates des eaux douces, plus turbides, sont plus élevées que celles des eaux d'origine marine, plus salées et plus transparentes. Enfin, il existe une forte corrélation positive entre les sels nutritifs (phosphates et nitrates notamment) et la turbidité (0,766 et 0,798) qui elle-même est fortement corrélée négativement avec la transparence (-0,809). Ceci traduit le fait que les eaux turbides sont généralement d'origines continentales et par conséquent chargées en éléments nutritifs.

Contrairement à la rivière Boubo, le fleuve Bandama présente une corrélation positive avec la salinité (0,4) et n'a pas de corrélation avec la turbidité, la transparence et les sels nutritifs. La question de l'influence qu'exerce le fleuve Bandama sur le système lagunaire de Grand-Lahou se pose. Des études hydrodynamiques sont donc nécessaires pour expliquer ces résultats.

La projection des paramètres hydrochimiques et des stations de mesures dans le plan 1-2 (**figure 10**). Ce plan a été retenu car il représente 69,66% des informations et exprime mieux la caractérisation du milieu lagunaire de Grand-Lahou. Les axes F1 et F2 représentent respectivement 45,11% et 24,55%.

La figure permet d'observer deux grands groupes à savoir les stations 1 à 6 (zone A) et les stations 7 à 10 (zone B). Ces groupes correspondent respectivement à la zone continentale et la zone océanique. Elle indique que la zone A qui se trouve dans la partie positive de F2, est sous la domination de la turbidité et sels nutritifs. Cette zone s'oppose à la zone B, qui se situe dans la partie négative de F2, est sous influence de la salinité et de l'hydrogène sulfureux. Ces résultats permettent ainsi de distinguer dans la lagune de Grand-Lahou deux pôles:

- un pôle « marin-non pollué », de forte salinité et de faibles concentrations en sels nutritifs,
- un pôle « continental-pollué », riche en éléments nutritifs et en matières à suspension.

Cette figure fait également observer deux secteurs à l'intérieur de chaque zone:

**Pour la zone A:** le secteur I (stations 1 à 3), à proximité de la passe et de l'embouchure du fleuve Bandama, couvrant la grande partie de la lagune Tagba, correspond à la zone estuarienne et le secteur II (stations 4 à 6), correspondant à la lagune Mackey.

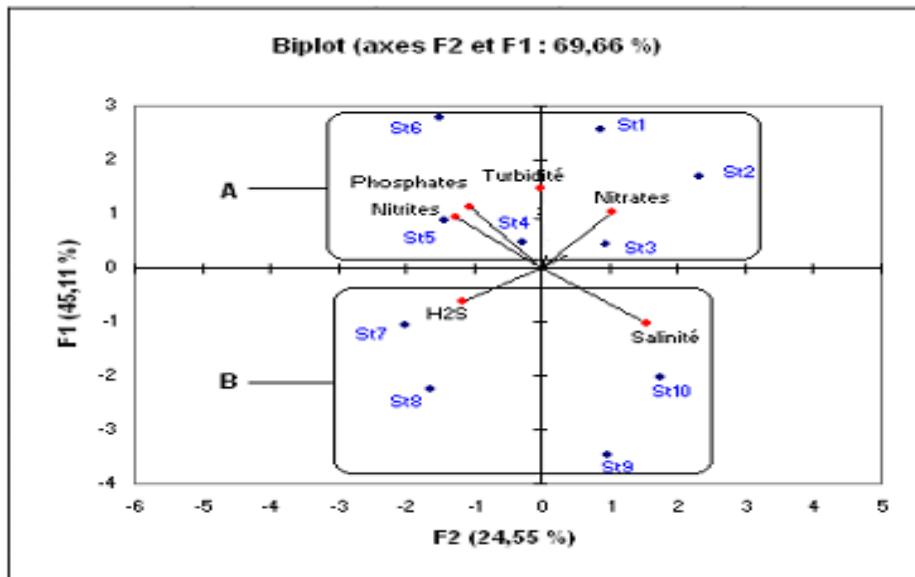
**Pour la zone B:** le secteur III (stations 7 et 8), plus vaste et donc plus oxygénée, correspond à la lagune Tadjou et la partie ouest de la lagune Niouzoumou et le secteur IV (stations 9 et 10), plus fermée et moins soumis aux eaux du fleuve Bandama et des rivières côtières, correspond à la lagune Niouzoumou et la partie ouest de la lagune Tagba.

**Tableau III:** Matrice de corrélation (Bravais Pearson) entre les paramètres hydrochimiques et hydroclimatiques des eaux de la lagune de Grand-Lahou.

Variables	Débit Bdama (m <sup>3</sup> )	Débits Boubo (m <sup>3</sup> )	Pluvio (mm)	Sal (‰)	Temp (°C)	pH	O <sub>2</sub> (mg/L)	Turb (NTU)	Trans p (m)	PO <sub>4</sub> (µg/L)	NO <sub>3</sub> (µg/L)	NO <sub>2</sub> (µg/L)
Débit Bandama (m <sup>3</sup> )	<b>1</b>											
Débits Boubo (m <sup>3</sup> )	-0,2	<b>1</b>										
Pluviométrie (mm)	0,0	-0,1	<b>1</b>									
Sal (‰)	0,4*	<b>-0,7</b>	-0,4	<b>1</b>								
Température (°C)	-0,2	-0,4	0,2	0,5*	<b>1</b>							
pH	-0,4	-0,1	-0,4	0,4	0,2	<b>1</b>						
O <sub>2</sub> (mg/L)	0,5*	0,1	0,1	-0,1	-0,2	-0,2	<b>1</b>					
Turbidité (NTU)	-0,1	<b>0,7</b>	0,5*	<b>-0,8</b>	-0,3	-0,3	0,2	<b>1</b>				
Transparence (m)	-0,1	-0,5*	-0,3	<b>0,8</b>	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>	-0,1	<b>-0,8</b>	<b>1</b>			
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (µg/L)	0,0	0,4	<b>0,6</b>	-0,6	-0,1	0,0	0,4	<b>0,8</b>	-0,4	<b>1</b>		
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (µg/L)	-0,1	<b>0,7</b>	0,5*	<b>-0,8</b>	-0,4	-0,3	0,4	<b>0,8</b>	-0,5*	<b>0,6</b>	<b>1</b>	
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (µg/L)	0,1	-0,2	-0,2	0,2	-0,2	0,2	-0,1	-0,4	0,2	-0,2	-0,2	<b>1</b>

Les valeurs en gras sont significativement différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05

**Figure 10:** Analyse en composantes principales (ACP) se rapportant aux stations; projection dans le plan 1-2 des paramètres hydrochimiques étudiés (physico-chimiques, sels nutritifs et H2S).



### Conclusion

La lagune de Grand-Lahou est caractérisée par trois phénomènes: Les apports continentaux, très importants, subissant une double influence, du régime climatique de type tropical de transition à une saison de crue s'étendant d'août à octobre (région soudanais) et du régime de type équatorial de transition à deux saisons de crues concentrées sur juin et septembre-octobre (régime guinéen). Ensuite,

une dynamique littorale active, dominée par l'influence des saisons d'upwellings côtiers. Et enfin, une grande variabilité spatiale et saisonnière des paramètres hydro-climatiques, physico-chimiques et hydro-biologiques.

Les eaux de la lagune de Grand-Lahou sont turbides et leurs teneurs en sels nutritifs caractérisent un environnement eutrophe causé par les apports d'eaux continentales et de remise en suspension des sédiments et par des apports anthropiques d'effluents domestiques et agricoles.

Les analyses statistiques (Corrélation de Bravais Pearson et Analyse en Composantes Principales) des paramètres physico-chimiques, des sels nutritifs et des sulfures d'hydrogène, indiquent que les facteurs hydroclimatiques rendent compte de l'organisation spatio-temporelle des paramètres hydrochimiques.

Ainsi, ces analyses ont permis de distinguer deux zones lagunaires écologiquement distinctes que sont, d'une part, la « zone continentale » plus ouverte, comprenant les lagunes Tagba et Mackey, est sous influence des rivières forestières et du fleuve Bandama en saisons des pluies et de crues et de l'océan en saisons d'étiage et d'autre part, la « zone océanique » fermée, correspondant à la lagune Niouzoumou, sous l'influence des eaux marines et dont les eaux sont moins renouvelées.

## References

- [1] O. Guelorget et J.P. Perthuisot, 1984, Le domaine paralitique. Expressions géologiques, biologiques et économiques du confinement, Presses de l'Ecole Normale Supérieure, Paris.
- [2] A.Yanez-Arancibia, 1987, Lagunas costeras y estuarios: cronologia, criterios y conceptos para una clasificación ecológica de sistemas costeros, Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural, 39: 35-54.
- [3] M.S. Suziki, R.O. Figueiredo, S.C. Castro, C. F. Silava, E. A. Perreira, J. A. Silva et G. T. Argon, 2002, Sandbar opening in a coastal lagoon (Iquiquito), in the northern region of Rio de Janeiro State: hydrological and hydrochemical changes. Braz.-z. Biol., 62 (1): 51-62.
- [4] F.A. Esteves, 1998, Ecologia das lagoas costeiras do parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ), NUPEM, Macaé, 442p.
- [5] J. M. Chantraine, 1980, Lagune Aby, morphologie, hydrologie, paramètres physico-chimiques. In document scientifique, Centre de Recherches Océanographiques, 11p.
- [6] J.M. Ecoutin, J.R. Durand, R. Lae et J.P. Hié, 1994, L'exploitation des stocks, In environnement des ressources aquatiques de Côte d'Ivoire, les milieux lagunaires, Tome II, 339-444.
- [7] A. Aminot et M. Chaussepied, 1983, Manuel des analyses chimiques en milieu marin, Brest cnexo/bndo, ed. Jouve, 479 p.
- [8] Varlet F., 1978, Le régime de la lagune Ebrié, Côte d'Ivoire. Paris, *Trav. Doc. ORSTOM* 83, 164p.
- [9] J. Pages, L. Lemasson et P. Dufour, 1979, Elements nutritifs et production primaire dans les lagunes de cote d'ivoire, Doc. Sci. Cro. Abidjan, 3, 1 – 30.
- [10] P. Dufour. 1984, Production primaire d'une lagune tropicale (Ebrié, cote d'ivoire), Facteurs naturels et anthropiques, These uni. Pierre et marie-curie, paris 164 p.
- [11] M. S. Suziki, A. R. Ovalle et E. A. Perreira, 1998, Effects of sand bar openings on some limnological variables in a hypertrophic tropical coastal lagoon, Brazil, *Hydrobiologia*, 368: 111-122.
- [12] J. R. Durand et J. M. Chantraine, 1982, L'environnement climatique des lagunes ivoiriennes, *Rev. Hydrobiol. Trop.* 15: 85-113.
- [13] A. M. Kouassi, A. S. Tidou, A. Kamenan, 2005, Caractéristiques hydrochimiques et microbiologiques des eaux de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire), *Agron. Afr.* ISSN n° 1015-2288, XVII (2): 73-162.

- [14] J. Abé, 1993, Morphologie et hydrodynamique à l'embouchure du fleuve Bandama. Jour. Ivoir. Océanol. Limnol. Abidjan, Vol. 2, n° 2, déc. 1993: 9-24.
- [15] J. R. Durand et D. Guiral, 1994, Hydroclimat et hydrochimie, In Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire, tome II - les milieux lagunaires, 90p.
- [16] A. M. Kouassi, D. Guiral, M. Dosso, 1990, Variations saisonnières de la contamination microbienne de la zone urbaine d'une lagune tropicale estuarienne, *Rev. Hydrobiol. Trop.*, 23 (3): 181-194.
- [17] E. A. Kwei, 1977, Biological, chemical and hydrological characters of coastal lagoons of Ghana, *Hydrobiologia*, Vol.56. (2): 157-174.
- [18] H. Texier, C. Dossou, et B. Colleuil, 1980, Le lac Nokoué, étude de l'environnement lagunaire du domaine margino-littoral sud-Bénois: Bathymétrie, Bull. Inst. Géol. Bass, Aquit., Bordeaux, n°28: 115-142.
- [19] M. Millet, 1986, Hydrologie et hydrochimie d'un milieu lagunaire tropical: le lac Togo. Editions de l'ORSTOM, collections Etudes et Thèses, Paris: 228p.
- [20] R. Arfi, D. Guiral et J-P. Torréton, 1989, Cycle hydrologique annuel d'une baie lagunaire eutrophe: la baie de Biétri de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire), *Rev. Hydrobiol. Trop.* 22, 263-273.
- [21] A. A. Assani et S. Tardif, 2005, Classification, caractérisation et facteurs de variabilité spatiale des régimes hydrologiques naturels au Québec (Canada), Approche éco-géographique, *Rev. Sci. Eau*, 18 (2).
- [22] D. Guiral, 1992. L'instabilité physique, facteur d'organisation et de structuration d'un écosystème tropical saumâtre peu profond: la lagune Ebrié, *Vie et milieu*, 42 (2): 73-92.
- [23] P. Dufour et L. Lemasson, 1985, Le régime nutritif de la lagune tropicale Ebrié (Côte d'Ivoire), *Océanogr. trop.* 20 (1): 41-69.
- [24] J..M. Dorioz, P. Quetin, J. A. Lazarotte, J. P. Bosse et J. P. Moreille, 2004, Bilan du phosphore dans un bassin versant du lac Léman: Conséquences pour la détermination de l'origine des flux exportés, *Rev. Sci. Eau*. 17 (3): 329-354.
- [25] A. A. Adingra et R. Arfi, 1998, Organic and Bacterial Pollution in the Ebrié Lagoon, Côte d'Ivoire, *Marine Pollution Bulletin*, 36 (9): 689-695.
- [26] A. Ménesquen et Janvier, 2001, L'eutrophisation des eaux marines et saumâtres en Europe en particulier en France, Rapport IFREMER pour la Commission Européenne, DGENV. B1. 59p.

## **Courbes Intensité Durée Fréquence des Précipitations Enclimat Tropical Humide: Cas de la Région D'abidjan (Côte D'Ivoire)**

**Soro Gneneyougo Emile**

*Laboratoire Géosciences et Environnement  
UFR Sciences et Gestion de l'Environnement  
Université d'Abobo-Adjamé - 02 BP 801 Abidjan 02 - Côte d'Ivoire*

**Goula Bi Tié Albert**

*Laboratoire Géosciences et Environnement  
UFR Sciences et Gestion de l'Environnement  
Université d'Abobo-Adjamé - 02 BP 801 Abidjan 02 - Côte d'Ivoire  
E-mail: goulaba2002@yahoo.fr*

**Kouassi Francis Williams**

*Laboratoire Géosciences et Environnement  
UFR Sciences et Gestion de l'Environnement  
Université d'Abobo-Adjamé - 02 BP 801 Abidjan 02 - Côte d'Ivoire*

**Koffi Kouadio**

*Laboratoire Géosciences et Environnement  
UFR Sciences et Gestion de l'Environnement  
Université d'Abobo-Adjamé - 02 BP 801 Abidjan 02 - Côte d'Ivoire*

**Kamagate Bamory**

*Laboratoire Géosciences et Environnement  
UFR Sciences et Gestion de l'Environnement  
Université d'Abobo-Adjamé - 02 BP 801 Abidjan 02 - Côte d'Ivoire*

**Doumouya Inza**

*Laboratoire Géosciences et Environnement  
UFR Sciences et Gestion de l'Environnement  
Université d'Abobo-Adjamé - 02 BP 801 Abidjan 02 - Côte d'Ivoire*

**Savane Issiaka**

*Laboratoire Géosciences et Environnement  
UFR Sciences et Gestion de l'Environnement  
Université d'Abobo-Adjamé - 02 BP 801 Abidjan 02 - Côte d'Ivoire*

**Srohorou Bernard**

*SODEXAM, Direction de la Météorologie Nationale  
15 BP 950, Abidjan 15, Côte d'Ivoire*



## Abstract

The aim of this study is to update the exploitation of the maximum intensities of the rains in the studies of civil engineering of the area of Abidjan. In this prospect, the maximum annual of the station of Abidjan were analyzed on the period of 1958 to 2002. The statistical analysis of maximum annual reveals the prevalence of the Log-normale distribution to the profit of the generalized extreme value distribution (GEV) and its particular case (Gumbel) in this area of the Côte d'Ivoire. Three types of empirical equations were used to build the Intensity - Duration - Frequency curves of precipitations. The empirical equation best adapted to describe the maximum annual is the empirical model of Wanieslita. The empirical equation of Montana usually used correctly does not represent the infinite aspect of an instantaneous intensity. This model of Montana currently used by the designers in civil engineering can be improved with the addition other parameters.

**Keywords:** Extreme rains, Intensity-Duration-Frequency, Abidjan, Côte d'Ivoire.

## 1. Introduction

La Côte d'Ivoire est située en Afrique de l'Ouest entre 2°30 et 8°30 de longitude Ouest, 4°30 et 10°30 de latitude Nord avec au Sud une façade littorale de 550 km. De par cette position géographique, la totalité du pays est sous influence de Front Inter Tropical (FIT).

La Côte d'Ivoire à l'image de l'ensemble de la zone ouest africaine connaît des changements climatiques importants (Hubert et Carbonel, 1993; Savané *et al.*, 2001; Tapsoba *et al.*, 2002). Ce phénomène se traduit par une baisse de la pluviométrie (Servat *et al.*, 1998). Dans ce contexte, les pluies torrentielles et les crues qui en résultent ont pris l'allure de catastrophes naturelles, causant de nombreuses victimes humaines et d'importants dégâts matériels dans divers quartiers de la région d'Abidjan. Les inondations résultantes des pluies extrêmes posent chaque année d'énormes problèmes aux populations de la région d'Abidjan (Figure 1) surtout celles qui sont dans des zones à risques ou quartiers précaires.

Pour une efficace protection des populations et les infrastructures hydrauliques de la région d'Abidjan, il est indispensable d'estimer la récurrence des pluies extrêmes. Plusieurs études ont été menées sur l'estimation des pluies extrêmes via des courbes Intensité Durée Fréquence (IDF) de précipitations. En Afrique Centrale, il faut noter des anciens travaux dont la méthodologie n'est plus adéquate (Bultot, 1956; Pire *et al.*, 1960). En Afrique de l'Ouest, les relations Intensité Durée Fréquence (IDF) de précipitations ont fait l'objet de plusieurs études (Brunet, 1967; Mounis et Masongi, 1974; Oyebande, 1982; Puech et Chabi-Gonni, 1984).

En ce qui concerne particulièrement la Côte d'Ivoire, peu d'études ont été menées sur les relations Intensité Durée Fréquence des précipitations. Seule l'étude réalisée par de la DCAD (1979) sert de références aux ingénieurs lors des études de génie civil. L'approche probabiliste utilisée lors de cette étude est basée uniquement sur la loi de Gumbel et le modèle qui a servi à la régionalisation de la Côte d'Ivoire est celui de Montana. Cependant, les résultats de cette étude ont été repris par Puech et Chabi-Gonni (1980) qui ont décelé des anomalies au niveau des pluies de durée 6 heures et 24 heures. D'après ces auteurs, ces anomalies proviennent de la faible consistance des données pluviométriques utilisées par l'étude de la DCAD (1979). Récemment, Monhymont et Démarée (2006) ont préconisé le rejet du modèle de Montana au profit de modèles ayant des bases physiques et probabilistes plus solides en Afrique Centrale.

L'étude statistique des valeurs extrêmes a toujours été menée de façon conventionnelle à l'aide de la loi de Gumbel en Afrique de l'Ouest et Centrale. Or de nombreuses études (Wilks, 1993; Turcotte

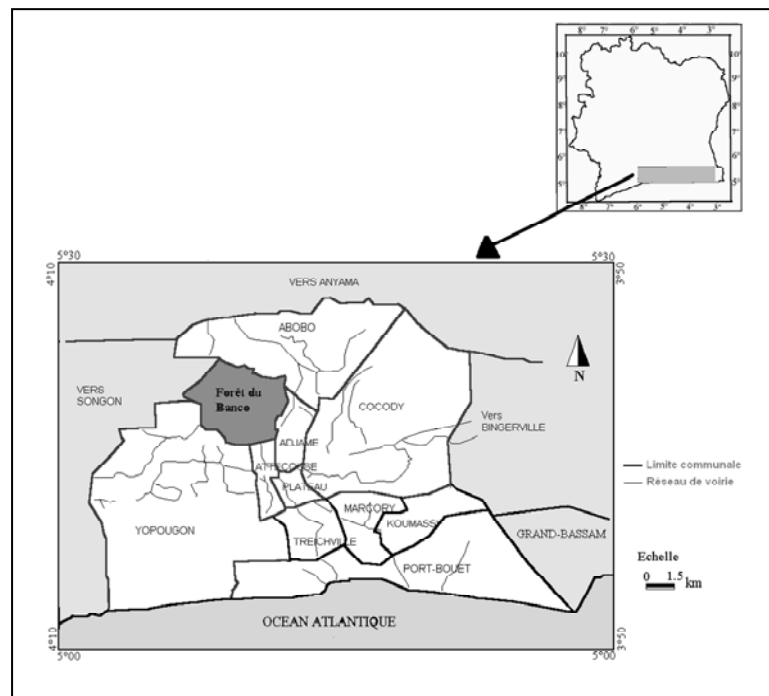
& Malamund, 2003; Coles *et al.*, 2003; Koutsoyiannis, 2004a & b) viennent remettre en cause la prédominance de la distribution de Gumbel.

En Côte d'Ivoire, Goula *et al.* (2007) ont montré que la loi de Gumbel ne peut être exclusivement utilisée sur l'ensemble du territoire. La confrontation avec uniquement la loi Log-normale montre qu'une régionalisation est possible.

Ces remarques ne sont donc pas sans conséquences pour la sécurité des ouvrages hydrauliques et routières. L'enjeu du débat entre le choix de la loi GEV ou de son cas particulier (Gumbel) ou toutes autres lois est considérable puisqu'il est directement lié à la sécurité des structures hydrauliques, à l'établissement des zones d'inondations et à l'estimation des événements extrêmes.

C'est dans ce contexte que cette étude a été initiée et le but est de proposer de nouvelles courbes Intensités Durée Fréquence des précipitations pour la région d'Abidjan en tenant compte des récentes évolutions de la pluviométrie. La mise à jour des courbes IDF de l'ensemble des stations de la Côte d'Ivoire est l'objet d'une autre étude.

**Figure 1:** Localisation de l'agglomération d'Abidjan



## 2. Données et Méthodes

### 2.1. Source et traitement des données

La série de données des extrêmes des précipitations est constituée par les maxima annuels pour des durées d'agrégations choisies égales à 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180 et 240 minutes provenant de la station d'Abidjan-Aéroport.

Les données de base utilisées sont constituées de pluviogrammes et proviennent de la banque de données de la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire Aéronautique et Météorologique (SODEXAM).

L'information pluviométrique issue du dépouillement des pluviogrammes est constituée par les intensités maximales annuelles. Ces maxima annuels couvrent la période allant de 1958 à 2002.

La constitution d'une telle série statistique est un processus long, parsemé d'embûches, et au cours duquel de nombreuses erreurs, sont susceptibles d'être commises. Il est donc légitime, avant

d'utiliser des séries de données, de se préoccuper de leur qualité et de leur représentativité. Ainsi, pour respecter cette représentativité et cette qualité, les tests de Wald-Wolfowitz (Haché *et al.*, 1999), Kendall (Manohar *et al.*, 2005) et Wilcoxon (Baudez *et al.*, 1999) ont été utilisés.

Le test d'indépendance de Wald-Wolfowitz est appliqué pour vérifier dans les observations, l'existence d'une dépendance séquentielle qui conduirait, lorsque celle-ci est avérée, à définir le type et le niveau de celle-ci avant de continuer l'étude du processus des fréquences.

Le test de stationnarité de Kendall est un test de corrélation sur le rang qui sert à détecter les tendances dans les séries (Yue & Pilon, 2004).

Le test d'homogénéité à l'échelle annuelle de Wilcoxon permet de vérifier si l'échantillon est formé de réalisations de la même variable et les éléments de l'échantillon proviennent de la même population statistique.

## 2.2. Méthodes

La méthodologie utilisée dans cette étude comporte plusieurs étapes distinctes. Plusieurs auteurs ont déjà utilisé cette approche (Démarée, 1985; Monhymont *et al.*, 2004; Monhymont & Démarée, 2006). Elle consiste à l'ajustement d'une loi statistique aux maxima annuels, à la détermination des quantiles et à leur modélisation au moyen de formules empiriques d'Intensité-Durée-Fréquence via une régression non linéaire des quantiles.

### • Distribution de probabilité des valeurs extrêmes

Dans toutes ces distributions statistiques, le problème est de choisir la loi la mieux appropriée pour une analyse statistique. Dans cet exercice, il est à constater la prédominance de la distribution de Gumbel. Plusieurs arguments comprenant à la fois un raisonnement théorique et des faits empiriques sont censés soutenir la pertinence de la loi de Gumbel (Koutsoyannis, 2004a).

La fonction de répartition de la loi de Gumbel est donnée par l'expression suivante:

$$F(x) = \exp\left(-\exp\left(-\frac{x-\psi}{\lambda}\right)\right) \quad (1)$$

Où  $\psi$  et  $\lambda$  sont respectivement les paramètres de localisation et d'échelle.

Cependant, de nombreuses études (Turcotte & Malamund, 2003; Coles *et al.*, 2003; Koutsoyannis, 2004a & b; Sisson *et al.*, 2006; Goula *et al.*, 2007) viennent remettre en cause cette prédominance de la distribution de Gumbel au profit de sa forme généralisée (GEV). Ainsi, les lois GEV et Log-normale sont utilisées dans cette étude.

La loi généralisée des valeurs extrêmes (GEV) est une loi à trois paramètres qui est présentée comme une généralisation de la loi de Gumbel. La fonction de répartition de la loi GEV est donnée par l'expression suivante:

$$F(x) = \exp\left\{-\left[1+k\left(\frac{x-\psi}{\lambda}\right)\right]^{-1/k}\right\} \quad (2)$$

Où  $k$  paramètre de courbure (ou de forme) imposé non nul,  $\psi$  et  $\lambda$  sont respectivement les paramètres de localisation et d'échelle.

La troisième distribution statistique proposée pour l'ajustement des maxima annuels est la loi Log-normale. Cette loi a été récemment utilisée par Goula *et al.* (2007) pour l'estimation des pluies exceptionnelles journalières de la Côte d'Ivoire. La fonction de répartition de la Log-normale est donnée par l'expression suivante:

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (3)$$

La probabilité empirique retenue pour cette étude statistique est celle de Gringorten, utilisée dans diverses études (Koutsoyiannis *et al.*, 1988; Monhymont *et al.*, 2004).

La méthode du maximum de vraisemblance a été retenue pour l'estimation des paramètres des distributions de probabilité parce qu'elle a l'avantage d'être applicable à toutes les distributions statistiques à l'exception de la distribution Log-Pearson type 3 (LP3). De plus, cette méthode donne des estimateurs corrects et efficaces (Laborde, 2000).

### • Critères de comparaison des lois statistiques

Le but de ces critères est de déterminer la loi qui ajuste au mieux la série des maxima annuels en tenant compte du nombre de paramètres de la distribution statistique.

#### • Critère d'Akaike (AIC)

Il est fondé sur une pseudo distance entre une vraie distribution ( $g$ ) inconnue, et une distribution arbitraire ( $f$ ) paramétré par  $\theta$ . On peut également montrer par définition du critère AIC, que sélectionner un modèle via le critère AIC revient à rechercher le modèle faisant le meilleur compromis biais-variance pour le nombre de données  $N$  dont on dispose (Lebartier & Mary-Huard, 2004). L'expression du critère AIC se note comme suit:

$$AIC(f, x) = -2 \ln L(\theta, x) + 2k \quad (4)$$

Où  $L$  est la vraisemblance de l'échantillon et  $k$  le nombre de paramètre

#### • Critère Bayésien (BIC)

Le critère BIC se place dans un contexte bayésien de sélection du modèle probabiliste (Lebartier & Mary-Huard, 2004). On recherche ici le modèle  $M_{BIC}$  qui maximise la distribution a posteriori des modèles c'est-à-dire le modèle le plus vraisemblable au vu des données. L'expression du critère bayésien se note comme suit:

$$BIC(f, x) = -2 \ln L(\theta, x) + 2k \cdot \ln(N) \quad (5)$$

Où  $L$  est la vraisemblance de l'échantillon,  $N$  la taille de l'échantillon et  $k$  le nombre de paramètres.

#### • Modèles empiriques des courbes Intensité Durée Fréquence

Les modèles Intensité Durée Fréquence sont des équations empiriques représentant la relation entre les intensités maximales de pluie (variable dépendante) et autres paramètres d'intérêt comme la durée et fréquence de pluie (variables indépendantes). La littérature hydrologique comporte plusieurs formulations qui permettent de générer des courbes Intensité Durée Fréquence. Dans cette étude, trois équations empiriques (Tableau I) sont proposées pour l'établissement des courbes IDF de précipitations de la région d'Abidjan.

**Tableau I:** Equations empiriques des courbes Intensité Durée Fréquence

Modèles	Equations empiriques	Références
Montana	$i = \frac{a}{d^e}$	Grosse <i>et al.</i> , 1980
Kimijirma	$i = \frac{a}{d^e + b}$	Minh Nhat <i>et al.</i> , 2006
Wanieslita	$i = \frac{aT^b}{(d+c)^e}$	Raiford <i>et al.</i> , 2007

Dans ces différentes équations ci-dessus mentionnées,  $i$  désigne l'intensité de la pluie (mm/h);  $d$  désigne la durée de l'averse;  $a$ ,  $b$ ,  $e$  et  $c$  sont des paramètres qui dépendent des conditions climatiques locales.

Pour déterminer les paramètres des différentes équations empiriques IDF, une régression non linéaire est appliquée sur les quantiles empiriques estimés. La valeur des différents paramètres est obtenue au moyen de la minimisation de la somme des racines carrées des erreurs quadratiques moyennes (RMSE).

L'expression de la somme des racines carrées des erreurs quadratiques moyennes (RMSE) est définie comme suit:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n (I_{ij}^k - I_{ij}^{k*})^2}{mn}} \quad (6)$$

Où  $m$  est le nombre de durée d'agrégations de la série,  $n$  est le nombre de période de retour,  $I_{ij}^k$  est l'intensité de pluie obtenue par l'analyse fréquentielle,  $I_{ij}^{k*}$  est l'intensité de pluie obtenue par l'équation empirique,  $k$  est la période de retour à la station  $i$  et  $j$  la durée d'agrégation.

### 3. Résultats et Discussion

#### 3.1. Tests d'hypothèses

Pour l'ensemble des maxima annuels de la station d'Abidjan, les hypothèses d'homogénéité à l'échelle annuelle, de stationnarité et l'indépendance sont acceptées à un niveau de signification de 5% à l'exception de la série de durée 45 minutes.

Cette série de données ne respecte pas la condition de stationnarité des maxima annuels. Elle a été rejetée à un seuil de 1% (mais accepté à un seuil de 5%) uniquement pour le test de stationnarité. Cependant, cette série respecte les hypothèses d'homogénéité et d'indépendance. Compte tenu de la faiblesse de ce seuil de rejet et qu'elle respecte les conditions d'indépendance et d'homogénéité à l'échelle annuelle, cette série d'intensité maximale annuelle a été utilisée.

#### 3.2. Choix des lois statistiques

A la suite de l'ajustement des lois statistiques (Log-normale, Gumbel, GEV) aux maxima annuels, les critères de comparaison (BIC et AIC) sont appliqués afin de sélectionner la loi statistique la mieux appropriée à chaque série de données pluviométriques.

Ainsi, la loi Lognormal s'avère la mieux appropriée (Tableau II) pour décrire les maxima annuels de durées 10, 15, 45, 60, 120, 180 et 180 minutes. La loi de Gumbel, qui est traditionnellement utilisée pour décrire des pluies extrêmes, ne décrit qu'une seule série de données, en occurrence celle de durée 30 minutes. La loi Log-normale et dans une moindre mesure la loi de GEV peuvent être utilisées pour décrire les intensités maximales annuelles de la région d'Abidjan.

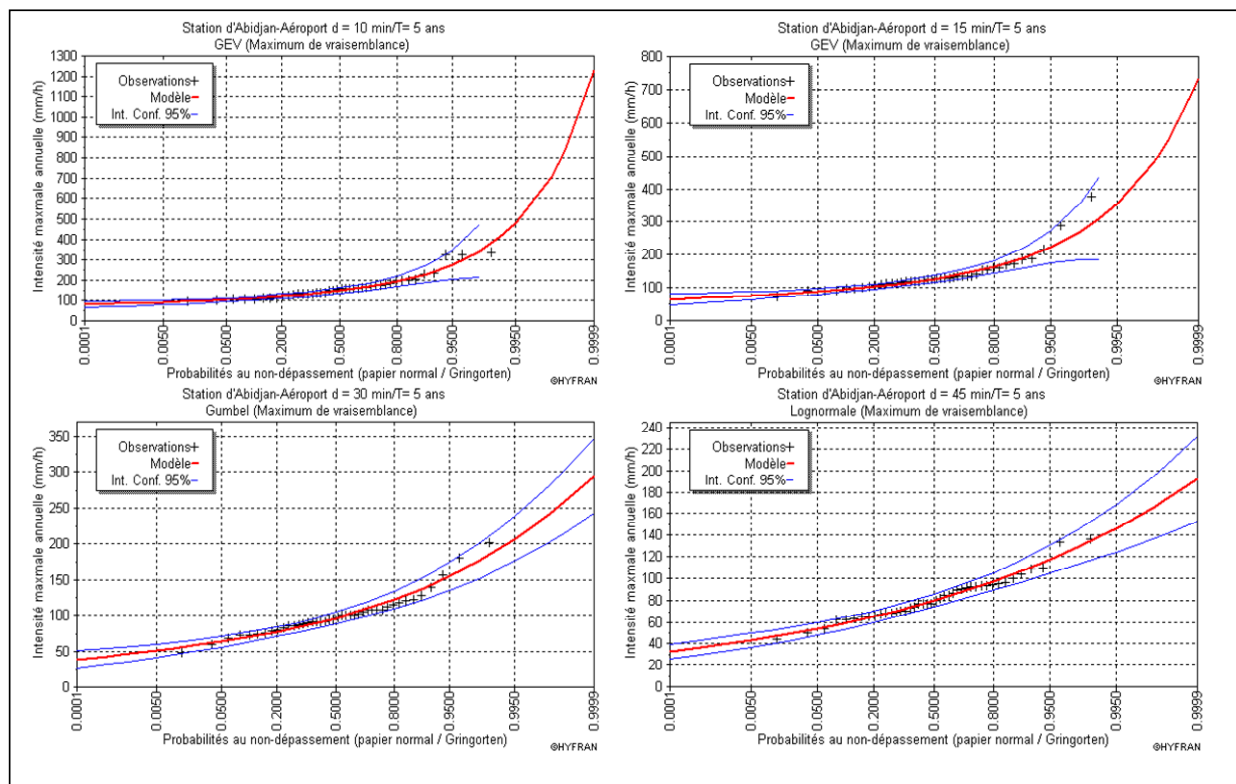
**Tableau II:** Lois statistiques appropriées pour décrire pour des maxima annuels de la station d'Abidjan (1958-2002) obtenues au moyen des critères de comparaison bayésien et d'Akaike

Pas de temps (min)	Lois statistique retenues
10	GEV
15	GEV
30	Gumbel
45	Log-normale
60	Log-normale
90	Log-normale
120	Log-normale
180	Log-normale
240	Log-normale

Ce résultat, malgré qu'elle ne concerne que des maxima annuels d'une seule station pluviométrique, confirme néanmoins le scepticisme de certains auteurs (Wilks, 1993; Koutsoyiannis et Baloutsos, 2000; Coles *et al.*, 2003; Coles & Perrichi, 2003; Sisson *et al.*, 2006) quant à la prédominance de la loi de Gumbel pour la quantification du risque associé aux précipitations extrêmes. Ceci est confirmé par Goula *et al.* (2007) au niveau de la Côte d'Ivoire, qui ont montré que la loi de Gumbel ne peut être exclusivement utilisée sur l'ensemble du territoire. Une confrontation avec uniquement la loi log-normale montre qu'une régionalisation est possible. Il est à constater la prédominance de la loi Log-normale pour l'estimation des intensités maximales annuelles de la région d'Abidjan.

La figure 2 présente l'ajustement des distributions statistiques appropriées utilisées pour décrire les maxima annuels de la région d'Abidjan de durée 10, 15, 30 et 45 et ceci pour une période de retour de 5 ans.

**Figure 2:** Ajustement des lois statistiques retenues par critères de comparaison aux maxima annuels de la station d'Abidjan pour des durées de 10, 15, 30 et 45 de période de retour 5 ans.

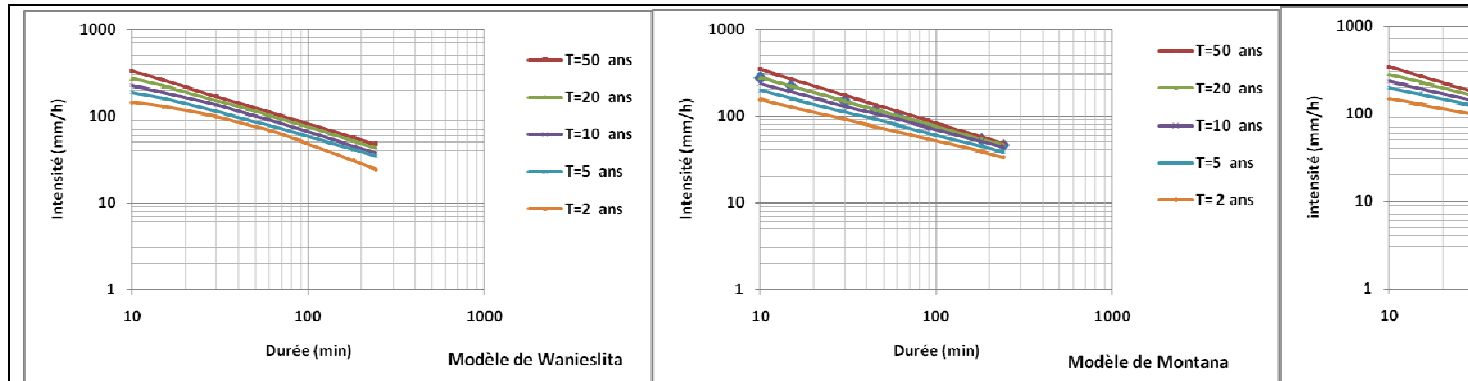


### 3.3. Courbes Intensité Durée Fréquence de précipitations

La figure 3 montre les résultats de modélisation des maxima annuels de la station d'Abidjan au moyen de trois modèles empiriques des Intensité-Durée-Fréquence.

Les points représentent les quantiles empiriques obtenus après ajustement de la distribution statistique la plus appropriée aux maxima annuels. Les courbes continues représentent les courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF) des précipitations de la région d'Abidjan. Les relations d'IDF établies au moyen du modèle empirique de Montana sont des séries de droites parallèles alors que la loi IDF sous jacente aux quantiles empiriques présente normalement une courbure. Ces séries de droites parallèles ne représentent pas correctement l'aspect infini d'une intensité instantanée. Ce résultat est confirmé par Monhymont *et al.* (2006) au niveau de la station de Yamgambi (Congo) et par Minh Nhat *et al.* (2006) au niveau de la station de Hanoi (Vietnam).

**Figure 3:** Courbes Intensité Durée Fréquence de précipitations de la station d'Abidjan (1958-2002) au moyen de modèles empiriques.



Cependant, le modèle de Montana est préconisé par certains auteurs dont Réménérias (1972) et constitue une référence en Côte d'Ivoire pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques des villes (DCAD, 1979). Les relations d'IDF obtenues au moyen des modèles de Kimijirma et de Wanielista respectent l'aspect infini de l'intensité instantanée. Certaines courbes obtenues au moyen de ces deux derniers modèles sont éloignées et d'autres sont rapprochées. Cela s'explique par le fait que ces modèles empiriques ne respectent pas les conditions de séparation des variables  $T$  (période de retour) et  $d$  (durée) (Monhymont *et al.*, 2006). Les valeurs des paramètres des différents modèles empiriques pour des périodes de retour de 2, 5 et 10 ans sont consignées dans le Tableau III.

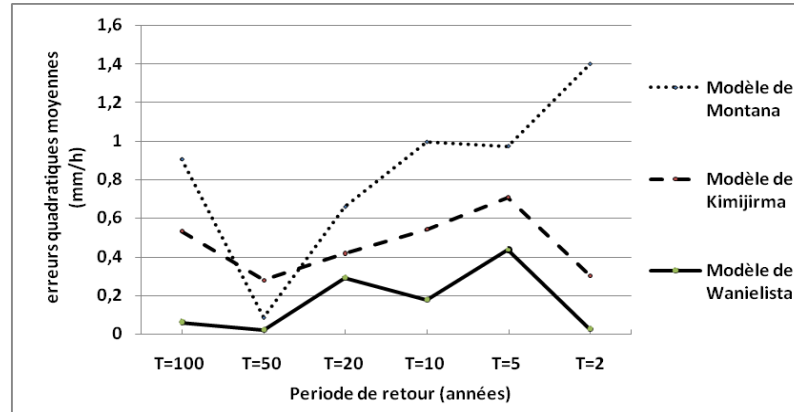
**Tableau III:** Valeurs des paramètres des modèles empiriques, des erreurs quadratiques moyennes (RMSE) et des coefficients de corrélation (R) pour les périodes de retour de 10, 5 et 2 ans.

Période de retour	Modèle	a	b	e	c	RMSE	R
10 ans	Montana	802	0,53	-	-	0,99	0,99
	Kimijirma	672	-44,73	0,39	-	0,54	0,99
	Wanielita	26,48	1,76	0,67	7,20	0,18	0,99
5 ans	Montana	641	0,51	-	-	0,97	0,99
	Kimijirma	544	-38,97	0,37	-	0,71	0,99
	Wanielita	7,65	3,05	0,62	5,57	0,44	0,99
2 ans	Montana	467	0,48	-	-	1,398	0,99
	Kimijirma	466	-181,43	0,15	-	0,303	0,99
	Wanielita	8,28	9,16	0,94	30,83	0,026	0,99

La figure 4 montre les erreurs quadratiques moyennes des trois modèles empiriques. Les erreurs quadratiques moyennes du modèle Wanielita varient entre 0,021 et 0,436 mm/h. Ce modèle représente les plus faibles erreurs. Les erreurs quadratiques moyennes du modèle de Kimijirma varient entre 0,28 et 0,707 mm/h. Le modèle de Montana représente les plus fortes valeurs d'erreurs quadratiques moyennes qui varient entre 0,085 et 1,398 mm/h.

Le nombre de paramètres du modèle empirique est un facteur qui influe sur l'estimation des erreurs de régression entre les quantiles empiriques et les courbes Intensité Durée Fréquence. Il est à noter que moins le modèle a de paramètres (cas du modèle de Montana), plus l'écart l'estimation est élevé, ce qui augmente considérablement l'erreur quadratique moyenne du modèle. Ici, le modèle empirique de Montana a 2 paramètres. Par contre, les modèles ayant beaucoup plus de paramètres (Kimijirma et Wanielita) présentent de faibles erreurs quadratiques moyennes. Ces deux derniers modèles empiriques ont respectivement 3 et 4 paramètres.

**Figure 4:** Comparaison des erreurs quadratiques moyennes des modèles empiriques



### 3.4. Comparaison des courbes IDF des études antérieures avec celles de la présente étude dans la région d'Abidjan

La comparaison des courbes IDF proposées par les études antérieures (DCAD, 1979; Puech et Chabi-Gonni, 1984) et celles de la présente étude montre un écart entre ces différentes courbes Intensité Durée Fréquence (Figure 5). Cet écart indique que les courbes IDF établies depuis près de trente ans pour la région d'Abidjan par les études de la DCAD (1979) et celle de Puech et Chabi-Gonni (1984) ne reflètent plus la situation pluviométrique de la région d'Abidjan. Plusieurs raisons peuvent expliquer l'écart observé entre les courbes Intensité Durée Fréquence.

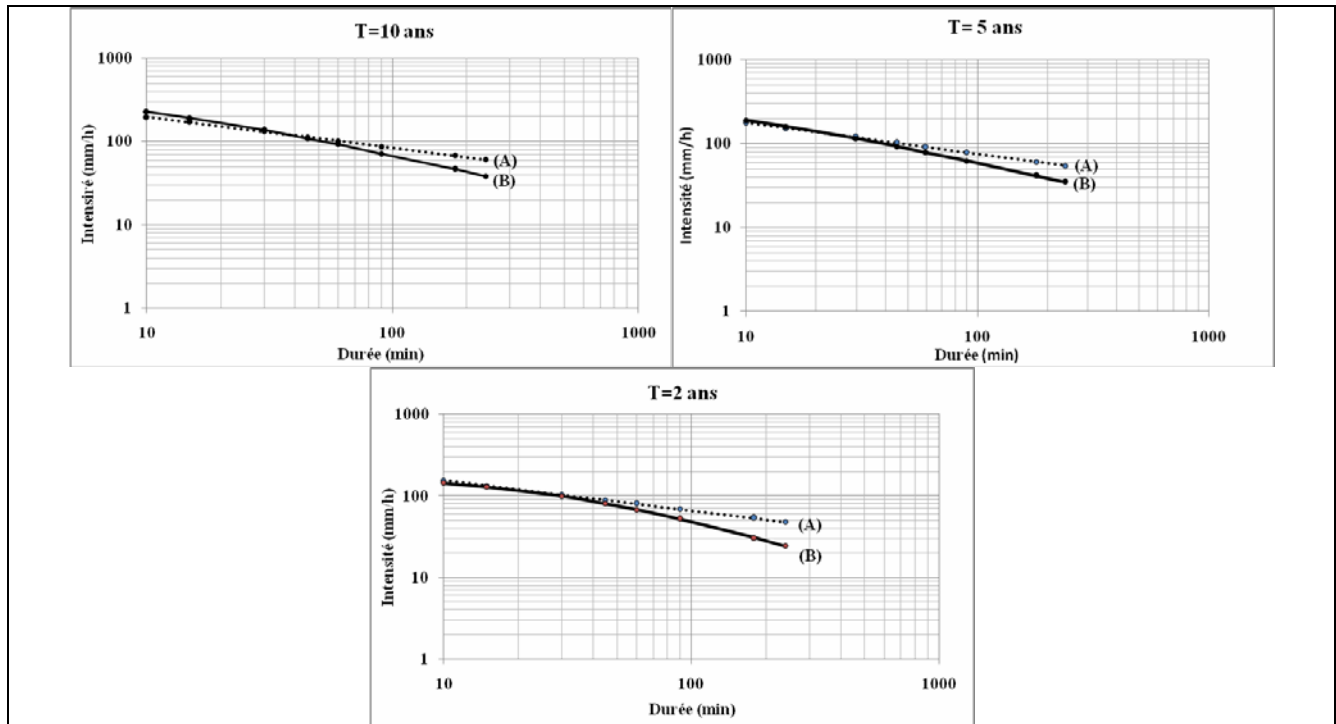
Tout d'abord, les précédentes études (DCAD, 1979; Chabi-Gonni, 1984) ont utilisé 23 années de données pluviométriques contre 42 pour la présente étude.

Ensuite, la qualité de l'ajustement à travers le choix du modèle probabiliste peut expliquer l'écart observé. L'étude de la DCAD (1979) et de celle Puech et Chabi-Gonni (1984) ont utilisé le modèle de Gumbel sans comparaison possible avec d'autres modèles. Ce choix laisse des incertitudes sur l'estimation des valeurs des quantiles de période de retour car aucune règle ne permet de justifier qu'un élément climatique extrême obéit toujours à un type particulier de distributions. Ceci est confirmé par de nombreuses études qui remettent en cause cette prédominance de la distribution de Gumbel (Koutsoyiannis, 2004 a & b; Gellens, 2002). Ces auteurs affirment que l'application de la loi de Gumbel sans raisonnement ni comparaison possible avec d'autres modèles, peut conduire à une mauvaise estimation du risque. Pour minimiser les erreurs sur l'estimation des quantiles, il est préférable de faire une sélection préalable des lois statistiques.

Enfin, le choix du modèle empirique d'IDF pour la modélisation des maxima annuels constitue un autre handicap. L'étude réalisée par la DCAD (1979) et celle de Puech et Chabi-Gonni (1984) ont utilisé le modèle empirique de Montana pour modéliser les maxima annuels de la région d'Abidjan. Cependant, Monhymont et Démarée (2006) après l'établissement de courbes Intensité-Durée-Fréquence de la région de Yangambi (Congo) au moyen de différents modèles empiriques de type Montana, préconisent le rejet de ce modèle au profit d'une formule ayant une base physique et probabiliste plus solide. De plus, le modèle empirique de Montana présente de très fortes valeurs d'erreurs quadratiques moyennes pour la modélisation des maxima annuels de la région d'Abidjan et ne comporte que 2 paramètres.

**Figure 5:** Comparaison des courbes IDF des études antérieures et celles de la présente étude:  
A: Etudes antérieures, B: Etude actuelle





## Conclusion

Cette étude a permis la mise à jour des courbes Intensité Durée Fréquence de la région d'Abidjan vieille de trente années. L'étude statistique a relevé la prédominance de la loi Log- normale pour la quantification du risque associé aux précipitations extrêmes de la région d'Abidjan au détriment de la loi GEV et de son cas particulier (loi de Gumbel).

Des courbes Intensité Durée Fréquence ont été construites au moyen de trois modèles empiriques d'IDF. Le modèle empirique de Montana utilisé actuellement par les projeteurs lors du dimensionnement des ouvrages hydrauliques de la région d'Abidjan présente des familles de courbes IDF parallèles et des erreurs quadratiques moyennes très élevées. Ce modèle empirique ne représente pas correctement l'aspect infini d'une intensité instantanée. Par contre, le modèle empirique de Wanieslita, possèdent de faibles erreurs quadratiques moyennes et décrit aisément les maxima annuels de la région d'Abidjan. Cette étude montre que le modèle empirique de Montana et les courbes IDF actuellement utilisées pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques sont largement dépassés. Cela pose le problème de la sécurité des ouvrages et par ricochet celle de la population de la ville d'Abidjan. Il est donc primordiale de faire l'actualisation de l'exploitation l'étude des intensités exceptionnelles de pluie en Côte d'Ivoire tant sur la nature qualitative des données que des lois statistiques et des modèles d'Intensité-Durée-Fréquence.

## References

- [1] **Baudez J.C., Loumagne, C., Michel, Cl., Palagos, B., Gomendy, V. & Bartoli F. (1999)** Modélisation hydrologique et hétérogénéité spatiale des bassins - Vers une comparaison de l'approche globale et de l'approche distribuée. *Etude et Gestion des Sols* 1999, 6(4), 105-184.
- [2] **Bultot, F. (1950)** Carte des régions climatiques du Congo belge établie d'après les critères de köppen. Publication de l'institut national pour l'étude Agronomique du Congo belge (INEAC). Communication no 2, Bureau Climatique, Bruxelles.
- [3] **Brunet, M. Y. (1967)** Etude des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale. *Publications ORSTOM-CIEH*, 15 p.
- [4] **Coles S., Perrichi L. & Sisson S., (2003)** A fully probabilistic approach to extreme rainfall modelling. *J Hydrol.* 1/4, 35-33.
- [5] **DCAD (1979)** Etude des intensités des averses exceptionnelles. *Instruction technique relative aux réseaux d'assainissement*, 53 p.
- [6] **Gellens D., (2002)** Combining regional approach and data extension procedure for assening GEV distribution of extreme precipitation in Belgium. *J Hydrol.* 113-126.
- [7] **Goula, B. T. A., Konan, B., Brou Y, T. Savane, I., Fadika, V. & Srohourou, B. (2007)** Estimation des pluies exceptionnelles journalières en zone tropicale: Cas de la Côte d'Ivoire par comparaison des lois lognormale et de Gumbel. *Hydrol. Sci. J.* 52 (2). 49-67.
- [8] **Grosse, J. Y., Givone C., Givone P., Oberlin, G. & Shwartz, J. J. (1980)** Crues et assainissement. Analyse des pluies de 1 à 10 jours sur 300 postes métropolitains. *La météorologie, VIe série* 20/21, 61-168.
- [9] **Hache, M., Perreault, L., Remillard, L. & Bobee, B. (1999)** Une approche pour la sélection des distributions statistiques: application au bassin hydrographique du Saguenay Lac St Jean. *Rev. Can. Génie Civ.* 26 (2). 216-225.
- [10] **Hubert P. & Carbonel, J.P. (1993)** Segmentation des séries annuelles de débits de grands fleuves africains. *Bulletin de liaison CIEH*, no 92, 3-10.
- [11] **Koutsoyiannis, D., Kozonis, D. & Manetas, A. (1998)** A mathematical framework of studying rainfall intensity-duration-frequency relationships. *J Hydrol.* 206, 118-135.
- [12] **Koutsoyiannis, D. & Baloutsos, G. (2000)** Analysis of along record of annual maximum rainfall in Athens, Greece, and design rainfall inferences. *Natural Hazards* 22 (1), 31-51.
- [13] **Koutsoyiannis, D. (2004a)** Statistics of estimation of extreme rainfall I. Theoretical of investigation. *Hydrol. Sci. J.* 49 (4). 575-590.
- [14] **Koutsoyiannis, D. (2004b)** Statistics of estimation of extreme Rainfall: II. Theoretical of investigation. Empirical investigation of long rainfall records. *Hydrol. Sci. J.* 49 (4). 591-610
- [15] **Laborde, J.P. (2000)** Eléments d'hydrologie de surface, 204 p.
- [16] **LeBarbier, E. & Mary-Huard, T. (2004)** Le critère BIC: fondements théoriques et interprétation. *Rapport technique, INRIA*.
- [17] **Manohar, A., Goel, N. K. & Singh, P. (2005).** Evaluation of temperature trends over India. *Hydrol. Sci. J.* 50 (1). 81-94.
- [18] **Minh Nhat, L. Tachikawa Y. & Takara, K. (2006)** Etablissement of intensity-duration-frequency Curves for Precipitation in Monsoon Area of Vietnam. *Annuals of Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., N° 49B.* 93-102.
- [19] **Mohymont, B. Demarée, G. R. & Faka, D. N. (2004)** Establishment of IDF-curves for precipitation in the tropical area of Central Africa-comparison of techniques and results. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 4. 375-387.
- [20] **Monhymont B. & Demarée G.R., (2006)** Courbes Intensité-durée-fréquence des précipitations à Yangambi, Congo au moyen de différents modèles de types Montana. *Hydrol. Sci. J.* 51(2) 236-253.

- [21] **Mounis H. & Mansongi M. (1979).** Note provisoire sur les pluies exceptionnelles de faible durée en Afrique Occidentale et Centrale. *Publications du Comité Interafricain d'études hydraulique*, 8 p.
- [22] **Oyebandé L., (1982)** Deriving rainfall Intensity-Duration-Frequency relationships and estimates for regions with inadequate data. *Hydrol. Sci. J.* **27** (3), 353-367.
- [23] **Pire, J., Berreux, M. & Quoidbach, J. (1960)** L'intensité des pluies au Congo et au Ruanda-Urundi. Mémoires-collection in-4°, livre IV, Fascicule 1, Classe des Sciences Techniques, Académie Royale des Sciences d'Outres-Mer.
- [24] **Puech, C. & Chabi-Gonni, D. (1984)** Courbes hauteur de pluie-durée-fréquence Afrique de l'Ouest pour des pluies de durée 5 mn à 24 heures. Ouagadougou: CIEH, 1984,155 p.
- [25] **Raiford, J.P., Aziz N. M., Khan A.A & Powell. D.N. (2007)** Rainfall Depth-Duration-Frequency relationships for South Carolina, North Carolina, and Georgia. *American Journal of Environmental Sciences* **3** (2), 78-84.
- [26] **Remenieras G., (1972)** L'Hydrologie de l'Ingénieur. Collection du Centre de Recherches et d'Essais de Chatou (3 édition), Eyrolles, 456 p.
- [27] **Savané, I., Kapo, C. & P. Gioan P. (2001)** Variabilité climatique et ressource en eau souterraine dans la région semi montagneuse de MAN. *Revue sécheresse*, **12** (4), 232-237.
- [28] **Servat, E., Paturel J. E. & Ouedraogo, M. (1998)** Caractérisation d'une modification éventuelle de la relation pluie débit autour des années 1970 en Afrique de l'Ouest et du Centre non Sahélienne IAHS. *Publication*, **25** (2), 365-373.
- [29] **Sisson S.A., Perrichi L. R. & Coles S., (2006).** A case for a reassessment of the risk of extreme hydrological hazards in the Caribbean. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. **20** (4), 296-306.
- [30] **Tapsoba, D., Bobbe, B. & L. Lebarbe (2002)** Quelques caractéristiques événementielles des régimes pluviométriques ponctuels Ouest africains au cours des deux périodes climatologiques contrastées (1951-1970 et 1971-1991). Application de la loi composée poisson/ exponentielle (LCPE) ou du modèle de la loi des fuites (LDF) aux pluies. *Revue sécheresse*, **13** (4), 95-103.
- [31] **Turcotte D. L. & Malamund B. D., (2003).** Applicability of fractal flood -frequency statistics. *In hydrofractals 03*
- [32] **Wilks D S., (1993).** Comparison of three-parameter probability distributions for representing annual extreme and partial duration precipitation series. *Water Resour.Res.* **29** (10), 3543-3549
- [33] **Yue, S. & Pilon, P. A. (2004)** Comparison of the power of the t test, Mann-Kendall and bootstrap tests for trend detection *Hydrol. Sci. J.* **49** (1), 21-38.

# **Variabilité Interannuelle et Saisonnière de L'écoulement de Quatre Cours D'eau de L'ouest Côtier de la Côte D'ivoire (Tabou, Dodo, Néro et San Pédro) Dans un Contexte de Baisse de la Pluviométrie en Afrique de L'ouest**

**Fadika Vamoryba**

*Laboratoire Géosciences et Environnement  
UFR Sciences et Gestion de l'Environnement  
Université d'Abobo-Adjamé - 02 BP 801 Abidjan 02 - Côte d'Ivoire*

**Goula Bi Tié Albert**

*Laboratoire Géosciences et Environnement  
UFR Sciences et Gestion de l'Environnement  
Université d'Abobo-Adjamé - 02 BP 801 Abidjan 02 - Côte d'Ivoire  
E-mail: goulaba2002@yahoo.fr*

**Kouassi Francis Williams**

*Laboratoire Géosciences et Environnement  
UFR Sciences et Gestion de l'Environnement  
Université d'Abobo-Adjamé - 02 BP 801 Abidjan 02 - Côte d'Ivoire*

**Doumouya Inza**

*Laboratoire Géosciences et Environnement  
UFR Sciences et Gestion de l'Environnement  
Université d'Abobo-Adjamé - 02 BP 801 Abidjan 02 - Côte d'Ivoire*

**Koffi Kouadio**

*Laboratoire Géosciences et Environnement  
UFR Sciences et Gestion de l'Environnement  
Université d'Abobo-Adjamé - 02 BP 801 Abidjan 02 - Côte d'Ivoire*

**Kamagate Bamory**

*Laboratoire Géosciences et Environnement  
UFR Sciences et Gestion de l'Environnement  
Université d'Abobo-Adjamé - 02 BP 801 Abidjan 02 - Côte d'Ivoire*

**Savane Issiaka**

*Laboratoire Géosciences et Environnement  
UFR Sciences et Gestion de l'Environnement  
Université d'Abobo-Adjamé - 02 BP 801 Abidjan 02 - Côte d'Ivoire*

**Srohorou Bernard**

*SODEXAM, Direction de la Météorologie Nationale  
15 BP 950, Abidjan 15, Côte d'Ivoire*

## Abstract

Coastal south-west of Cote d'Ivoire knows the fall of precipitations which started in West and Central Africa towards the end of 1960 to the beginning of the years 1970. But in fact the decades 1980 and especially 1990 see the aggravation of the rainfall and hydrological deficit in this zone. Thus, the reduced centered variable highlights the overdrawn periods: 1975-1997 in Sassandra, 1981-1997 in Grabo and 1993-1997 in Tabou. Just as a general fall of the annual modules of 1970 to 2004 which is clearer on the phases 1982-2002 for the Tabou, 1981-1993 for Nero and Dodo and 1992-2002 for San Pedro with these of the respective deficits of 33, 42, 45 and 33%. The procedure of segmentation detects ruptures in the series of annual rainfall of Sassandra in 1974 and Tabou during 1994 followed of 26% and 37% like deficits just as in 1994 on the series of flows at the station of pumping of San Pedro. The pluviometric coefficients and of flow reveal modifications in the seasons in period of dryness like the increase in precipitations in August and the flows in November. The groundwater reflect also the variations of rainfall and the runoff by increase of the storm - runoff coefficient.

**Keywords:** Climatic variability, hydrology, tropical zone, water resources, rainfall, runoff.

## 1. Introduction

La variabilité interannuelle de la pluviométrie en Afrique de l'ouest est caractérisée depuis les années 1970 par une longue période déficitaire matérialisée par un manque d'eau qui s'est répercuté négativement sur les populations et l'économie du Sahel (Lebel et *al.*, 2000). Les régions situées plus au Sud et aux climats plus humides n'ont pas été épargnées par la sécheresse. Ainsi, la décennie 1980 a vu une nette intensification du phénomène sur la côte ivoirienne (Paturel et *al.*, 1997) malgré l'importante pluviométrie de cette zone qui est sous l'influence directe et prépondérante des vents de mousson provenant de L'Océan Atlantique. La station de Tabou, localisée à l'ouest du littoral ivoirien et qui fait l'objet de cette étude, a enregistré par exemple 2296 mm de pluie en moyenne par an de 1922 à 1997.

Le but de cette étude est d'observer les manifestations de la variabilité du climat Ouest Africain sur les bassins versants côtiers de l'ouest de la Côte d'Ivoire à travers les variables que sont les précipitations, les débits et les coefficients de tarissement. Qui plus est, ces cours d'eau côtiers ont fait l'objet de moins d'études de ce type que ceux du Sassandra, Bandama et Comoé (Aka et *al.*, 1997; Goula et *al.*, 2006, Kouakou et *al.*, 2007).

La méthodologie a consisté à caractériser la variabilité interannuelle et saisonnière de la pluviométrie et de l'écoulement de surface de même que l'impact sur les réserves en eaux souterraines à travers les variations des coefficients de tarissement.

### 1.1. Présentation de la zone d'étude

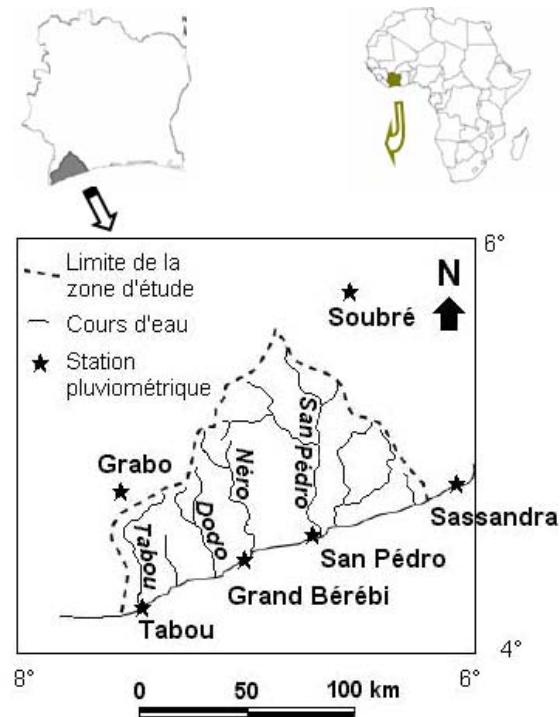
La zone côtière de la Côte d'Ivoire se situe au Sud du pays entre les latitudes 4° et 5°30 Nord et les longitudes 2°25 et 7°30 Ouest et s'étend sur une superficie de 32 960 km<sup>2</sup>. Elle connaît un climat de type équatorial avec quatre saisons qui se répartissent dans l'année comme suit:

- d'avril à juillet, avec l'ascension du FIT, c'est la grande saison des pluies;
- d'août à septembre, c'est la petite saison sèche qui est la plus froide de l'année;
- d'octobre à novembre, la petite saison des pluies survient avec le second passage du FIT;
- de décembre à mars, s'installe la grande saison sèche qui est la plus chaude de l'année.

La forêt sempervirente et des plaines où l'altitude n'excède pas 200 mètres caractérisent la végétation et le relief du Sud de la Côte d'Ivoire. Le littoral qui s'allonge sur près de 500 km est

composé dans sa moitié occidentale de falaises rocheuses à l'ouest du Sassandra, puis argilo-sableuses jusqu'au cap des Palmes (frontière libérienne). Ce sont, les sols ferrallitiques fortement désaturés qui recouvrent en grande partie le sud de la Côte d'Ivoire. Le réseau hydrographique de la côte ouest se compose de petits fleuves dont le Tabou, Dodo, Néro et San Pédro qui font l'objet de cette étude. Ils se situent entre les bassins du Cavally à l'ouest et du Sassandra à l'est.

**Figure 1:** Localisation des cours d'eau côtiers de l'ouest de la Côte d'Ivoire



## 2. Données et Méthodes

### 2.1. Données pluviométriques et hydrométriques

Les hauteurs de pluie mensuelle des six stations utilisées sur la période 1944 à 1997, proviennent de la Météorologie Nationale.

Les débits journaliers de 1970 à 2004 des quatre stations hydrométriques ont été obtenus à la Sous-direction de l'Hydrologie de la Direction de l'Hydraulique Humaine.

### 2.2. Caractérisation de la variabilité interannuelle des précipitations et des débits

#### 2.2.1. Variable centrée réduite et Filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2

La variable centrée et réduite est l'écart à la moyenne interannuelle de la hauteur de pluie ou du module d'une année sur l'écart type de la série. Il met en évidence le caractère excédentaire, déficitaire ou normal d'une année et donc la fluctuation d'une année à une autre.

Le filtre non récursif passe-bas de Hanning d'ordre 2 calcule les totaux pondérés des séries, de taille  $n$ , avec les équations recommandées par Assani (1999) dont la principale est:

$$x_{(t)} = 0,06x_{(t-2)} + 0,25x_{(t-1)} + 0,38x_{(t)} + 0,25x_{(t+1)} + 0,06x_{(t+2)} \quad (1)$$

pour  $3 \leq t \leq (n-2)$

où  $X_{(t)}$  est le total pluviométrique pondéré du terme  $t$ .

Il filtre ainsi les variations saisonnières qui augmentent la variabilité interannuelle des séries et indique les tendances de la variable hydroclimatique. Les totaux pondérés sont ensuite centrés et réduits pour bien montrer les phases déficitaires et excédentaires.

### 2.2.2. Test de corrélation sur le rang et Test de détection de rupture(s)

Le test de corrélation sur le rang (Lubes et *al.*, 1998) est un test non paramétrique qui vérifie l'homogénéité d'une série temporelle avec pour hypothèse alternative celle d'une tendance. La mise en oeuvre du test repose sur un comptage du nombre de paires  $P$  pour lesquelles  $(x_j > x_i)$  avec  $j > i$  pour  $i = 1, 2, \dots, n-1$ . La formule de la variable  $\tau$  du test s'écrit:

$$\tau = \frac{4P}{N(N-1)} - 1 \quad (2)$$

Pour un grand nombre d'observations  $N$  et sous l'hypothèse nulle, la variable  $\tau$  suit une distribution normale de moyenne nulle et de variance  $\sigma_\tau^2$  égale à:

$$\sigma_\tau^2 = \frac{2(N+5)}{9N(N-1)} \quad (3)$$

La procédure de segmentation (Hubert et *al.*, 1989) est en quelque sorte un test de stationnarité dont l'hypothèse nulle est: « la série étudiée est stationnaire ». Si la série chronologique testée n'est pas homogène (stationnaire), elle la découpe en autant de sous-séries homogènes que possible. Les différences entre les moyennes de deux sous-séries contiguës demeurent significativement différentes de zéro. Le test de scheffé (1959) permet de déterminer la segmentation optimale et d'arrêter le processus de segmentation avec un niveau de signification de 1% ou 5%. Cette méthode présente l'avantage de pouvoir rechercher des changements multiples de moyenne dans une série hydrométéorologique. Les tests de segmentation et de corrélation ont été appliqués avec le logiciel KhronoStat de l'Institut pour la Recherche et le Développement (IRD - France).

### 2.3. Variations des régimes pluviométriques et hydrométriques

Le but de cette partie est de déterminer les éventuelles variations saisonnières de la pluie et des débits d'une période homogène à une autre. Pour cela, des coefficients pluviométriques ( $C_p$ ) et hydrométriques ( $C_q$ ) en pourcentage sont calculés avec les formules (4) et (5).

$$C_p (\%) = \frac{P_m * 100}{P} \quad (4)$$

$$C_q (\%) = \frac{q * 100}{Q * 12} \quad (5)$$

Avec  $P_m$ : hauteur de pluie d'un mois en mm;  $P$ : total annuel de pluie en mm;  $q$ : débit moyen mensuel en  $m^3/s$  et  $Q$ : module annuel en  $m^3/s$ .

### 2.4. Coefficients de tarissement et volumes d'eau mobilisés par les aquifères

L'objectif de cette partie est d'avoir une idée sur les variations des réserves en eau souterraines à travers celle des coefficients de tarissement. En effet, ces derniers se caractérisent par des valeurs élevées en période de sécheresse et faibles en cas de recharge de la nappe. C'est le coefficient de tarissement de Maillet ( $k$ ) amélioré par résolution dichotomique et le volume mobilisé ( $V_{mobilisé}$ ) par les aquifères, présentés par Savané et *al.* (2001) qui ont été utilisés. L'expression mathématique du tarissement s'écrit:

$$Q_t = Q_0 e^{-kt} \quad (6)$$

Avec  $Q_t$ : débit à l'instant  $t$  donné et  $Q_0$ : débit initial ou au début du tarissement en  $m^3/s$ .  $k$  ( $j^{-1}$ ) peut être obtenu en résolvant par la méthode de dichotomie l'équation (7):

$$\frac{e^{-kt}}{k} + \frac{V}{Q_0} - \frac{1}{k} = 0 \quad (7)$$

Où V est le volume écoulé à chaque instant (m<sup>3</sup>)

L'intégration de la formule (6) sur l'intervalle [0, + ∞] donne le volume mobilisé par l'ensemble des aquifères du bassin versant, soit:

$$V_{\text{mobilisé}} = \int_0^{+\infty} Q_0 e^{-kt} dt = \frac{Q_0}{k} \quad (8)$$

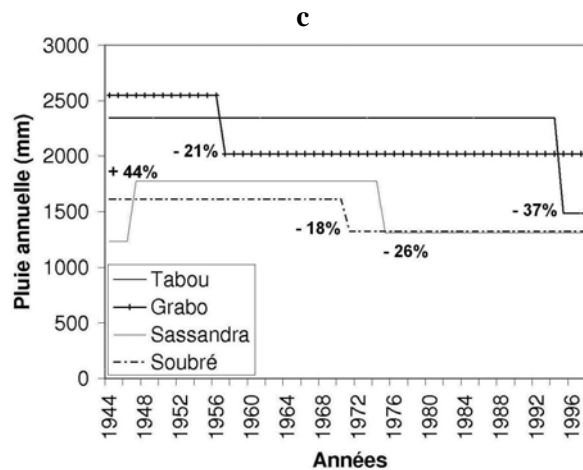
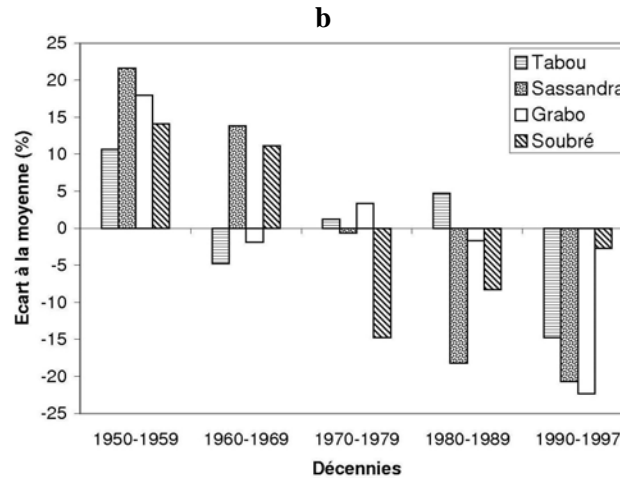
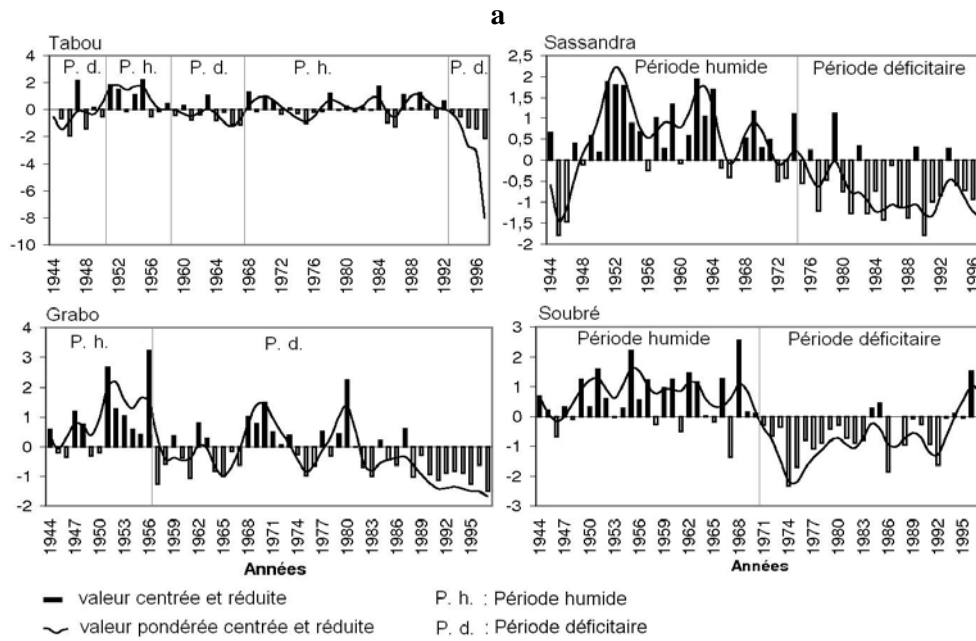
### 3. Résultats et Discussion

#### 3.1. Variabilité interannuelle de la pluviométrie

La grande variabilité de la pluviométrie annuelle dans le Sud-ouest de la Côte d'Ivoire transparait aussi bien d'une année à une autre que dans la succession des phases excédentaires et déficitaires. Ainsi, les fluctuations des valeurs centrées et réduites des totaux annuels et pondérés font ressortir les périodes excédentaires: 1944 - 1956 et 1968 - 1981 à Grabo, 1944 -1970 à Soubré, 1944 - 1974 à Sassandra puis 1951 - 1958 et 1968 - 1992 à Tabou. Et les périodes déficitaires: 1957-1967 et 1982 -1997 à Grabo, 1971-1997 à Soubré, 1975-1997 à Sassandra puis 1944-1950, 1959-1967 et 1993-1997 à Tabou (*figure 2a*).



**Figure 2:** Fluctuation de la pluviométrie annuelle de quatre séries du Sud-ouest de la Côte d'Ivoire de 1944 à 1997 a/ Valeurs centrées réduites; b/ Variations de la pluie moyenne par décennie; c/ Segmentation des séries de pluie annuelle.



L'analyse des variations de la pluie annuelle moyenne par décennie, en estimant les écarts moyens à la période 1950 - 1997, fait apparaître la décennie 1950 comme la plus excédentaire pour

toutes les séries (*figure 2b*). Les précipitations diminuent ensuite de manière générale pendant les quatre décennies suivantes et deviennent déficitaires partout pendant la dernière. Les plus grands déficits sont notés pour les trois stations de la côte pendant cette phase 1990 - 1997 avec respectivement 15, 21 et 22% pour Grabo, Sassandra et Tabou.

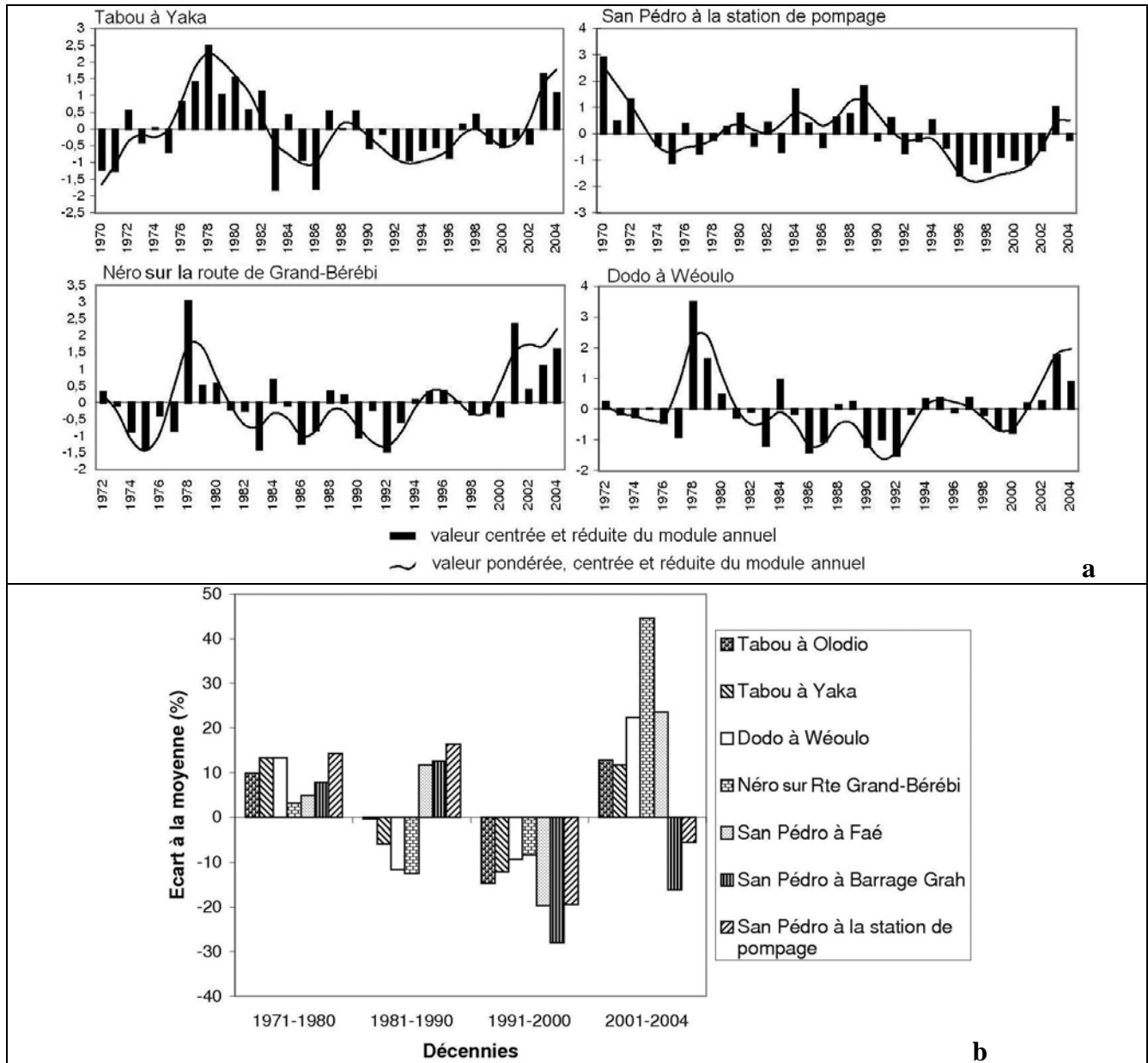
En outre, le caractère aléatoire de la série de Tabou et non aléatoire de celles de Sassandra, Soubré et Grabo sont mis en évidence par le test de corrélation aux seuils de confiance de 99, 95 et 90%.

L'existence de tendance dans l'évolution interannuelle des séries se vérifie avec la détection de cinq ruptures de stationnarité de 1946 à 1994 par le test de segmentation au niveau de signification de 1% du test de Scheffé (1959). Les déficits pluviométriques consécutifs à ces ruptures varient de 18 à 37% (*figure 2c*).

Ces résultats concordants à partir de différentes méthodes, indiquent une baisse de la pluviométrie annuelle à partir des années 1970 sur les bassins côtiers de l'ouest de la Côte d'Ivoire comme sur la majeure partie de l'Afrique de l'ouest et centrale (Bricquet et *al.*, 1997). Mais le déficit pluviométrique s'est réellement accentué sur la côte ivoirienne pendant les décennies 1980 et surtout 1990. Les ruptures de stationnarité de 1974 à Sassandra et 1994 à Tabou qui se situent après la période générale de rupture en Afrique de l'ouest 1968-1971 (Hubert et *al.*, 1989; Ardoin, 2004) et en Côte d'Ivoire 1966 - 1971 (Paturel et *al.*, 1997; Servat et *al.*, 1999) le montrent. De plus, les déficits de 26% et 37%, consécutifs à ces ruptures tardives sont plus importants que ceux constatés à l'intérieur du pays sur les bassins du Sassandra, Bandama et Comoé de même ceux enregistrés en Afrique tropicale humide qui sont de l'ordre de 20-25% ou moins (Servat et *al.*, 1999; Goula et *al.*, 2006; Kouakou et *al.*, 2007). Toutefois, l'extrême sud-ouest ivoirien (Tabou, Grabo) est caractérisé aussi par une baisse de la pluie annuelle avant celle des années 1970, de 1957 à 1967, marquée par une rupture en 1956 à Grabo. Cette phase déficitaire contraste avec une période en générale excédentaire en Afrique de l'ouest de 1951 à 1970 (Hubert et *al.*, 1989). Il en est de même à Man à l'ouest, Dimbokro au centre, Bouna et Dabakala au Nord (Goula et *al.*, 2006; Kouakou et *al.*, 2007). Ces remarques ajoutées aux précédentes confirment le comportement interannuel différent du littoral ivoirien des régions intérieures (Bigot et *al.*, 2005). Surtout cette partie ouest du littoral qui du fait de son orientation plus perpendiculaire aux vents de mousson, enregistre une forte pluviométrie annuelle (Aubreville, 1949). La station de Tabou n'a connu une baisse intense de la pluie qu'après 1992 et une séquence déficitaire de plus de quatre ans apparaît depuis 1967.

### 3.2. Variabilité interannuelle des débits

**Figure 3:** a/Evolution interannuelle des modules annuels de quatre cours d'eau côtiers de l'ouest de la Côte d'Ivoire sur la période 1970-2004. b/Variation par décennies des modules des huit stations hydrométriques.



La fluctuation interannuelle des modules de ces quatre cours d'eau, de 1970 à 2004, semble s'inscrire dans une période déficitaire de l'écoulement comportant toutefois des phases excédentaires comme la séquence 1976-1982 sur la série du Tabou où les modules augmentent de 53% (figure 3a). De même, pendant la phase 1970-1991, celle de San Pédro présente des débits en majorité excédentaires quoiqu'ils restent de loin inférieurs à la valeur de 1970 montrant une certaine baisse de l'écoulement à cette station à partir de 1971. Cette diminution s'accroît de 1995 à 2002 (-41%). En outre, les séries du Dodo et du Néro connaissent une phase excédentaire de 1978 à 1981 avec des débits très élevés en 1978. Leurs débits augmentent aussi respectivement de 7% et 15% de 1994 à 2004.

Ces différentes phases excédentaires donnent une décennie 1970 humide à toutes les séries analysées (*figure 3b*). Les modules sont en moyenne excédentaires aussi pendant la décennie 1980 pour les trois séries du San Pédro et la phase 2001-2004 pour toutes les séries sauf deux du San Pédro. Par contre, la décennie 1990 est déficitaire pour toutes les séries avec des écarts moyens qui varient de -8% à -28%.

Le test de corrélation sur le rang met en évidence le caractère non aléatoire de la seule série du San Pédro à la station de pompage aux seuils de confiance de 95 et 90%. Les autres séries sont aléatoires aux seuils de confiance de 99, 95 et 90%.

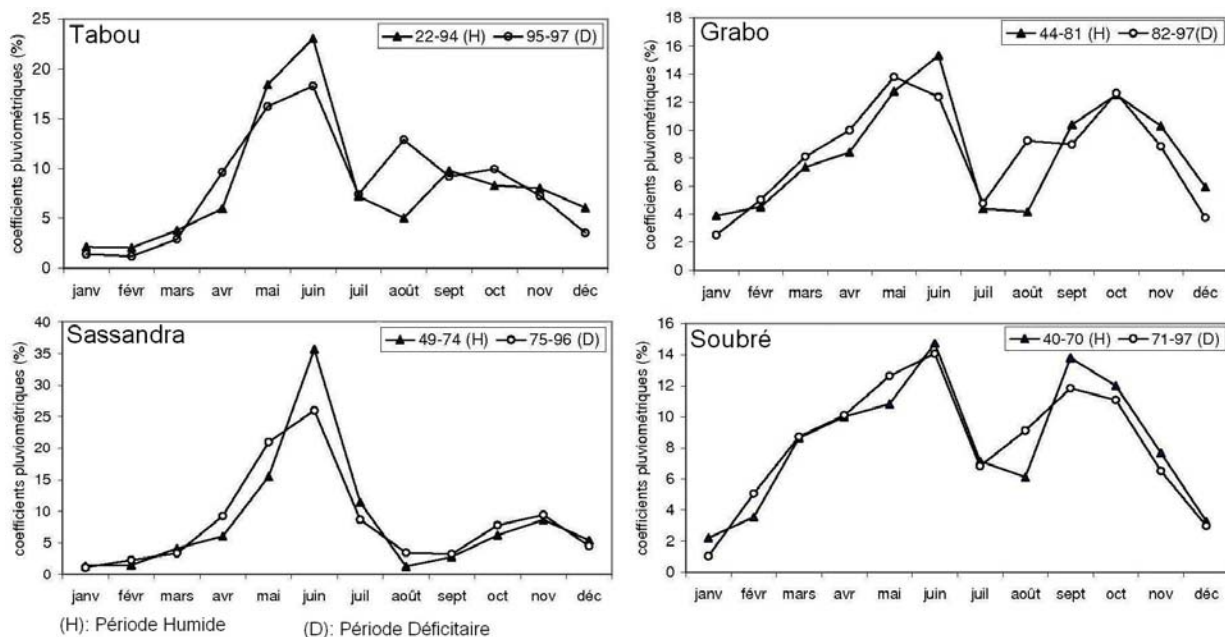
Le test de segmentation confirme la présence de tendances dans l'alternance des modules du San Pédro par la segmentation de cette série en deux périodes homogènes: une relativement excédentaire de 1971 à 1994 et l'autre déficitaire de 1995 à 2004 où les débits diminuent en moyenne de 30%.

Ces différents résultats montrent un écoulement de surface déficitaire dans le Sud-ouest de la Côte d'Ivoire de 1970 à 2004 avec néanmoins des augmentations de module en général dans la deuxième moitié de la décennie 1970 et au début de la décennie 2000. Aussi, la baisse des débits se prolonge-t-elle sur les phases 1983 - 2002 pour le Tabou, 1981 - 1993 pour le Néro et le Dodo, 1992 - 2002 pour le San Pédro. Elle produit ainsi des déficits respectifs de 33, 42, 45 et 33%. Les décennies 1980 pour le Néro et le Dodo et 1990 pour tous les cours d'eau voient donc une intensification du déficit hydrologique comme au niveau de la pluviométrie annuelle. L'amélioration des modules annuels du Néro et Dodo à partir de 1994 se conforme à ceux de treize bassins en Afrique analysés sur la période 1970-2000 (Ardoin, 2004). La rupture de stationnarité de 1993 qui a précédé ces augmentations amène Hubert et *al.*, (2005) à supposer d'une nouvelle phase climatique à l'échelle du bassin du Sénégal. Mais il est encore prématuré de conclure à la fin de la sécheresse hydrologique, après 1993, sur la côte ivoirienne et ce d'autant plus que la pluviométrie et les débits des deux autres cours d'eau sont toujours en baisse.

### 3.3. Variations saisonnières des pluies et des débits

#### 3.3.1. Variations de la répartition de la pluie annuelle en phase déficitaire

**Figure 4:** Variations du régime pluviométrique des périodes excédentaires aux périodes déficitaires.

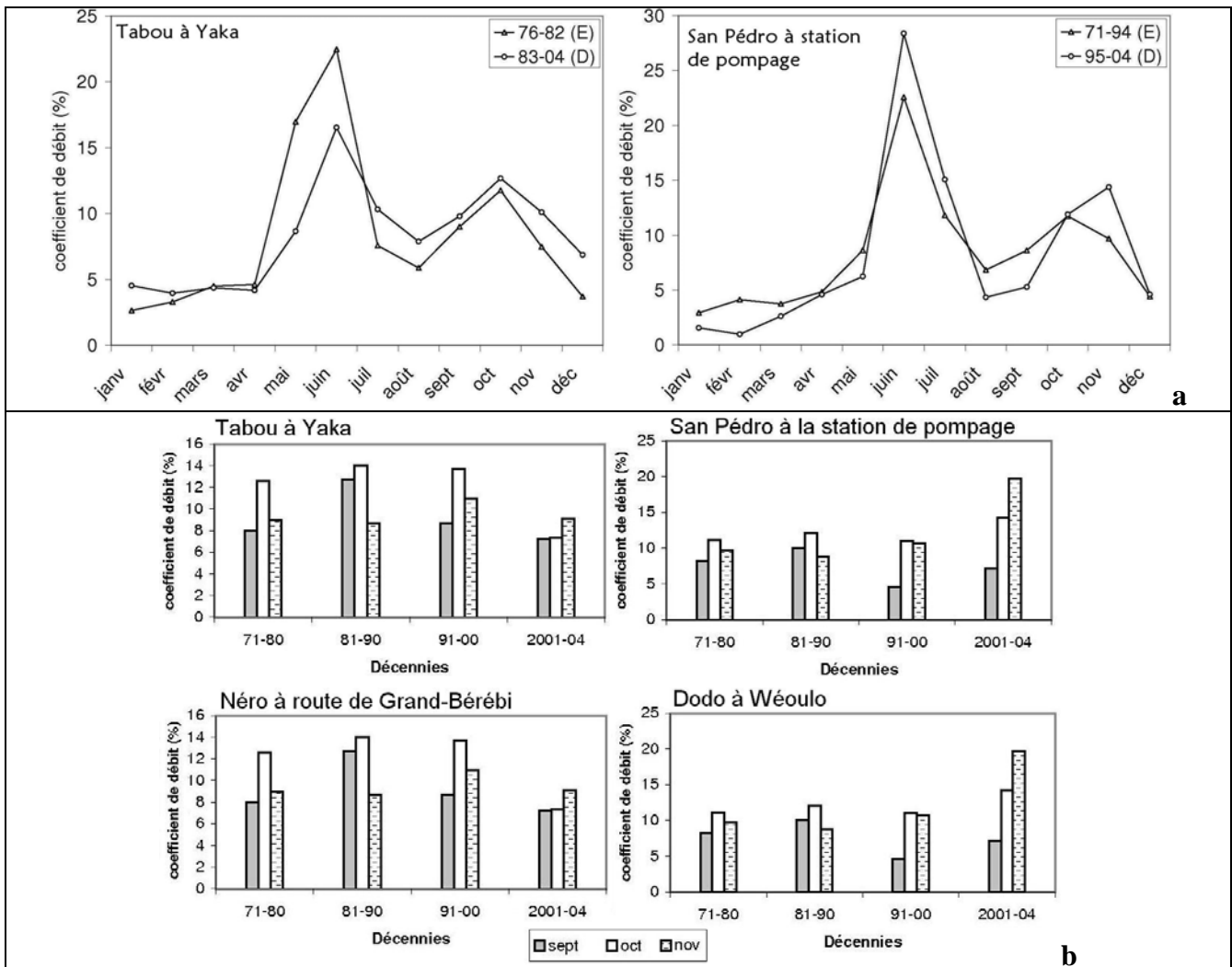


Les phases déficitaires de la pluviométrie s'accompagnent de certaines modifications de la répartition des précipitations dans l'année se traduisant par des diminutions ou augmentations de la contribution de certains mois au total annuel. La plus importante de ces variations saisonnières est l'augmentation de la pluviométrie en août qui dépasse dorénavant celle de juillet et en fait le nouveau début de la petite saison des pluies dans l'extrême sud-ouest de la Côte d'Ivoire (Tabou, Grabo). Le mois de juillet constitue désormais la pause entre la petite saison des pluies et la grande saison des pluies qui prend fin un mois plus tôt. Cette augmentation des précipitations en août caractériserait le Sud et surtout l'Ouest du pays (Bigot et *al.*, 2005). En effet, le mois d'août devient le pic de la saison des pluies à la place de septembre à Man pendant la phase déficitaire 1967-1995 (Savané et *al.*, 2001). Cette augmentation de la pluviométrie en saison sèche est contraire à ce qui se déroule généralement en Afrique de l'ouest (Servat et *al.*, 1999).

### 3.3.2. Variations de la répartition des débits d'une phase homogène à une autre

Les variations de la répartition par mois des débits, en phase déficitaire, sont différentes pour le Tabou et le San Pédro (*figure 5a*).

**Figure 5:** a/Variations du régime hydrométrique du Tabou et du San Pédro d'une phase excédentaire (E) à une phase déficitaire (D) de l'écoulement. b/Evolution des coefficients de débits de septembre, octobre et novembre par décennie

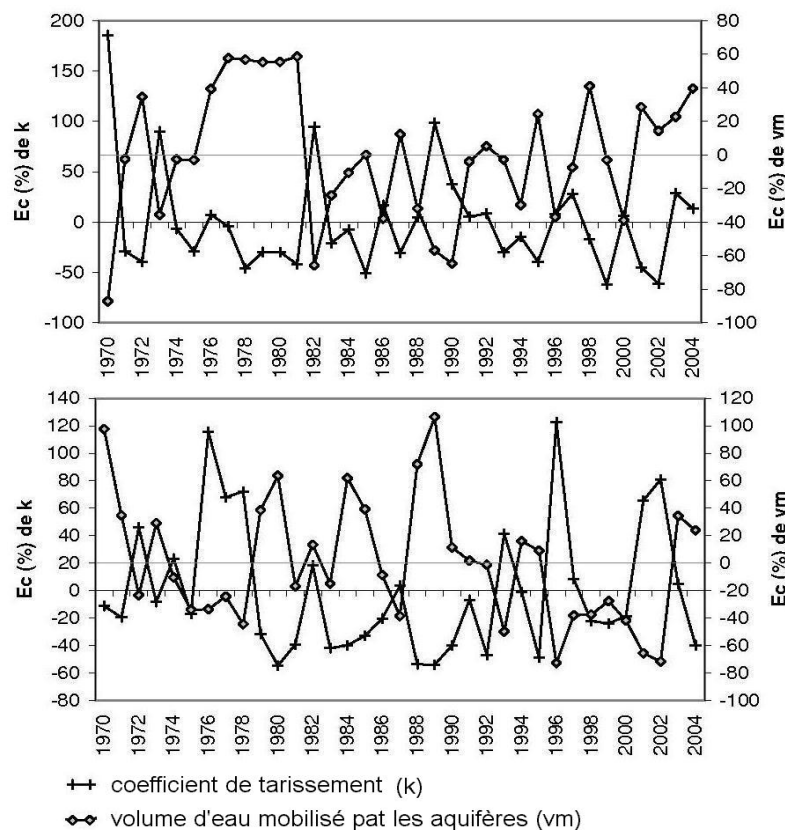


Ainsi, en période déficitaire, les pourcentages dans le module annuel des débits des mois de la première phase, de moyennes et hautes eaux (mai-juillet) baissent et augmentent pour tous les autres mois alors que sur le San Pédro, ils baissent pendant les basses et moyennes eaux pour augmenter pendant les hautes eaux (juin- juillet et octobre-novembre) où le pic devient novembre à la place d'octobre. L'explication de cette différence provient de la répartition différente de la pluviométrie sur les bassins versants de ces deux cours d'eau en phase déficitaire. En effet, dans l'extrême sud-ouest (Tabou, Grabo) la petite saison des pluies commence en août avec une forte augmentation de la pluviométrie, soit deux mois plutôt et de plus qu'à San Pédro. En outre, la grande saison des pluies est plus longue à San Pédro et enregistre une plus forte proportion du total annuel qu'à Tabou. De plus, le San Pédro à la station de pompage subit des prélèvements qui pourraient augmenter l'effet de la sécheresse pendant les basses et moyennes eaux.

L'analyse des coefficients de débits sur une plus courte durée montre que le changement de pic de la deuxième période des hautes eaux constatée à San Pédro caractérise tous les cours d'eau pendant la phase 2001-2004 (*figure 5b*). Le mois d'octobre est remplacé par novembre pour le Tabou à Yaka, San Pédro à la station de pompage et Dodo à Wéoulo et par septembre pour le Néro sur la route de Grand-Bérébi. Cette modification ne semble pas donc être liée à la phase déficitaire mais apparaît plutôt avec l'amélioration des débits de manière générale au début de la décennie 2000.

### 3.4. Variations des coefficients de tarissement et volume d'eau mobilisé

**Figure 6:** Variations du coefficient de tarissement ( $k$ ) et du volume d'eau mobilisé par les aquifères ( $v$  mob) du Tabou et du San Pédro.



Les réserves en eau souterraines de l'ouest côtier tout comme la pluviométrie et les écoulements de surface subissent des baisses qui s'accroissent et se prolongent à partir des décennies 1980 et 1990. De 1982 à 2002 pour le Tabou à Yaka et 1992 à 2002 pour le San Pédro à la station de

pompage (*figure 6*). Ces périodes voient des augmentations respectives de 27 et 57% des coefficients de tarissements pendant que les volumes mobilisés par les aquifères diminuent de 27 et 34%. La faible variation du coefficient de tarissement à Tabou peut être liée à une meilleure répartition de l'humidité sur l'année où la petite saison sèche ne dure qu'un mois tandis que la petite saison des pluies ne met que 4 mois.

Les moyennes des coefficients de tarissement pendant ces périodes déficitaires varient de 0,034 pour le Dodo à 0,041  $j^{-1}$  pour le Néro. Ces valeurs sont presque du même ordre que ceux observés en période de sécheresse aussi sur des bassins de la zone soudano-sahélienne qui varient de 0,025 à 0,05  $j^{-1}$  (Bamba et al., 1996; Bricquet et al., 1997). Mais ces coefficients de tarissement élevés des bassins côtiers qui atteignent 0,108  $j^{-1}$  en 2002 sur le Dodo ou 0,076  $j^{-1}$  en 1996 sur le San Pédro à la station de pompage, comparables à ceux des bassins soudano-sahéliens où la sécheresse pluviométrique a eu plus d'impact semblent être plutôt favorisées par des nappes de petites tailles. En effet, les augmentations de coefficients de tarissement qui traduisent la vidange des nappes d'eau ne sont pas continues comme ceux de la zone soudano-sahélienne.

#### 4. Conclusion

Une baisse de la pluie annuelle est notée dans le Sud-ouest de la Côte d'Ivoire à partir des années 1970 à l'instar de toute l'Afrique de l'ouest. Mais la diminution de la pluviométrie ne prend de l'ampleur sur le littoral ouest ivoirien que pendant les décennies 1980 et 1990. Les phases déficitaires s'établissent de 1975 à 1997 à Sassandra, 1981 à 1997 à Grabo et 1992 à 1997 à Tabou avec des écarts moyens respectifs de -27%, -23% et -24%.

L'écoulement des bassins côtiers répercute plus ce contexte pluviométrique par une diminution générale des débits moyens annuels de 1970 à 2004. Mais au niveau des précipitations, la sécheresse se prolonge à partir des décennies 1980 et 1990. De 1982 à 2002 sur le Tabou, 1992 à 2002 sur le San Pédro et de 1981 à 1993 sur le Néro et le Dodo, les modules annuels baissent respectivement en moyenne de 33%, 33%, 42% et 45%.

Ces baisses se sont accompagnées de ruptures de stationnarité au niveau des pluies en 1975 à Sassandra et 1994 à Tabou et des débits en 1994 à San Pédro à la station de pompage.

Des variations dans les saisons apparaissent avec ces phases déficitaires telle que l'augmentation de la pluviométrie en août, mois traditionnel de la petite saison sèche qui devient le début de petite saison des pluies. De même, le pic de la deuxième période des hautes eaux des débits qui était octobre, est remplacé par novembre pour les rivières San Pédro, Tabou et Dodo et par septembre pour le Néro pendant la période 2001-2004 où les débits semblent augmentés.

Les réserves en eau souterraines reproduisent aussi la baisse de la pluviométrie et des débits par une augmentation moyenne des coefficients de tarissement de 27% et 34% de 1982 à 2002 pour le Tabou à Yaka et 1992 à 2002 pour le San Pédro à la station de pompage

## References

- [1] **Aka A.A., Lubès-Niel H., Masson M., Servat E., Paturol J.E., & Kouamé B. (1997).** Analyse de l'évolution temporelle des écoulements en Côte d'Ivoire. Approche statistique et caractérisation des phénomènes. *PHI-V, No. 16*, pp.49-63.
- [2] **Ardoin S. (2004).** Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne. *Thèse de Doctorat en Sciences de l'Eau. Université Montpellier II*, 440p.
- [3] **Assani A.A. (1999).** Analyse de la variabilité temporelle des précipitations (1916-1996) à Lubumbashi (Congo-Kinshasa) en relation avec certains indicateurs de la circulation atmosphérique (oscillation australe) et océanique (El Niño/La Niña). *Sécheresse n° 4, vol.10*, pp.245-52.
- [4] **Aubréville A. (1949).** Climats, forêts et désertification de l'Afrique Tropicale. *Soc. Ed. Maritimes et col., Paris*.
- [5] **Bamba F., Mahe G., Bricquet J.P. & Olivry J.C. (1996).** Changements climatiques et variabilité des ressources en eau des bassins du haut Niger et de la cuvette lacustre. *XII<sup>èmes</sup> journées hydrologiques de l'ORSTOM, montpellier*, 27 p.
- [6] **Bigot S., Brou Y. T., Oszwald J. & Diedhiou A. (2005).** Facteurs de la variabilité pluviométrique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales. *Sécheresse n° 1, vol. 6*, pp.5-13.
- [7] **Bricquet J.P., Bamba F., Mahé G., Touré M. & Olivry J.-C. (1997).** Variabilité des ressources en eau de l'Afrique Atlantique. *PHI-V, No.16*, pp.83-95.
- [8] **Goula B. T. A., Savané I., Konan B., Fadika V. & Kouadio G. B. (2006).** 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.7 n° 1*, 12 p.
- [9] **Hubert P., Carbonnel J.P. & Chaouche A. (1989).** Segmentation des séries hydrométéorologiques. Application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'Ouest, *J. of Hydrology*, 110, 349-367.
- [10] **Hubert P., Bader J.-C. & Bendjoudi H. (2005).** Un siècle de débits annuels du fleuve Sénégal. *Séminaire HSM Montpellier, 22-24 novembre 2005*. 13 p
- [11] **Kouakou K. E., Goula B. T. A. & Savané I. (2007).** Impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau de surface en zone tropicale humide: cas du bassin versant transfrontalier de la Comoé (Côte d'Ivoire – Burkina Faso). *European Journal of Scientific Research, Vol.16 No.1*, pp.31-43.
- [12] **Lebel T., Delclaux F., Le Barbé L. & Polcher J. (2000).** From MCG scales to hydrological scales: Rainfall variability in West Africa. *Stoch. Env. Res. Risk Ass.*
- [13] **Lubès-Niel H., Masson J.M., Paturol J.E. & Servat E. (1998).** Variabilité climatique et statistiques. Etude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. *Revue des Sciences de l'Eau*, 3, pp. 383-408.
- [14] **Paturol J.E., Servat E., Kouamé B., Lubes H., Masson J.M., Boyer J.F., Travaglio M. & Marieu B. (1997).** Variabilité pluviométrique en Afrique humide le long du Golfe de Guinée. Approche régionale intégrée. *PHI-V, No. 16*, pp.1-31.
- [15] **Savané I., Coulibaly K. M. & Gioan P. (2001).** Variabilité climatique et ressources en eaux souterraines dans la région semi-montagneuse de Man. *Sécheresse n°4, vol.12*, pp.231-7.
- [16] **Scheffé M. (1959).** The Analysis of Variance. *Wiley, New York, N.Y.*, 477 p.
- [17] **Servat E., Paturol J.E., Lubes-Niel H., Kouamé B., Masson J.M., Travaglio M. & Marieu B. (1999).** De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'ouest et centrale non sahéenne. *Revue des sciences de l'eau 12/2*, pp.363-387.



## **Sexual Reproductive Health Lifestyle of Male Adolescents in Jamaica**

**Tazhmoye Crawford**

*Department of Basic Medical Sciences, Faculty of Medical Sciences  
University of the West Indies, Mona, Kingston 7, Jamaica*

E-mail: [crawfordtazhmoye@yahoo.co.uk](mailto:crawfordtazhmoye@yahoo.co.uk)

Tel: (876).362.3628

**Donovan McGrowder**

*Department of Pathology, Faculty of Medical Sciences  
University of the West Indies, Kingston 7, Jamaica*

### **Abstract**

Adolescence marks the onset of sexuality and the adoption of behavioral patterns that may have lifelong implications for reproductive health. There is the early onset of sexual activity among adolescents in Jamaica. Understanding the reproductive attitudes and behavior of male adolescents 9 – 17 years old may aid in the development of educational programs designed to combat unhealthy sexual reproductive lifestyles. A survey of 119 Jamaican male students was used to explore reproductive behaviours and attitudes of Jamaican youths attending rural and urban high schools. All the male respondents reported that they had experienced sexual intercourse. Of the 119 male adolescents in the study, 50.4% was in the age group 12 - 14 and 47.1% in the age group 15 – 17. The majority of male respondents are heterosexuals who practiced vaginal intercourse (55.5%) followed by oral sex (42.0%). Approximately 40% of male respondents consistently use a contraceptive method, mainly the condom. Majority of the male respondents (54.6%) have one sex partner, while approximately one-fourth (25.2%) have two partners. Most of the male respondents' partners are older than 17 years old (60.0%) followed by those whose partners are within the age range of 15-17 (29.7%). There exist myths and misconceptions about sexual activities, with 19.4% of male respondents of the view that the prediction of STIs or HIV/AIDS is in the appearance of the partner. Peer pressure (38.7%) was the most influential factor that drives sexual activity. In order to reduce negative sexual behaviours and attitudes among male adolescents, there should be the introduction of interventions that should include gender-specific reproductive health education in schools and effective culture-specific peer counselling.

**Keywords:** Adolescent, male, condom use, sexual, Jamaica, multiple partners, myths

### **1. Introduction**

Adolescence is a period of developmental transition characterized by physical, biological, psychological and social development. It is a time of critical opportunities for growth and development, where many of the skills necessary to lead a productive life and to overcome adverse

situations are acquired. This period lasts typically from age 10 to 19 (Alexis, 2000) and represents the transition from childhood to adulthood, with biological processes driving the initiation of adolescence and societal factors largely determining the initiation of adulthood (Danns et al., 1997). In Jamaica children are legally defined as persons 0-18 years of age. Blank (2000) claimed that Jamaican adolescents are at immense risk, most lacking the support and guidance from family, schools and society needed to ensure a smooth transition through adolescence. The author described youth at risk as one of the most pressing concerns of the government, civil society, and the international community working in Jamaica. In addition, she described the problem as complex, caused by a multitude of underlying factors that affect Jamaican children and adolescents at various developmental stages.

There is the early onset of sexual activity among adolescents residing in the Caribbean Region. According to the nine-country CARICOM study, one-third of school-going young people were sexually active. Of these, over half of boys and about a quarter of girls stated that the age of first intercourse was ten years or younger and almost two-thirds before the age of 13 (Blum, 2002). Reports from the Reproductive Health Survey (1997) showed that by age 11-12, about 20 percent of boys and girls in the Jamaican population has had sexual intercourse (McFarlane et al., 1997). Reports from Saint Lucia showed that approximately 45 percent of sexually active adolescents were engaged in first intercourse before the age of 10, according to the Pan American Health Organization (PAHO) funded Saint Lucia 2000 Adolescent Health Survey (PAHO, 1997). Early age of sexual initiation predisposes young people to early pregnancy and sexually transmitted infections (STIs)/Human Immunodeficiency Virus (HIV) infection (Blum, 2002).

Empirical research suggests that early sexual habits and patterns of interaction in intimate relationships form the basis of lifelong habits and patterns. For example, research in the United States has found that consistency of condom use reported among teens is related to age at first sexual relations and earlier condom use. Males who started sexual activity later were more likely to use condoms and those who used condoms during their first sexual relations were more likely to use condoms consistently thereafter (Sonenstein et al., 1995). A focus on adolescent intervention prompts us to take a new look at male adolescents.

Relatively few studies have focused on male adolescents. This gap is particularly glaring in view of the voluminous literature on female adolescents. This study focused on obtaining more information about sexual activity and risky behaviours such as multiple sexual partners and low contraceptive use among male adolescents in Jamaica. We also seek to understand how the social construction and expression of masculinity among male adolescents influence their reproductive and sexual health, and to explore influential factors, myths and misconceptions about sexual activities. The purpose of collecting this information is to guide the development of effective policies and programs for working with male adolescents.

## **2. Materials and Methods**

Data was collected by the authors as part of a survey about male adolescent sexual reproductive health lifestyles in Jamaica. The descriptive survey research method was employed to the study and field work was conducted between October 2006 and July 2007. A standardized, structured questionnaire with close-ended questions captured socio-demographic and reproductive health information. The sample consisted of a total of 119 male respondents from the 14 parishes of Jamaica. A 100% response rate was satisfactory received regarding the administration of the instrument. The respondents resided in various urban and rural high schools throughout the 14 parishes of the island. The authors were therefore able to capture a wider range of responses than if any one school was targeted. Adolescent males aged 9 – 17 were targeted. This is disaggregated according to age range of 9-11, 12-14, and 15-17.

All questions were contained in a three-page 21-question close-ended self-administered questionnaire. Respondents filled out the questionnaire themselves and placed it in a sealed envelope that was collected by the authors or persons who assisted in administering the questionnaires. The first

part of the questionnaire contained questions on the socio-demographic data of the respondents, while the second section contained questions about their sexual activities and behaviours. Standard socio-demographic measures included age. In terms of sexual experience, respondents were asked about their sexual orientation, use of contraceptive methods, number of sexual partners and their ages, influential factors, myths and misconception about sexual activities. The Statistical Package for Social Scientists (SPSS, Chicago, IL) was used to analyze the data. Both bivariate (chi square) and multivariate (logistic regression) analyses were applied in examining the data.

### 3. Results

Of the 119 male adolescents in the study, 2.5% represented the age group 9 -11, 50.4% in the age group 12 - 14 and 47.1% in the age group 15 – 17. The majority of respondents are heterosexual while the others are homosexual (2.5%) and bisexual (2.5%). The majority of heterosexuals practiced vaginal intercourse (55.5%) followed by oral sex (42.0%) while 2.5% of the respondents practice anal intercourse (Table 1).

**Table 1:** Demographic attributes, sexual orientation and type of sexual activities among male adolescents

Variables	Males (n = 119)	
	No.	%
<b>Age (years)</b>		
9-11	3	2.5
12-14	60	50.4
15-17	56	47.1
<b>Sexual orientation</b>		
Heterosexual	113	95.0
Homosexual	3	2.5
Bisexual	3	2.5
<b>Most practiced sexual activity</b>		
Vaginal	66	55.5
Oral	50	42.0
Anal	3	2.5

Being cognizant of the negative implications of unprotected sex, majority of the respondents are consistent users of contraceptive methods (39.5%), followed by those who do not use any form of contraceptive method (32.8%) – including homosexual respondents, who claim that this is because their partner will not become pregnant. In addition, 27.7% of the respondents sometimes use contraceptives. The more consistent users are the 12-14 year olds (74.5%), followed by the 15-17 year olds (25.5%). Expressed among the respondents were greater fear for pregnancy than STIs and HIV/AIDS. The survey findings indicate that among those reporting use of contraceptive method(s) majority (95.0%) use the condom while the others use the withdrawal method (Table 2). Majority (86.2%) of the male adolescents reported that they had no challenges in accessing contraceptives. This is followed by 10.0% of respondents who sometimes had challenge and 3.8% who consistently had challenges. Of the eight adolescents who had challenges with accessing contraceptives, 3 reported that they were told that they were too young to be engaging in sexual intercourse; 3 were told that they needed parental consent; 2 reported that health care providers were afraid of the implications; and 2 were of the negative label of sexually active minors (Table 2).

**Table 2:** Use of contraceptives and contraception challenges among male adolescents

Variables	No.	%
<b>Type of contraceptive methods</b>		
Withdrawal method	4	5.0
Condom	76	95.0
<b>Use of contraceptive methods</b>		
Consistently at every sexual activity	47	39.5
Inconsistent use	33	27.7
Do not use contraceptive at all	39	32.8
<b>Challenges in accessing contraceptive</b>		
Yes	3	3.8
No	69	86.2
Sometimes	8	10.0

Majority of the male respondents (54.6%) have one sex partner, while 25.2% have two sex partners. This is followed by those with three sex partners (11.8%), and those with more than three sex partners (8.4%). Most of the male respondents' sex partners are older than 17 years old (60.0%) followed by those whose partners are within the age range of 15-17 (29.7%). Those with partners younger than 9 years old (1.9%) are among the 9-11 age group (Table 3).

**Table 3:** Number of sexual partners and their age groups of male adolescents

Variables	No.	%
<b>Partners per respondents</b>		
1	65	54.6
2	30	25.2
3	14	11.8
>3	10	8.4
<b>Age of respondents' partners</b>		
<9	3	1.9
9 – 11	2	1.3
12 – 14	11	7.1
15 – 17	46	29.7
>17	93	60.0

Despite the respondents having claimed to have obtained knowledge of health and family life education through professional medium, there exist myths and misconceptions about sexual activities. Of the 72 respondents who use contraceptive inconsistently, most (43.1%) claimed that the use of condom kills the enjoyment of sexual intercourse, while approximately one-fifth (19.4%) of the respondents are of the view that the prediction of STIs or HIV/AIDS is in the appearance of the partner. This is followed by those who do not use contraceptive because of religious reasons (15.3%), as well as those who claim that pregnancy is determined by the sexual position adopted during sexual intercourse (12.5%). Seven (9.7%) of the respondents gave various other reasons for not using any form of contraceptive method (Table 4). The myths and misconceptions are mostly concentrated among the 9-11 and 15-17 year olds. This may explain why there are more conscious contraceptive users among the 12-14 year olds, and fewer among the 9-11 and 15-17 age groups.

**Table 4:** Influential factors, myths and misconception of sexual activities of male adolescents

Variables	No.	%
<b>Partners per respondents</b>		
<b>Influential Factors</b>		
Peer pressure	46	38.7
Everyone is doing it	24	20.2
Inability to communicate sexual feelings to parents	13	10.9
Music	12	10.1
Money	8	6.7
Cultural environment	7	5.8
Cellular phone	5	4.2
The myth of going crazy if not involved in Sexual activity	4	3.4
<b>Myths and misconception among inconsistent users</b>		
I can tell if the girl have disease by just looking at her	14	19.4
Condom kills sexual pleasure	31	43.1
Religious reasons	11	15.3
Pregnancy is not dependent on sexual position	9	12.5
Other	7	9.7

The male respondents reported that they were influenced by various factors that drives them to engage in sexual activities namely; peer pressure (38.7%); the belief that everyone in their age group is engaged in sexual intercourse (20.2%); their inability to communicate their sexual feelings with their parents (10.9%); being influenced by 'hard-core' sex promoted music (10.1%); money (6.7%); cultural environment (5.8%); cellular phones (4.2%) and the myth of going crazy if not engaging on sexual activity (3.4%; Table 4).

#### 4. Discussion

Having intercourse for the first time often signifies a passage into adulthood. Sex can be a way for an adolescent to assert that he or she is no longer a child. The findings of this study showed that all the male respondents had sexual experience and that the majority are heterosexuals. The others were either homosexual (2.5%) or bisexual (2.5%). Eggleston et al. (1999) noted a significant difference between boys and girls in relation to their sexual experience. Among adolescents reporting sexual experience, the mean age at first sex was 11.3 years for girls and 9.4 years for boys. Forty-five percent of boys reporting sexual activity claimed they had their first sexual experience at age nine or younger. The Jamaica Reproductive Health Survey (1997) reported that the mean age for initiation of sexual activity is 13.4 years for boys and 15.9 for girls (McFarlane et al., 1998). This finding is closer to that of Chevannes and Gayle (2000). Additionally it was found that sexual debut (and in fact other issues of sexuality) was influenced by class/economics or their environment. Inner-city boys gave 13 years and earlier as the age of sexual debut, while rural boys gave 14 and suburban boys cited approximately 16 years (Eggleston et al., 1999). According to this author, adolescent males cannot be kept from sexual activity if they have already begun to earn their own money and to carry out other functions of adult life at an early age. Suburban boys can delay sexual encounters, not simply because they are more informed, but because they are allowed to remain as children for much longer. Jackson et al. (1998) suggested that poverty is a critical factor in early sexual behaviour.

Jamaica can be reasonably described as one of the most intolerant countries of homosexuality in the Western Hemisphere. All forms of anal intercourse are considered revolting by Jamaicans whether with a woman or with a man (Chevannes, 1992). Such is the stigma that very few studies have been done in the area. There is a deep intolerance of homosexuality and in a study by Chevannes and Gayle (2000), boys even felt offended by question(s) about homosexuality. Some authors believe that the fear of homosexuality has been used as an excuse for not requiring teenage boys to delay heterosexual activity until late teens at least. According to Chevannes and Gayle (2000), some parents,

especially in the inner-city, are relieved when they discover that their boys are expressing an early interest in girls. The findings of this study showed that minority of the male respondents are homosexual (2.5%) or bisexual (2.5%). In an earlier study, 10% of adolescents and 13% of young adult males reported both heterosexual and homosexual experiences (Caceres et al., 1997), and in another investigation, 28% of young men had reported such relations (Leite et al., 1995).

There is very little information on the prevalence of the types of sexual activity adolescent males engage in, such as anal and oral sex, and their experiences with homosexual or bisexual practices. In this study, 42.0% of the respondents reportedly engaged in anal sex while 2.5% are involved in oral sex. In a study done in Latin America, 6% of the subjects were currently in homosexual or bisexual relations and 20% reported homosexual experiences at some point in early adolescence (Leite, 1995; Caceres, et al., 1997). Caceres, et al. (1997) found that 38% of those who reported homosexual behavior reported practicing anal sex (only 20% used a condom consistently). In addition, the authors found that 76% of those maintaining homosexual relationships reported heterosexual experiences as well. Although not frequently included in surveys, it is hypothesized that a significant percentage of adolescents engage in anal sex with females in order to prevent pregnancy and preserve a young woman's virginity (Caceres et al., 1997). More research in this area is needed in order to understand the health risks associated with the sexual experiences of young people.

Majority of the respondents are not consistent users of contraceptives, or have ever use contraceptives. For those who use contraceptive methods (39.5%), the condom was the most prevalent. Caribbean men's masculinity is also often tied to display of physical bravado, engagement in violence (Barker, 1998), and sexual prowess (Barriteau, 2001) thus providing an unhealthy template of high-risk behavior among younger male adolescents. Some Jamaican men have, for example, rejected condom use on the grounds that 'real men' preferred to 'ride bare back' (World Bank, 2001). Marsiglio (1993) found that young men with traditional attitudes concerning gender roles tend to take more risks in their sexual and contraceptive behaviour. Caceres et al. (1997) found that cultural norms suggest that condom should only be used with casual partners and not steady partners, because its use is associated with prostitution and sexually transmitted infections. Many cultures also dictate that girls should be responsible for contraception and discourage male participation in decision making regarding contraception (De La Vega, 1990). However, according to the Jamaica Reproductive Health Survey (1997), among men 15 to 19, contraceptive use increased significantly from 69% in 1995 to 83 percent in 1997. In the same study, 10% of young adult men reported having fathered a child, despite condom use (Friedman et al., 1999). This indicates that although there has been an increase in condom use, generally it is not consistent.

Studies in the United States find drug use to be associated with other high risk behaviors, such as multiple partners, frequent intercourse, and inconsistent condom use (Ku et al., 1993). According to the authors, over 25% of sexually active young men reported that they had been drinking before their last intercourse, 3.5% had used drugs, and 2.3% had used both drugs and alcohol. These men run the risk of contracting sexually transmitted infections including HIV. Sexually transmitted infections can threaten the fertility and health of male adolescents and their partners. Male infertility accounts for 8 to 22 percent of infertility worldwide and men having unprotected sex outside of their primary relationship are the main cause of STIs, which may lead to devastating consequences.

Despite the respondents having claimed to have obtained knowledge of health and family life education through professional medium, 19.4% of them are of the view that the prediction of STIs or HIV/AIDS is in the appearance of the partner. In Brazil, more than three quarters of sexually active males believed that sexually active young persons had a high risk of contracting HIV as opposed to only 29.5% in Chile. However, only 1% to 5.2% of males perceived themselves at risk, suggesting a gap between the risk attributed to others and their self-perceived risk (Morris, 1995). The common practice among youth of serial monogamy may contribute to their sense of invulnerability. Adolescents who are in a mutually monogamous relationship may not consider themselves to be at risk of contracting HIV, even if these monogamous relationships change every six months. Leite et al. (1995) found that the majority of respondents (75%) indicated that contracting HIV presented a great risk for

young people in general; however, 87% considered this risk to be non-existent or minimal for themselves. Nevertheless, data from the Caribbean Adolescent Health Survey show that HIV/AIDS is a significant concern among sexually active youth in the Caribbean (PAHO, 1997).

The findings of this study showed that majority of the respondents (54.6%) has one sexual partner while the others has two sexual partners (25.2%), three sexual partners (11.8%) and more than three sexual partners (8.4%). Majority of the male respondents' sexual partners are older. Chevannes (2001) reported that from an early age, boys participate in sexual activities and a significant percentage might have had sex with girls of their age or just a few years older. Results from The Jamaica Reproductive Health Survey (1997) showed that 15.5 percent of boys under age 13 had their first sexual intercourse with girls under age 14. In addition, 59% of women 18-24 years old had a younger partner at first sexual encounter (McFarlane et al., 1998). A similar pattern was observed in the Jamaica Reproductive Health Survey (1993) and younger males were more likely to seek out older females who were sexually experienced (McFarlane et al., 1994). In an earlier study of Columbian high school students, 21.9% of males reported that their first sexual partner was a steady girlfriend; 62.2% responded that it was a friend, and 9.8% reported it was a prostitute (Useche, et al., 1990). The average reported frequency of intercourse among sexually active young males in Latin America was found to range from two and five times per month, with between 8 and 33 percent of male adolescents reporting more than one sexual partner during the previous month (Morris, 1995). Males consistently reported multiple partners and intercourse with casual acquaintances more frequently than females. Men were also more likely than females to engage in sexual intercourse outside of a committed, loving relationship and to approve and engage in recreational sex (Morris, 1995).

Majority of the male respondents in this survey reported that peer pressure was the most influential factor that drives them to become engaged in sexual intercourse. Chevannes (1999) noted that among boys, great pressure is exerted by the peer group to initiate relationships. The reasons given are: fear of being branded homosexual; fear of ridicule because 'oil cake up' in their backs, meaning unreleased sex drive; the attitude that sex is natural. The peer group is also a source for information. The Jamaica Adolescent Survey (1998) found that boys were less likely to rely on parents and more likely to turn to their peers for sexual information, and this did not change significantly even in early adult years (Jackson et al., 1998). Many boys reported learning about sex from other relatives including brothers and cousins. The proportion of boys who received their most important sexual information from a friend rose from 14 percent in September 1995 to 34 percent in June 1996. Eggleston et al. (1999) expressed concern at the low levels of knowledge on reproductive health among adolescents. The authors found that fewer than 10% of the 11- 14 year old male adolescents knew the point during the menstrual cycle when a girl is most likely to get pregnant and only a third knew pregnancy is possible at first intercourse. It was surprising that 15.3% of the male adolescents in this study reported that pregnancy is determined by the sexual position adopted during intercourse. Many men face social expectations that they should be sexually experienced and knowledgeable and therefore should not need to seek out information regarding their sexual health (Barker, 1996). Indeed, they fear that by seeking out such information they would admit their sexual ignorance.

In this survey, 10.1% of the male respondents engaged in sexual activity were influenced by 'hard-core' sex and 'dance-hall' music. Male adolescents are subjected to increasingly powerful signals, originating from a range of sources, such as the mass media which encourage them to become sexually active. When they do so before marriage or the formation of a stable union, their actions are the object of cultural sanctions. Thus a significant percentage of sexually active teenagers are trapped in a virtual no man's land: they are encouraged to be sexually active, but they are denied access to contraceptive methods that would, at the very least, allow them to avoid the risk of unwanted pregnancy deriving from their sexual activity. It is necessary to revise such social prohibitions and to promote the specific design of reproductive health programmes that target unmarried but sexually active adolescents and youth. Integrated programmes combining education, the raising of awareness and counselling appear more relevant for adolescents than for any other age group.

We have much more to learn about how male adolescents form their gender identity, how male socialization and cultural norms influences contraceptive use and STIs/HIV risk, and positive outcomes that can be derived from changing sexual behaviours and attitudes. Interventions should include reconstructed reproductive health promotions to address male adolescents in both urban and rural high schools. The message must carry the consequences of practicing risky sexual behaviours and the degree of long term effect that a disease such as AIDS requires. There needs to be greater investment in peer counseling. The more the counsellor can relate to the experience of the youth, the method is likely to be better and the content more relevant. Peer counsellors should be used to address issues of drug awareness and STIs. Classes in personal development should be mandatory in schools and national school competitions should also be designed to encourage students to do research on the crisis areas of drugs, violence and sex. Another priority area for research is the issue of peer interaction and sources of information on sexuality and family planning among youth. Research is needed not only to provide a fuller understanding of men and male sexuality, but also in terms of efforts to promote safe and more responsible sexual activity.



## References

- [1] Alexis, A (2000). Mainstreaming Youth in the Development Process. Public Lecture to Mark Youth Month 2000, University of Technology Jamaica. Mimeo. Guyana: Commonwealth Youth Programme.
- [2] Barriteau, E (2001). *The Political Economy of Gender in the twentieth-century Caribbean*. New York: Palgrave.
- [3] Barker, G (1996). *Integrated Service Models For Youth: An Analysis of Selected International Experiences*. Mimeo. Washington DC: The World Bank.
- [4] Barker, G (1998). *Boys in the Hood, Boys in the Bairro: Exploratory Research on Masculinity, Fatherhood and Attitudes Toward Women Among Low Income Young Men in Chicago, USA, and Rio de Janeiro, Brazil*. Presented at the IUSSP/CENEP Seminar on Men, Family Formation and Reproduction, 13-15 May 1998, Buenos Aires, Argentina.
- [5] Blank, L (2000). *Youth At-Risk in Jamaica Note*. Mimeo. Washington DC: The World Bank.
- [6] Blum, Robert (2002). *Adolescent Health in the Caribbean*, LCSPG/World Bank, draft. Washington, DC: The World Bank.
- [7] Caceres C, Vanoss Marin B, Hudes ES, Reingold AL, Rosasco AM (1997). *Young people and the Structure of Sexual Risks in Lima*. *AIDS* 11(1): S67-S77.
- [8] Chevannes, B (1992). *Sexual Practices and Behaviour in Jamaica: A Review of Literature*. AIDSCOM. Washington, DC: The Academy for Educational Development.
- [9] Chevannes, B (2001). *Learning to be a Man: Gender and Socialization in Some Caribbean Communities*. Kingston: The University of the West Indies Press.
- [10] Chevannes B, Gayle H (2000). *Adolescent and Young Male Sexuality and Reproductive Health Study – Jamaica*. Report to The Pan American Health Organization.
- [11] Danns GK, Henry BI, LaFleur P (1997). *Tomorrow's Adults. A Situational Analysis of Youth in the Commonwealth Caribbean*. London, UK: Commonwealth Secretariat.
- [12] De La Vega, E (1990). *Considerations For Reaching the Latino Population with Sexuality and HIV/AIDS Information and Education*. *SIECUS Report*, 18(3): 1-8.
- [13] Eggleston E, Jackson J, Hardee K (1999). *Sexual Attitudes and Behaviour among Young Adolescents in Jamaica*. *International Family Planning Perspectives* Vol.25 (2).
- [14] Friedman J, Carmen S, McFarlane P, Morris L (1999). *Young Adult Report: Sexual Behaviour and Contraceptive Use among Young Adults*. *Jamaica Reproductive Health Survey 1997*. Kingston: National Family Planning Board.
- [15] Jackson J, Leitch J, Lee A, Eggleston E, Hardee K (1998). *The Jamaican Adolescent Study: Final Report*. Mona, Kingston: Fertility Management Unit, University of the West Indies and Research Triangle Park, North Carolina: Family Health International.
- [16] Ku LC, Sonenstein FL, Pleck JH (1993). *Young Men's Risk Behaviors for HIV Infection and Sexually Transmitted Diseases, 1988 Through 1991*. *American Journal of Public Health* 83:1609- 1615.
- [17] Leite RM, Buoncompagno EM, Leite AC, Mergulhoa EA, Battistoni MM (1995). *Psychosexual Characteristics of Male University Students in Brasil*. *Adolescence* 10(118):363-380.
- [18] Marsiglio, W (1993). *Adolescent Males' Orientation toward Paternity and Contraception*, *Family Planning Perspectives* 25: 22-31, No.1, Enero-Febrero, 1993.
- [19] McFarlane CP, Friedman JS, Morris L (1994). *Contraceptive prevalence Survey 1993*. Jamaica. Kingston: National Family Planning Board.
- [20] McFarlane CP et al (1998). *Reproductive Health Survey, Jamaica 1997, Final Report*, Atlanta, GA, USA: Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention (CDC), 1998; and Morris L et al., *Contraceptive Prevalence Survey, Jamaica 1993. Volume IV: Sexual Behavior and Contraceptive Use Among Young Adults*, Atlanta, GA, USA: CDC, 1995.

- [21] Morris, L (1995). Sexual Behavior and Reproductive Health of Latin American Adolescents. Presented at the UNFPA Regional Conference on Reproductive Health in Latin America and the Caribbean, Mexico: August 23-26, 1995.
- [22] PAHO (1997). Regional Plan of Action on Adolescent Health, draft.
- [23] Sonenstein F, Stewart K, Duberstein Lindberg L, Pernas M, Williams S (1995). Involving Males in Preventing Teen Pregnancy: A Guide for Program Planners, The California Wellness Foundation, The Urban Institute.
- [24] World Bank (2001). A Review of Gender Issues in the Dominican Republic, Haiti and Jamaica. Report No. 21866-LAC. Washington DC: The World Bank.
- [25] Useche, B (1990). Sexual Behavior of Colombian High School Students. *Adolescence*, 5(98): 291-304.

# **Approche Algorithmique Pour la Reconstruction de Surfaces D'objets Complexes Basée Sur la Triangulation de Delaunay**

**Idir Belaidi**

*Groupe Modélisation en Mécanique et Productique, M'hamed Bougara University  
Boumerdès 35000-Algeria, Chercheur –Invité Laboratoire LMSP, ENSAM de Paris*  
E-mail: idirbelaidi@yahoo.fr  
Tel:+213 771 25 64 30

**Mohand Oulhadj Challali**

*M'hamed Bougara University Boumerdès, 35000 - Algeria*

**Kamal Mohammedi**

*Groupe Modélisation en Mécanique et Productique  
M'hamed Bougara University, Boumerdès 35000-Algeria*  
E-mail: mohammedik@yahoo.com

**Belaid Brachemi**

*Equipe turbomachines et Conersion d'énergie, M. Bougara University  
Boumerdès 35000- Algeria*

**Guy Ishiomin**

*Laboratoire LMSP ENSAM, 15,1 Boulevard de l'Hôpital, 75013 Paris*  
E-mail: guy.ishiomin@paris.ensam.fr

## **Abstract**

In this article, we propose an algorithmics approach for the surfaces reconstruction of complex objects, based on the triangulation algorithm of a points cloud in 3 dimensions and the concept of the Delaunay sphere. However, an implementation of this algorithm in her initial version considers any triangles not violating the criterion of the Delaunay sphere, including those who do not represent inevitably the surface to be reconstructed, what leads generally to an incorrect restoration of the surface. To remedy this problem, we have introduced two additional criteria of triangulation: the acceptable maximal confined sphere, to exclude the big triangles, even if they are good quality, and the quality compulsory for triangles forbidding the small poor quality triangles. The obtained results after filtering show a net improvement of the quality of the surfaces triangulation in a space  $2D^{1/2}$ .

**Keywords:** Reverse engineering, Delaunay sphere, surface triangulation, points cloud.

## 1. Introduction

Les triangulations sont utilisées dans de nombreux domaines pour représenter une surface [1], [2], [3], [4]. Elles permettent en effet de définir, de manière naturelle, une approximation linéaire par morceaux à partir d'un ensemble de points, et servent aussi à décrire la géométrie d'une surface ou d'un objet. Leur propriété de linéarité, quoi qu'insuffisante parfois, permet aussi de simplifier certaines opérations géométriques.

L'utilisation des triangulations soulève toutefois certains problèmes, inhérents au type d'applications que l'on en fait [5], à l'exemple de points trop éparpillés, ou inversement lorsque les points du nuage considéré sont trop nombreux tels qu'il devient aberrant de les considérer tous pour définir des arêtes entre eux, et pouvoir représenter correctement une surface. En outre, la triangulation de Delaunay se heurte à l'apparition de "points cosphériques" [6] qui entravent la progression du processus de triangulation quant ces derniers sont dans une certaine configuration spatiale. Plus généralement, l'application directe de l'algorithme « naïf » de la triangulation de Delaunay d'un nuage de points en 3 D, conduit à une restitution incorrecte de la surface à reconstruire, du fait que tout triangle ne violant pas le critère de la sphère vide (y compris ceux qui ne représentent pas nécessairement la surface à reconstruire) sont pris en considération. Il existe tout de même diverses méthodes [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13] ayant chacune ses artifices et ses limitations.

Nous proposons dans cet article une approche algorithmique, basée sur la triangulation de Delaunay d'un nuage de points en 3 D, présentant des caractéristiques géométriques intéressantes qui reposent sur le concept de la sphère vide ou sphère de Delaunay, et conférant à l'objet en cours d'analyse une définition plus riche. Nous considérons de ce fait que le nuage de points en position quelconque contient une faible population de points cosphériques, qui ne sont pas tous regroupés, hypothèse proche de la réalité. Nous introduirons en outre deux critères complémentaires: *la sphère circonscrite maximale admissible*, pour exclure les grands triangles (même s'ils sont de bonne qualité), et *la qualité imposée aux triangles*, pour interdire les petits triangles de mauvaise qualité, ainsi que l'espace  $2D^{1/2}$  dans lequel nous construirons le polyèdre de Delaunay. Les résultats d'une implémentation de cette approche dans [14] montrent tout l'intérêt de la problématique posée.

## 2. Triangulation D'objets Complexes

Par objets complexes, on désigne les surfaces ou les objets non bijectifs en, ou dont le genre est supérieur ou égal à 1, auxquelles il convient d'ajouter les objets présentant des discontinuités qui nécessitent, lors de la triangulation de Delaunay, souvent un filtrage. De telles incohérences sont mises en exergue dans les figures 10 et 11. Nous rappelons dans ce qui suit les deux critères de triangulations implémentés dans [14] ainsi que le voisinage de Delaunay [6].

### 2.1. Sphère maximale admissible et qualité des triangles

Cette contrainte tient compte de la dimension du rayon maximal admissible de la sphère circonscrite. Ainsi, tout triangle dont la sphère circonscrite dépasse une valeur "seuil" est rejeté même si celui-ci est de Delaunay. Cette contrainte permet aussi la détection des zones sous-numérisées [15]. Plusieurs « mesures » de la qualité d'un triangle existent. La différence les caractérisant réside dans leurs capacités à distinguer entre plusieurs triangles de qualités voisines, surtout quand ceux-ci sont de qualité médiocre. Nous proposons une autre « mesure » de la qualité des triangles, celle-ci présente une meilleure sensibilité que celles proposées dans [6].

### 2.2. Voisinage de Delaunay

D'après les définitions de voisinages [6], nous ferons usage de celles relatives au voisinage d'un point et d'une arête, dans le but d'assainir la triangulation de Delaunay, une fois celle-ci réalisée.

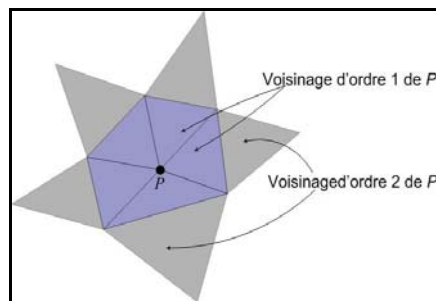
### Voisinage d'un point d'ordre 1 et d'ordre 2

Le voisinage d'ordre 1 d'un point de la triangulation d'un nuage de points est l'ensemble des triangles incidents en ce point. Le voisinage d'ordre 2, du même point, est l'ensemble des triangles ayant une arête du voisinage d'ordre 1 sans avoir le point en question comme sommet. La figure 1 montre ces deux voisinages.

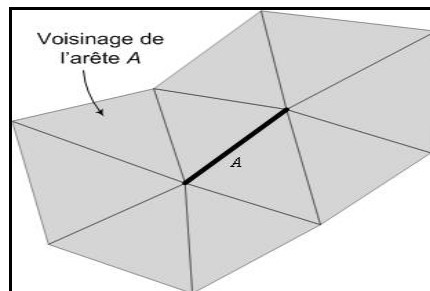
### Cavité d'une arête

De la même manière que pour le point, le voisinage d'une arête, appelé cavité, est défini comme étant l'ensemble des triangles incidents à un au moins des deux points de celle-ci (figure 2).

**Figure 1:** Voisinage de Delaunay



**Figure 2:** Cavité d'une arête



### 2.3. Structure générale de l'application implémentée

La structure générale de l'application développée est représentée dans la figure 3. Les trois étapes relatives à la croissance de la triangulation initiale avec détection des points cosphériques, de filtrage de la triangulation ainsi que de la détection des caractéristiques géométriques des surfaces triangulées ont fait l'objet de développements algorithmiques que nous explicitons dans les sections ci-dessous.

## 3. Triangulation Initiale et Croissance

### 3.1. Processus d'insertion d'arêtes

La triangulation est menée par un processus d'insertion d'arêtes. Un premier triangle est d'abord construit, c'est le triangle à partir duquel il y aura croissance de la triangulation. L'algorithme est du type à construction incrémentale. La croissance de la triangulation débute avec trois arêtes dans la liste des arêtes. Pour chaque arête, nous recherchons le point avec lequel elle forme un triangle valide. Les nouvelles arêtes (qui n'existent pas déjà dans la liste) sont rajoutées à la fin de cette liste. Ceci fait que pendant tout le processus de triangulation, la liste des arêtes est parcourue depuis son début jusqu'à sa fin tout en y rajoutant les nouvelles arêtes induites par les points non encore triangulés. Le processus s'arrête dès lors qu'il n'y a plus possibilité d'ajouter de nouvelles arêtes. Notons qu'en parallèle, une

liste de triangles est créée. Le pseudo-code de la procédure de l'algorithme de triangulation implémentée est représenté dans le Pseudo-code1.

La recherche du point à associer à une arête, afin de former un éventuel triangle (Figure 4), se fait dans le voisinage de celle-ci. La triangulation de Delaunay est par définition une triangulation de voisinage, il n'est donc généralement pas utile de tester l'ensemble du nuage de points. Ainsi, un gain en temps de calcul très appréciable est réalisé surtout quand les fichiers de points sont importants.

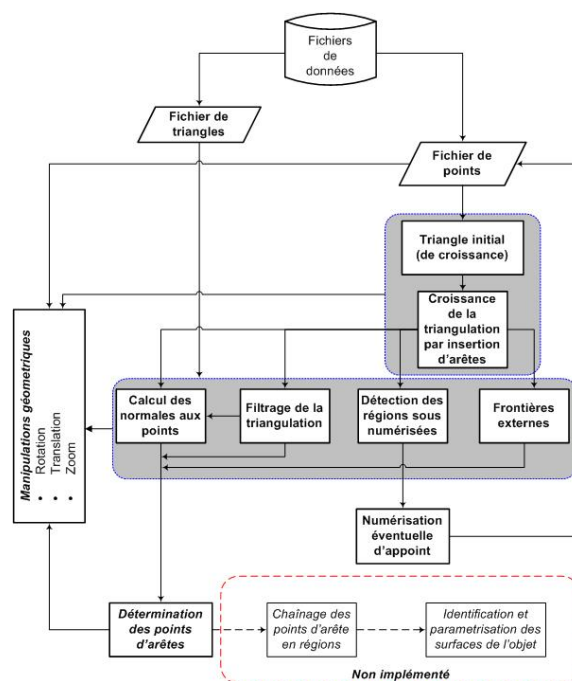
### 3.2. Détection des points cosphériques

Lors de l'exécution de la triangulation, il est possible de rencontrer un type de points qui parfois donne lieu à une triangulation non valide. Ce type de points, appelés points cosphériques, peut éventuellement se montrer bloquant en fonction de l'algorithme de triangulation envisagé. Un point est dit cosphériques s'il est situé sur la sphère associée à un triangle sans qu'il soit lui-même sommet de celui-ci.

Cette définition est suffisante dans le cas des triangulations en 2D et des tétraédrisations en 3D. Observons que cette définition n'est pas suffisante lorsqu'il s'agit de triangulations dites en 2D-1/2 [cha'03]. Si nous considérons le cas le plus simple, où 4 points  $P_1, P_2, P_3$  et  $P_4$  sont cosphériques comme le montre la figure5, deux situations sont possibles. Le point  $P_4$  de la figure 5a) appartient à la sphère du triangle  $\Delta(P_1, P_2, P_3)$  formant ainsi le triangle  $\Delta(P_2, P_3, P_4)$ .

Le point  $P_4$  est cosphérique, si la sphère associée au triangle qu'il forme possède le même centre et le même rayon que celle induite par le triangle  $\Delta(P_1, P_2, P_3)$ . Ceci découle du fait que tout triangle appartient à un plan diamétral de sa sphère et que deux triangles cosphériques sont portés par deux plans diamétraux de la même sphère. Or deux plans diamétraux d'une sphère ont un diamètre de celle-ci comme droite d'intersection et si les deux triangles partagent une arête, alors celle-ci est portée par le lieu de l'intersection de leurs plans supports, et qui est dans ce cas précis, le diamètre de la sphère. Ce qui conduit à dire qu'un point est cosphérique si la sphère du triangle qu'il définit est la même que celle du triangle qui l'a engendrée.

Figure 3: Structure générale de l'application développée



**Pseudo-code 1:** Algorithme de triangulation implémentée

---

```

1- ListePoints ← fichier de points (2D ou 3D)
2- Trouver les  $m_1$  points voisins du premier point de ListePoints
3-   Faire pour  $i = 1 \rightarrow m_1 - 2$ 
4-     Faire pour  $j = i \rightarrow m_1 - 1$ 
5-       Faire pour  $k = j \rightarrow m_1$ 
6-         Considérer le triangle  $\Delta(P_i, P_j, P_k)$ 
7-         Déterminer la sphère du triangle  $\Delta$  (par Gauss avec pivotation totale)
8-         Si  $\left\{ \begin{array}{l} \text{rayon sphère} \leq \text{RayonLimite} \\ \text{et} \\ \text{Sphère vide} \end{array} \right\}$  Ajouter le triangle  $\Delta$  à ListeTrianglesTemp

9-       Fin pour  $k$ 
10-     Fin pour  $j$ 
11-   Fin pour  $i$ 

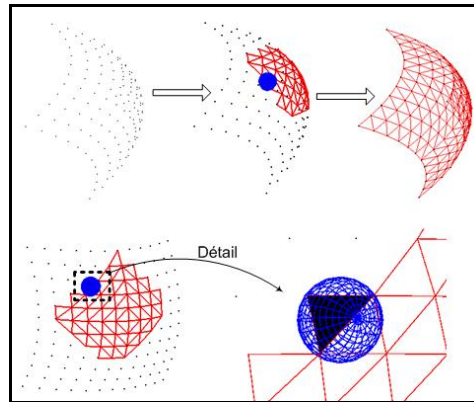
12- Sélectionner le triangle optimal TriangleOpt de ListeTrianglesTemp
13- ListeTriangles ← TriangleOptimal
14- ListeArêtes ← arêtes de TriangleOptimal
15- ListeTrianglesTemp =  $\emptyset$ 

16- ListeTriangles ← Triangle initial
17- ListeArêtes ← Arêtes initiales
18- Début ListeArêtes
19- Faire jusqu'à fin ListeArêtes
20-   Pour chaque arête ( $A_i$   $i = 1, \dots, n$ ) de ListeArêtes
21-     ListeTrianglesTemp =  $\emptyset$ 
22-     Trouver le voisinage  $P$  de l'arête  $A_i$ 
23-     Faire pour chaque point  $P_j$  ( $j = 1, \dots, m$ ) de  $P$ :
24-       Considérer le triangle  $(A_i, P_j)$ 
25-       Déterminer la sphère du triangle  $(A_i, P_j)$ 
26-       Si rayon sphère  $\leq$  RayonLimite
27-         Si  $\left\{ \begin{array}{l} \text{sphère vide ajouter le triangle } (A_i, P_j) \text{ à } \textit{ListeTrianglesTemp} \\ \text{points cosphériques} \rightarrow \textit{Gestion des points cosphériques} \end{array} \right.$ 
28-       Fin Faire
29-     Supprimer de ListeTrianglesTemp les triangles existant dans ListeTriangles
30-     Sélectionner le triangle optimal TriangleOpt de ListeTrianglesTemp
31-     ListeTriangles ← TriangleOptimal
32-     ListeArêtes ← arêtes nouvelles (non existantes dans la liste)
33-   Fin faire
34-   ListeTrianglesTemp =  $\emptyset$ 

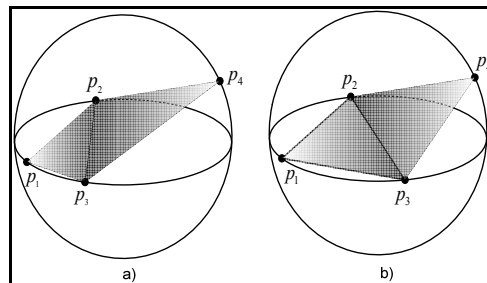
```

---

**Figure 4:** Croissance de la triangulation.



**Figure 5:** Faux et vrai points cosphériques



Le pseudo-code de la procédure de détection des points cosphériques se présente alors comme suit:

**Pseudo-Code 2:** Algorithme de détection des points cosphériques

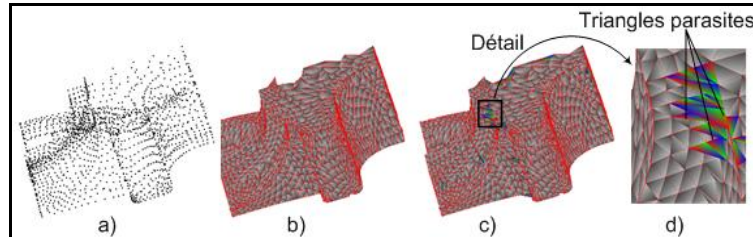
- 1- Pour chaque triangle  $(A_i, P_j)$  en cours
- 2- **Faire** si taille  $ListePointsCosphériques \geq 4$
- 3-  $T =$  taille  $ListePointsCosphériques$
- 4- Extraire les deux arêtes  $ArCos1$  et  $ArCos2$  de  $(A_i, P_j)$  autres que  $A_i$
- 5-  $ListeArêtesCos \leftarrow ArCos1$  et  $ArCos2$
- 6- Supprimer de  $ListePointsCosphériques$  les sommets de  $(A_i, P_j)$
- 7- **Pour**  $m = 1 \rightarrow 2$
- 8- **Pour**  $n = 1 \rightarrow T - 3$
- 9- Déterminer la sphère  $SphCos$  du triangle  $(A_m, P_n)$
- 10- Si  $SphCos = Sphère(A_i, P_j)$
- 11- Alors ajouter le triangle  $(A_m, P_n)$  à  $ListeTriangles$
- 12- Actualiser la liste  $ListeArêtes$
- 13- **Fin pour**  $n$
- 14- **Fin pour**  $m$
- 15-  $ListePointsCosphériques = \emptyset$
- 16-  $ListeArêtesCos = \emptyset$
- 17- **Fin faire**



#### 4. Filtrage de la Triangulation

D'une part, il est rare que la triangulation d'un nuage de points définissant un objet complexe ne nécessite pas de correction. Et d'autre part, il nous est apparu qu'il puisse arriver que les deux critères de triangulation précédemment cités soient insuffisants. La figure 6 montre un exemple réel d'une telle triangulation. Les triangles à filtrer sont montrés en couleurs.

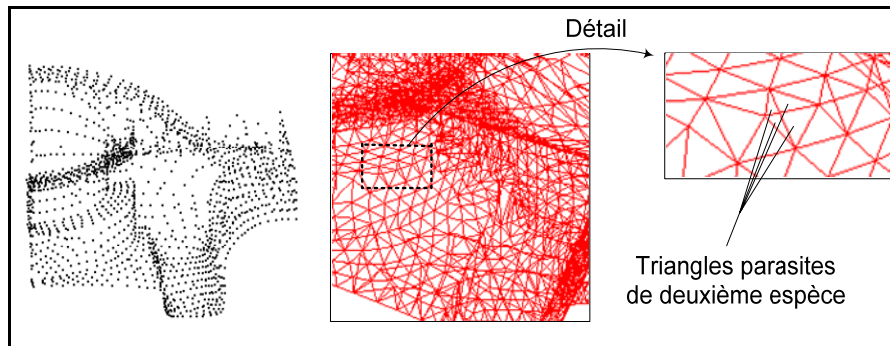
**Figure 6:** Exemple réel de triangles à filtrer de première espèce



Dans une triangulation correcte, chaque arête ne peut appartenir qu'à deux triangles au maximum si celle-ci n'est pas une arête de frontière et à un seul triangle dans le cas contraire. Nous appellerons une arête qui déroge à cette règle une arête multiple.

Une fois la triangulation de Delaunay exécutée, l'algorithme de triangulation peut éventuellement donner lieu à des arêtes multiples de deux types. Le premier type, que nous appelons de première espèce, est celui avec des triangles libres. De tels triangles sont montrés figure 6c, et le second, que nous appelons de seconde espèce, est celui sans triangles libres. Un triangle est dit libre s'il présente au moins une arête libre, et s'il est différent d'un triangle de frontière. La figure 7 montre le même objet que celui de la figure 6 mais avec des triangles à filtrer de deuxième espèce.

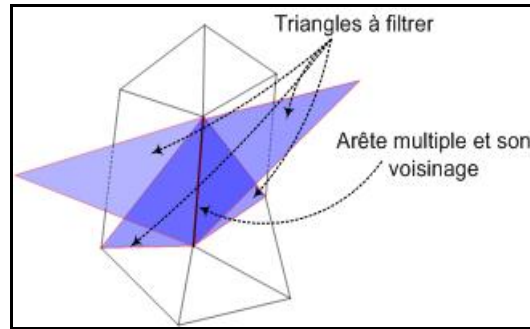
**Figure 7:** Triangles à filtrer de deuxième espèce.



##### 4.1. Filtrage de première espèce

Une fois la triangulation exécutée, une opération de recherche d'arêtes multiples est menée. Les arêtes ainsi localisées peuvent faire l'objet du filtrage de première ou de deuxième espèce. La figure 8 montre une arête concernée par le filtrage de première espèce.

**Figure 8:** Configuration des triangles à filtrer de première espèce



Dans cette opération de filtrage, tout triangle ayant pour arête l'arête multiple en cours et dont la suppression ne crée pas de trou dans la triangulation est éliminé de la liste des triangles. Pour se faire, il suffit de construire deux listes d'arêtes, l'une contiendra avec redondance les arêtes de la cavité de l'arête multiple, et la deuxième contiendra, sans redondance cette fois, les arêtes des triangles à filtrer (triangles montrés en bleu dans la figure 8). Il faut alors déterminer toute arête de la deuxième liste qui présente une seule fois dans la première liste et de supprimer le triangle correspondant. Une mise à jour de la liste des arêtes et de la liste des triangles s'en suit et une nouvelle arête multiple est recherchée.

**Pseudo-Code 3:** Algorithme de filtrage de première espèce

- 1- **Pour**  $i = 1 \rightarrow$  taille *ListeArêtes*
- 2-     *ListeTrianglesMultiples* =  $\emptyset$ ; *ListeArêtesCavité* =  $\emptyset$ ; *ListeArêtesFil* =  $\emptyset$
- 3-     **Pour**  $j \Rightarrow$  taille *ListeTriangles*
- 4-         Si l'arête  $A_i$  présente dans le triangle  $Tr_j$
- 5-             *ListeTrianglesMultiples*  $\leftarrow$  Triangle  $Tr_j$
- 6-     **Fin pour**  $j$
- 7-     **Faire** si taille *ListeTrianglesMultiples*  $\geq 3$
- 8-         Trouver la cavité de l'arête  $A_i$
- 9-         Construire la liste *ListeArêtesCavité*
- 10-        Construire la liste *ListeArêteFil* des arêtes des triangles multiples
- 11-        **Pour**  $m = 1 \rightarrow$  taille *ListeArêtesFil*
- 12-            *Compteur* = 0
- 13-            **Pour**  $n = 1 \rightarrow$  taille *ListeArêtesCavité*
- 14-                Si *ListeArêtesFil*[ $m$ ] = *ListeArêtesCavité*[ $n$ ]
- 15-                    Alors *compteur* ++
- 16-            **Fin pour**  $n$
- 17-            Si *compteur* = 1
- 18-                Alors le triangle de l'arête  $A_n$  est à supprimer de *ListeTriangles*
- 19-        **Fin pour**  $m$
- 20-        Mettre à jour *ListeTriangles* et *ListeArêtes*
- 21-     **Fin faire**
- 22- **Fin pour**  $i$

Observons que pour un objet fermé, c'est-à-dire sans frontières extérieures, la triangulation du nuage de points le représentant aboutirait à des triangles ayant tous un voisin sur chacune de leurs

arêtes. Dans ce cas, il faut donc trouver les triangles libres et les supprimer de la triangulation. Pour un objet non fermé, un tel traitement n'est pas envisageable dans la mesure où il présente des triangles libres à sa frontière. D'où l'intérêt du filtrage de première espèce comme mentionné ci-haut.

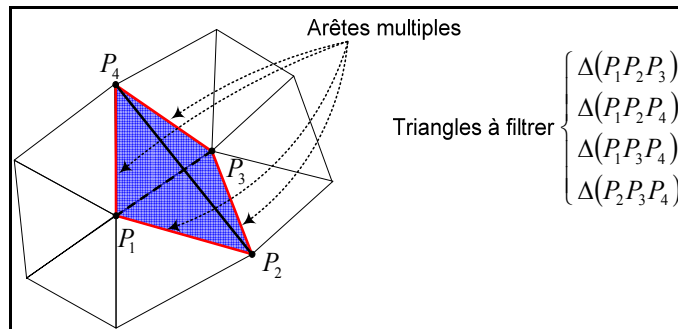
En désignant par *ListeTriangleMultiples* la liste des triangles de l'arête multiple, par *ListeArêteCavité* la liste des arêtes de la cavité de l'arête multiple et par *ListeArêteFil* la liste des arêtes des triangles à filtrer, le pseudo-code du filtrage de première espèce s'écrit comme indiqué à la page précédente.

## 4.2. Filtrage de deuxième espèce

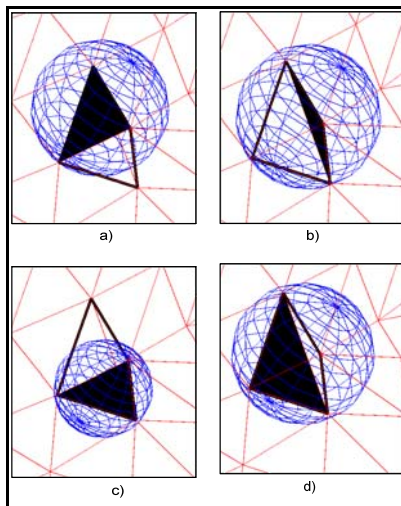
Le filtrage de deuxième espèce est aussi mené sur les arêtes multiples. Dans ce cas de figure, il n'existe pas de triangle libre ayant pour arête une arête multiple, car tout triangle à filtrer possède un triangle voisin sur chacune de ces arêtes (figure 9).

Rappelons que la surface ou l'objet à reconstruire est de topologie ou de géométrie inconnue. Ceci rend la prise de décision, quant aux triangles à supprimer, difficile. La figure 9 ci-dessus montre que les quatre triangles concourant au conflit se joignent deux à deux pour former le tétraèdre  $\blacktriangle(P_1P_2P_3P_4)$ .

**Figure 9:** Configuration des triangles à filtrer de deuxième espèce



**Figure 10:** Exemple réel du filtrage de deuxième espèce

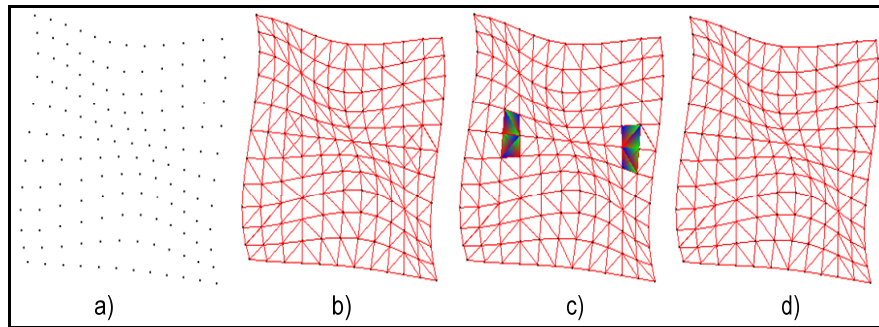


La démarche suivie à ce niveau consiste à évaluer, deux à deux, la somme des sphères des triangles que l'arête multiple définit. La paire de triangles correspondant à la somme la plus petite est gardée. Observons que ce traitement conduit à l'élimination de deux triangles et de quatre arêtes multiples. La figure 10 montre un cas réel d'une telle problématique. Celle-ci montre quatre triangles

deux à deux adjacents et dont les sphères respectives sont vides, ce qui génère un tétraèdre qu'il faut nécessairement filtrer. Le pseudo-code du filtrage de deuxième espèce de la triangulation est représenté ci-dessous (pseudo-code 4).

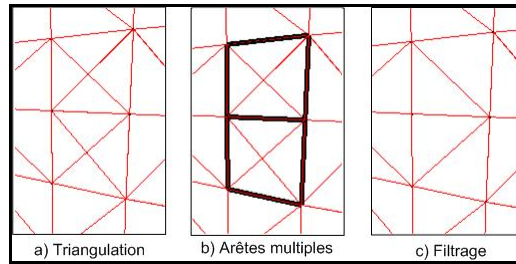
La figure 11 montre la correction apportée à la surface suite au filtrage de deuxième espèce. La figure 12 montre le détail agrandi de la région concernée en illustrant la triangulation en a), les arêtes multiples en traits noirs en b) et le résultat du filtrage en c).

**Figure 11:** Correction de la triangulation par le filtrage de deuxième espèce



**Pseudo-Code 4:** Algorithme de filtrage de deuxième espèce

- 1- **Pour**  $i = 1 \rightarrow$  taille *ListeArêtes*
- 2-     **Pour**  $j \Rightarrow$  taille *ListeTriangles*
- 3-         Si l'arête  $A_j$  fait partie du triangle  $Tr_j$
- 4-             *ListeTrianglesMultiples*  $\leftarrow$  Triangle  $Tr_j$
- 5-     **Fin pour**  $j$
- 6-     **Faire** si taille *ListeTrianglesMultiples*  $\geq 3$
- 7-          $S =$  Rayon sphère *ListeTrianglesMultiples*[1] +  
           Rayon sphère *ListeTrianglesMultiples*[2]
- 8-          $Pos1 = 1; Pos2 = 2$
- 9-         **Pour**  $k = 2 \rightarrow$  taille *ListeTrianglesMultiple* - 1
- 10-             **Pour**  $l = k + 1 \rightarrow$  taille *ListeTrianglesMultiples*
- 11-                  $S1 =$  Rayon sphère *ListeTrianglesMultiples*[ $k$ ] +  
                   Rayon sphère *ListeTrianglesMultiples*[ $l$ ]
- 12-                 Si  $S1 < S$  alors {
- 13-                      $S = S1$
- 14-                      $Pos1 = k$
- 15-                      $Pos2 = l$
- 16-                 }
- 17-             **Fin pour**  $l$
- 18-         **Fin pour**  $k$
- 19-         Supprimer les triangles  $Tr_{Pos1}$  et  $Tr_{Pos2}$  de *ListeTrianglesMultiples*
- 20-         Supprimer les triangles de *ListeTrianglesMultiples* de *ListeTriangles*
- 21-         Actualiser la liste *ListeArêtes* des arêtes
- 22-         *ListeTrianglesMultiples* =  $\emptyset$
- 23-     **Fin pour**  $i$

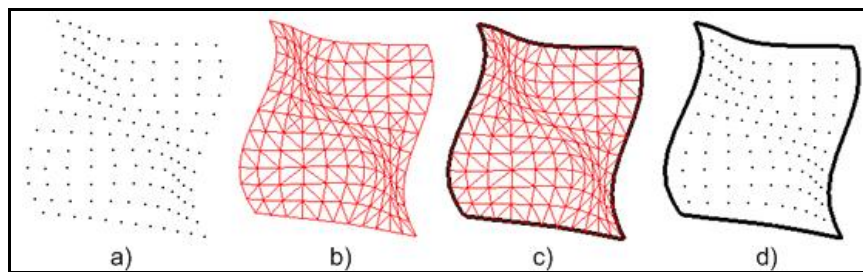
**Figure 12:** Détails de la figure précédente.

Cette notion de filtrage de première et deuxième espèce est évidemment plus aisée à mettre en œuvre dans le cas de maillage d'une surface ou d'un solide ayant une définition CAO. En effet, dans la mesure où nous disposons d'une définition mathématique de l'objet à mailler, il est aisé de calculer la déviation d'un triangle ou de ses arêtes par rapport à la surface ou l'objet. Dans ce cas, tout triangle ou toute arête dépassant une tolérance de déviation sera interdit. Malheureusement, de telles définitions mathématiques font défaut en reconstruction d'objet, elles constituent d'ailleurs l'un des objectifs finaux qu'elle désire atteindre.

## 5. Détection des caractéristiques géométriques

### 5.1. Frontières extérieures

Nous appelons frontières extérieures, les lignes caractéristiques d'un objet, ou d'une surface, n'appartenant qu'à une et une seule surface à la fois. Si l'objet est constitué que d'une seule surface, cas le plus simple de la segmentation, la frontière extérieure de la dite surface est représentée par son contour. Ce contour est celui formé par la jonction de certains points du nuage de telle sorte que celui-ci contienne les autres points de la surface. Une fois la triangulation construite, la construction de ce contour revient à déterminer les arêtes n'appartenant qu'à un seul triangle à la fois. La figure 13 montre la triangulation de la surface en rouge et ses arêtes frontières en noir.

**Figure 13:** Détection de frontières extérieures sur une surface

Le pseudo-code de la procédure de détermination du contour extérieur peut être ainsi décrit:

**Pseudo-Code 5:** Algorithme de détermination du contour extérieur

- 1- *Faire* pour chaque arête de ListeArêtes
- 2- Prendre le premier sommet de l'arête
- 3- Chercher le voisinage d'ordre 1 de ce sommet
- 4- Sélectionner dans l'étoilé le **Nombre** de triangle contenant l'arête
- 5- **S Nombre** de ces triangles =  $l \Rightarrow \begin{cases} \text{Arête} = \text{Arête frontière} \\ \text{Triangle} = \text{Triangle frontière} \end{cases}$
- 6- *Fin faire*

## 5.2. Détection des lignes caractéristiques

L'équation du plan passant par les points  $P_1(x_1, y_1, z_1)$ ,  $P_2(x_2, y_2, z_2)$  et  $P_3(x_3, y_3, z_3)$  en utilisant le déterminant:

$$\begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \end{vmatrix} = 0 \quad (1)$$

dont le développement permet d'écrire:

$$\begin{aligned} & (x - x_1)[(y_2 - y_1)(z_3 - z_1) - (y_3 - y_1)(z_2 - z_1)] + \\ & (y - y_1)[(z_2 - z_1)(x_3 - x_1) - (z_3 - z_1)(x_2 - x_1)] + \\ & (z - z_1)[(x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1)] = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

d'autre part, avec l'équation du plan:

$$Ax + By + Cz + D = 0 \quad (3)$$

L'identification membre à membre des équations (2) et (3) donne alors:

$$\begin{cases} A = (y_2 - y_1)(z_3 - z_1) - (y_3 - y_1)(z_2 - z_1) \\ B = (z_2 - z_1)(x_3 - x_1) - (z_3 - z_1)(x_2 - x_1) \\ C = (x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1) \\ D = -(x_1A + y_1B + z_1C) \end{cases} \quad (4)$$

Géométriquement, la mesure de l'angle aigu entre deux plans  $A_1x + B_1y + C_1z + D_1 = 0$  et  $A_2x + B_2y + C_2z + D_2 = 0$  est déterminé par l'angle des deux normales à ces plans. Cet angle est donné par:

$$\theta = \text{Arc cos} \left| \frac{A_1A_2 + B_1B_2 + C_1C_2}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2 + C_1^2} \sqrt{A_2^2 + B_2^2 + C_2^2}} \right| \quad (5)$$

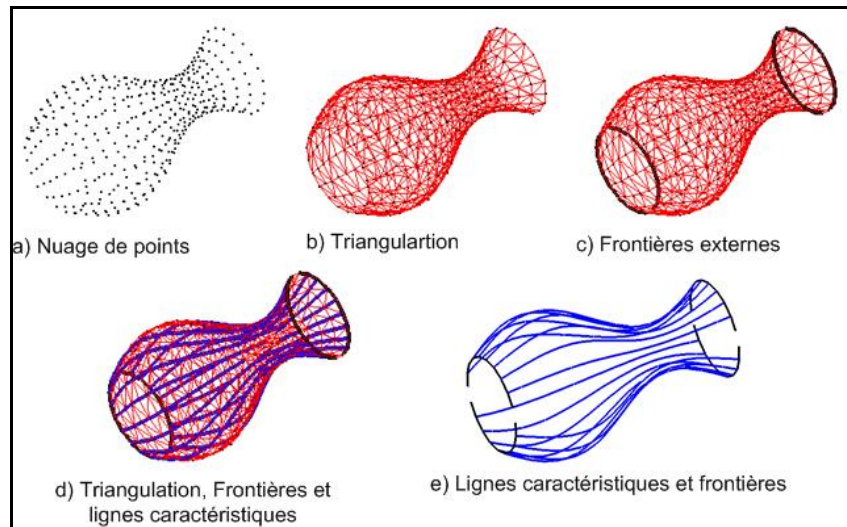
Dans un nuage de points triangulé, il est possible de détecter les discontinuités d'ordre  $C^1$  en calculant les angles que font les triangles adjacents pris deux à deux. Pour tout couple de triangles voisins, nous évaluons l'angle dièdre de leur arête commune.

L'application de la relation (6) se montre parfois satisfaisante en imposant une valeur seuil maximale et minimale afin de décider si une arête de la triangulation appartient à une ligne caractéristique. La figure 14 illustre la détection de ces arêtes montrées en bleu. En y adjoignant les frontières extérieures montrées en noir, nous obtenons une forme de segmentation du nuage de points.

Dans la figure 14e), nous observons une discontinuité des frontières extérieures, discontinuité due à la forte présence de points cosphériques dans l'image de profondeur.

Afin de conférer une définition mathématique à l'objet segmenté, il suffit d'exporter l'ensemble "frontières extérieures et lignes caractéristiques" vers un modéleur CAO surfacique, ou solide, sur lequel il sera aisé de modéliser l'objet par une surface de révolution ou d'un autre type.

**Figure 14:** Différentes étapes de traitement d'un nuage de points



## 6. Résultats et discussion

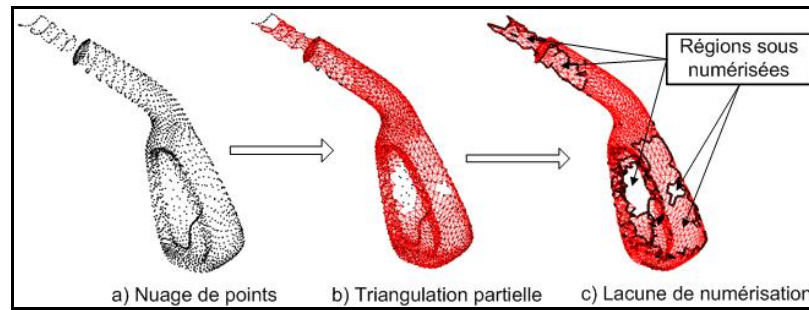
### 6.1 Densité des nuages de points et triangulation

Nous avons mené la triangulation sur des nuages de points définissant les mêmes objets mais avec des densités de répartition différentes des données. Il nous est apparu que des objets à faible densité de points et présentant des surfaces en vis-à-vis engendrent des résultats de triangulation inacceptables. Cet aléa à pour cause la faible densité des points 3D représentant un objet par rapport à son épaisseur locale. Les critères introduits peuvent être utilisés comme détecteurs d'endroits sous-numérisés. En effet, la sphère limite admissible interdit tout triangle induisant une sphère qui lui est plus grande, ce qui a pour effet de ne pas trianguler la région à laquelle un tel triangle appartient.

La figure 15 montre la tête d'une cheville de golf comportant des régions mal numérisées. Les lacunes de numérisation sont détectées en utilisant le premier critère de triangulation, celles-ci sont illustrées en noir dans la partie c) de la figure. L'intérêt de la détection des lacunes de numérisation est immédiat dans la mesure où une numérisation d'appoint est indispensable pour mieux échantillonner les dites régions en vue d'une reconstruction correcte. Au lieu d'attendre l'achèvement de la reconstruction pour évaluer si le taux de restitution est acceptable, ce qui est rarement le cas dès la première tentative, il serait utile d'être dans la capacité de juger si la phase de numérisation est correcte sans attendre la reconstruction totale pour en être fixé.

Quant au deuxième critère, il met en exergue les endroits où il serait utile de rajouter quelques points afin d'améliorer localement la qualité des triangles.

**Figure 15:** Détection des régions sous-numérisées



## 6.2. Influence du critère de la sphère limite

La dimension de la sphère limite est un paramètre spécifié avant de lancer la triangulation. Pratiquement, ce paramètre affecte non seulement le temps d'exécution, mais aussi la qualité de la triangulation obtenue. En effet, si la dimension de la sphère est importante, tous les points sont triangulés et un nombre important de triangles à filtrer de première espèce apparaît et le temps d'exécution augmente.

Si par contre cette dimension est petite, les triangles à filtrer sont en petit nombre, voir même inexistant. Ceci est d'autant plus net que la répartition des points n'est pas homogène.

Afin de palier à cet inconvénient, il faudrait adapter de manière automatique la dimension de la sphère maximale en fonction de la densité de distribution locale des points.

D'autres améliorations peuvent être apportées sur le plan structure de données et subtilités de programmation. La recherche du voisinage d'une arête lors de la croissance de la triangulation est consommatrice en temps et reste à optimiser.

## 7. Conclusion

La reconstruction de surfaces par triangulation est un problème de dimension  $2D^{1/2}$ . L'application de la triangulation de Delaunay en respectant uniquement son lemme fondamental ne donne généralement pas de bons résultats. Pour construire le polyèdre, nous avons utilisé et adapté la triangulation de Delaunay à la reconstruction. En effet, celle-ci est classiquement réservée à la triangulation d'objets plans ou à la tétraèdrisation d'objets 3D appliquée à l'analyse par la méthode des éléments finis.

D'autre part, nous avons introduit des critères de triangulations afin d'interdire certains triangles qui ne sont pas représentatifs de l'objet. Toutefois, d'autres triangles indésirables apparaissent, ce qui nous a amenés à mettre en place deux filtres, dits première et deuxième espèce, afin d'aboutir à une triangulation valide et exploitable. A ces difficultés s'ajoute celle posée par la détection et la gestion des points cosphériques.

Toutefois, malgré les résultats obtenus, les étapes de la reconstruction restent encore soumises à des difficultés spécifiques inhérentes aux méthodes utilisées. Ce qui confirme l'absence d'un schéma de reconstruction unifié des différentes approches existantes et utilisées, dont celles qui sont de nos jours fonctionnelles répondent très souvent à un besoin industriel urgent et demeurent encore onéreuses.



## References

- [1] R. Ben-Jemaa, 1998. "Traitement de données acquises sur des objets réels complexes". Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications. Paris.
- [2] M.S. Floater, 1997. "Parametrization and smooth approximation of surface triangulations". *Computer Aided Geometric Design*, 14, pp.231-250.
- [3] H.Hoppe, T.Derose, T.Duchamp, J.McDonald, W.Stuetzle, 1992. "Surface reconstruction from unorganized points." *Computer Graphics (SIGGRAPH'92 proceedings)*, 26(2), pp.71-78.
- [4] W. Sun, C.Bradley. Y.F. Zang, H.T. Loh, 2001 "Cloud data modeling employing a unified, non-redundant triangular mesh". *Computer Aided Design* 33, pp.183-193.
- [5] H.Hoppe, T.Derose, T.Duchamp, J.McDonald, W.Stuetzle, 1993."Mesh optimization". *Computer Graphics (SIGGRAPH '93 Proceedings)*, pp.19-26.
- [6] P.L.George, H. Bourouchaki, 2001. "Triangulation de Delaunay et maillage, application aux éléments finis". UTT Troyes, France.
- [7] M.A. Amrani, F. Jaillet, M. Melkemi, 2001. "Simulation of deformable organs with a hybrid approach". *Revue de CFAO et d'informatique graphique*, Vol 16, N2, pp.213-242.
- [8] S. Liu, W. MA, 1999. "Seed-growing segmentation of 3D surfaces from CT-contour data". *Computer Aided Design* 31, pp: 517-536,.
- [9] J. Huang, C.H. Menq, 2002. "Combinatorial manifold reconstruction and optimization from unorganized points with arbitrary topologie". *Computer Aided Design*, pp. 149-165.
- [10] J.Y. Lai, W.D. Ueng, 2000. "Reconstruction of surfaces of revolution from measured points". *Computers In Industry*, Volume 41, pp. 147-161,.
- [11] W.Ma, K.Y.Chu, 2000. "Extracting geometric features from a virtual environment". *Journal of Materials Processing Technology* 107, pp. 24-30.
- [12] L.A. Piegl, W. Tiller, 2001. "Parametrization for surface fitting in reverse engineering". *Computer Aided Design* 33, pp.593-603.
- [13] L.Li, N. Schemenauer, X. Peng, Y. Zeng, P. Gu, 2002. "A reverse engineering system for manufacturing of complex objects". *Robotics and Computer Integrated Manufacturing* 08, pp.53-67.
- [14] M.O. Challali, I. Belaidi, K. Mohammedi, G. Ishiomin, 2007. "Reconstruction d'objets discrets 3 D. Démarche globale et triangulation de Delaunay". *Journées de Mécanique 5<sup>ème</sup> JEM; EMP, Bordj El Bahri (Algérie)*.
- [15] A.Bernard, B.Sidot, S.Davillerd, 1998. "Définition des paramètres essentiels pour la génération automatiques de processus d'acquisition de forme par capteur laser". *Revue de CFAO et d'informatique graphique*. Vol.13-n° 4-5-6, pp.191-210.

## **The Effect of Clove Bud, Nigella and Salix Alba on Wart and Comparison with Conventional Therapy**

**Kobra Rezaei**

*Faculty member, Lorestan university of Medical Sciences  
Po Box: 1951633731, Kolahdooz St, Dibaji, Sanjabi, Bazargani Dead end  
No 47, Unit 1, Tehran-Iran  
E-mail: rezaei\_159@yahoo.com  
Tel: +98 22545987*

**Roghieh Jebraeili**

*Professor assistant, Azad Islamic University  
Tehran Medical Unit, Department of Dermatology*

**Bahram Delfan**

*Associate Professor, Lorestan university of Medical Sciences  
Department of Pharmacology*

**Maryam Noorytajer**

*Associate Professor, Lorestan University  
Department of Biochemistry*

**Mohammad Hadi Meshkat**

*Professor assistant  
Lorestan university of Medical Sciences Department of Dermatology*

**Hossein Maturianpour**

*Instructor, Master of Epidemiology  
Lorestan University of Medical Sciences*

### **Abstract**

**Backgrounds:** Wart is a common viral disease of the skin due to papilloma virus infection. Its prevalence among children and young adults is about 10% which 70% of them are common wart. Salicylic acid 16.7% and lactic acid 16.7% are the most conventional therapy for wart. The plants *Clove bud*, *Olive*, *Nigel* and *Salix alba* have wound disinfectant, anesthesia, analgesia and wound healing properties. The aim of this study was to investigate the effect of *Clove bud*, *Nigella*, *Salix alba* and Olive oil on wart treatment in comparison with conventional treatment.

**Method:** This randomized double blind controlled clinical trial was conducted on 291 female students which were selected from guidance schools and high schools in Khoram Abad, Lorestan, Iran, during the year 2007. The diagnosis of wart was confirmed by a dermatologist according to the diagnosis criteria. The cases fulfilling the inclusion criteria were assigned in each 3 study groups randomly (97 cases in each group). The cases were categorized in 3 groups. The first group was treated with conventional treatment (Salicylic

acid 16.7%, lactic acid 16.7% in collodion body), the second group with herbal medicine without acid in olive oil, and the third group with herbal medicine alongside salicylic acid 1% and lactic acid 1% in olive oil. Each group was administered the drugs for 6 weeks. The effect of drugs on lesions was assessed after 4 and 6 weeks and compared between 3 groups using repeated measures test.

**Results:** The age range of cases was 12-18 years. 64.41% lesions were located on hands, the rest presenting on other regions. Of 291 cases a total of 177 cases used the drug on a regular basis. Improvement of lesion after 4 weeks was 62.6% for conventional therapy, 42.9% for herbal therapy with acid, and 55.1% for herbal therapy without acid as well as 89.9% for conventional therapy, 61.3% for herbal therapy with acid, and 87.8% for herbal therapy without acid after 6 weeks. Routine treatment was more efficient than herbal therapy with acid ( $P < 0.000$ ). The efficacy of routine therapy was not significantly different from that of herbal therapy without acid ( $P = 1.000$ ) and herbal therapy with acid was less efficient than herbal therapy without acid ( $P < 0.001$ ).

**Conclusion:** The use of herbal therapy, with or without acid is significantly efficient in lesion resolution. Also, a prolonged duration of therapy leads to better resolution of lesions in all three types of therapy. With regard to these results, the mentioned plants may be used as adjuvant or alternative therapy in treatment of common wart.

**Keywords:** Wart, conventional therapy, clove bud, Nigella, and Salix Alba leaf

## Introduction

Wart is a common, contagious, viral disease of the skin, caused by human papilloma virus (HPV) of DNA type. It may result in cosmetic and psychological problems and, in case of occurring in regions at contact and pressure it may cause pain and inflammation (1).

Wart has been reported in all ages, with a peak of 12-16 years of age. Its prevalence in children and young adults is 10%. Warts constitute different types, about 70% of which are common wart and 24% plantar wart. The route of infection is direct and indirect contact; the virus, however, needs small crevices in the skin through which it penetrates (2). Common wart occurs mostly on back of hands and fingers, and it may present on other regions as well. A percentage of warts may spontaneously resolve in 2 years (3).

One of the common therapies utilizes salicylic acid 16.7% and lactic acid 16.7% in collodion body; this therapy is first choice for common and plantar warts. However, daily and long term treatment is effective in only 60-70% of cases. Some other therapies for wart lesions include podophylline- a resin of herbal origin containing cytotoxic compounds and used for treating genital warts. Cauterizing, cryotherapy, laser therapy, etc are other treatments for warts (4, 5).

Herbal medicines have long been used for treating diverse diseases of the skin, and are even the primary therapy in certain cases (6). Nowadays, herbal medicine using medicinal plants is gaining rapid popularity and using of plants for prevention and primary/adjuvant treatment of physical illnesses is one of the modern medical perspectives (7). Clove bud (*Eugenia caryophyllata*) is a plant containing phenol and other compounds which grant it the properties of local anesthesia and disinfections.

*Nigella sativa* is a diuretic, anti-spastic, anti-flatulence, anti-parasitic and disinfectant with a chemical composition of oil, saponin and fragrance. It is beneficent in wart and corn treatment (8). *Salix alba* leaf has various clinical applications such as diuresis, analgesia, anti-inflammation, disinfections and treating cutaneous lesions. It contains compounds like phenol glycosides salicylates, tannins and flavonoids (9).

Common olive contains secoiridoids, flavonoids, and triterpene with the ability to heal wounds and bruising, resolve the purities at the site of insect bites, and treat dandruff. These features present it

as a medicinal plant for skin care and lubrication alongside its alimentary usages (10). There are many evidences supporting the effect of above said plants in treating skin lesions (11-13).

This research was conducted to determine the efficacy of clove bud, nigella and *Salix alba* leaves in olive oil in treatment of common wart and compare this treatment with conventional therapy – salicylic acid 16.7% and lactic acid 16.7% in collodione body).

## Methods

This study is a clinical trial carried out in Khorram Abad province of Lorestan in 2007. The population comprised of 291 girl students of guidance schools and high schools in Khorram Abad, Lorestan (based on the formula for sample volume and prevalence of wart) selected randomly based on fulfilling the inclusion criteria. Considering the fact that the mentioned drugs do not present toxicity and significant complications (11), and also the acquisition of consent from the cases in study, we have respected the principles of medical ethics in our research. The cases were all female in a range of 12-18 years of age. They had not received any medication for wart since 2 months prior to the onset of the therapy, were not afflicted by immunosuppressive diseases, were not taking immunosuppressive medication, and the diagnosis of wart had been confirmed by a dermatologist. The questionnaire was prepared by the researcher and its reliability and validity were determined by experts after running the test retest ( $r = 0.095$ ). The questionnaire was then committed to a trained professional to be filled out in 3 steps. The study was designed as double-blind, in the sense that the administrator and the cases in study were not aware of the therapy type. The medication cans were identical and labeled with numbers. The trained professionals taught the cases about the precise mode of application of the medication on the lesion (using a swab after lubricating the skin around the lesions, twice a day for 6 weeks). The cases were also taught to prevent contact on the lesion while the medication is drying up on the skin, and to refer to medical facilities in case of severe symptoms of local allergy. Three groups of cans, one with the conventional medication, one with herbal medication with acid, and last one with herbal medication without acid, were filled in pharmacy.

## Preparation of herbal medication

After acquisition of clove bud, *Nigella* and *Salix alba* plants, they were irrigated and dried. Then, they were ground to a fine powder. 0.5 kg clove bud, 0.5 Kg *Nigella*, 0.5 Kg *Salix alba* leaves, 50 g salicylic acid, 50 g lactic acid, and 900 mL olive oil were used in preparation of the herbal medicine with acid. For preparation of the herbal medicine without acid, the same proportions mentioned above were used without salicylic acid and lactic acid. After preparation, both medications assumed the form of a homogenous, fluid paste. The herbal medications with and without acid were poured in cans number 2 and 3; 30g in each. For the cases having more than 3 warts, extra cans with the same medication were administered. The conventional medication, Kiwart containing salicylic acid 16.7% and lactic acid 16.7% in Collodione body was poured in cans labeled 1.

In the first step, a dermatologist interviewed and examined the cases. Then questionnaire number 1, containing questions about demography, location of lesions, lesions surface in mm, number of lesions, other symptoms such as redness itching, inflammation, oozing and ulcer, the time of lesions onset, and previous treatments was filled out. It was decided that the professional would examine the cases in 4 weeks again. In the 2<sup>nd</sup> steps, taking place 4 weeks after the onset of therapy, the same professional interviewed and examined the cases and the questionnaire number 2, containing the same questions about examination and measurement of lesion surface, and also the adverse reactions during and after therapy, was completed.

In the 3<sup>rd</sup> step, taking place 6 weeks after the onset of therapy, the cases were examined and the questionnaire number 3, containing the above said questions was completed.

In all 3 steps, a trained professional was in charge of completing the questionnaires, administering the drugs, educating the cases, and following the course of therapy.

**Determining the efficacy of medications**

In the first step, the lesions surface was measured in mm. For instance, for a person with one lesion of 1 mm, the surface was recorded as 1 mm; and for a person with 4 lesions of 3 mm each, the surface was recorded as 12 mm. In the 2<sup>nd</sup> step, the lesions surface was measured after 4 weeks of onset of therapy.

In the 3<sup>rd</sup> step, the lesions surface was measured after 6 weeks of onset of therapy.

Then, the percentage of diminishing in the surface of lesions was compared in the 3 groups. For instance, for a person with an initial surface of 10 mm which has reduced to 3 mm during therapy, the percentage of diminishing was calculated thus:  $\% = 1 - \frac{3}{10} = 70\%$ ; that is, she has shown a 70% diminishing in the surface of her lesions. For cases with a complete resolution of lesions, this percentage was recorded as 100%.

The percentage of diminishing the surface of lesions after 6 weeks of the onset of therapy was calculated in a similar fashion.

The average lesion surface of cases in the 3 steps was calculated.

Finally, the average diminishing in the surface of lesions at 4 & 6 weeks of therapy was compared in the 3 groups using the statistical test of repeated measures.

**Results**

The total number of cases in study was 291 persons, all females in a range of 12-18 years of age, 5% had previously experienced other treatments such as the conventional therapy and cauterizing. 64.4% had lesions on hands, the rest having lesions on other regions such as fingers, toes, trunk, head, and face, 6% of warts were in areas of pressure and manifested symptoms such as pain and inflammation. After therapy, 4% of cases on conventional therapy and 11% of cases on herbal therapy with acid presented with symptoms of local sensitivity including redness, pain and burning. The onset of lesions was at least 1 month, at most 10 years, and between 1-5 years in 53.6% of cases (standard deviation = 23.5). 177 cases used their medication on a regular basis: 61 cases of which were on conventional therapy, 52 cases on herbal therapy with acid, and 64 cases on herbal therapy without acid. After 6 weeks of regular therapy, 43 cases on conventional therapy, 20 cases on herbal therapy with acid, and 42 cases on herbal therapy without acid manifested a complete resolution of the lesion with the epidermis returning to normal state. 1 case in each of the groups on conventional therapy and an herbal therapy without acid showed no response to treatment; this number was 10 cases in the group on herbal therapy with acid. The chi-squared test with 4 degrees of freedom and P<0.001 was used to compare this fact in the 3 groups (Table 1).

**Table 1:** The efficacy of the 3 therapies on wart lesions at 6 weeks of therapy

Efficacy	Conventional		Herbal with acid		Herbal without acid		Total	
	N	%	N	%	N	%	N	%
<b>Complete (100% resolution)</b>	43	70.5	20	38.5	42	65.5	105	59.3
<b>Partial (0-100% Resolution)</b>	17	27.9	22	42.3	21	32.8	60	33.9
<b>Ineffective (No resolution)</b>	1	1.6	10	19.2	1	1.6	12	6.8
<b>Total</b>	61	100	52	100	64	100	177	100

Chi-squared test: P < 0.001, df = 4

After 4 weeks of therapy, the percentage of diminishing in the surface of lesions was 62.85% in conventional therapy, 42.89% in herbal therapy with acid, and 59.45% in herbal therapy without acid, in cases taking their medication regularly. At 6 weeks of therapy, those figures developed to 89.85% in conventional therapy, 61.30% in herbal therapy with acid, and 87.15% in herbal therapy without acid (Table 2).

**Table 2:** The average percentage of diminishing in the surface of lesion at 4 & 6 weeks of the 3 therapies

Therapy	Efficacy at 4 weeks			Efficacy of 6 weeks			F	P
	N	Mean	SD	N	Mean	SD		
Conventional	61	62.85	27.48	61	89.85	21.02	224.68	P<0.001
Herbal with acid	52	42.8	36.50	52	61.30	40.83		
Herbal without acid	64	59.45	33.97	64	87.85	21.49		
<b>Total</b>	177	55.76	33.58	177	80.74	30.95		

The repeated measures test indicates significant difference in the 3 groups ( $P < 0.001$ ).

The comparison of the 3 wart therapies using the repeated measures test shows that: the conventional therapy has been more effective than herbal therapy with acid ( $P < 0.001$ ), but this difference was not significant in comparison with herbal therapy without acid ( $P: 1.000$ ).

Herbal therapy with acid was significantly less effective than conventional therapy ( $P < 0.001$ ). Also, herbal therapy without acid was significantly less effective than herbal therapy with acid ( $P < 0.001$ ).

The efficacy of herbal therapy without acid was not significantly different from that of conventional therapy ( $P=1.000$ ), whereas herbal therapy without acid was significantly more effective than herbal therapy without acid ( $P < 0.001$ ) (Table 3).

**Table 3:** Comparison of the 3 wart therapies using the test of repeated measures

Therapy	Average percentage of diminishing in lesions surface	Standard Deviation	Difference (P)
Conventional & herbal with acid	24.25 8*	5.405	0.000
Conventional & herbal without acid	2.702	5.124	1.000
herbal with acid & conventional	-24.258 *	5.405	0.000
herbal with acid & herbal without acid	-21.556 *	5.347	0.000
herbal without acid & conventional	-2.702	5.124	1.000
herbal without acid & herbal with acid	21.556 *	5.347	0.000

\* Significant difference

## Discussion

Initially 291 cases with warts were introduced into the study, but only 177 of cases underwent therapy on a regular basis, the rest having abandoned therapy or taken it irregularly. For reasons of clarity and precision, only the 177 cases of regular treatment were kept in the study.

64.41% of wart lesions were located on hands, a figure consistent with the east Angelian study (3).

Nowadays, alternative or adjuvant therapies with herbal medications are in use for many diseases (14). Properties of disinfections, resolving skin lesions, and healing wounds and inflammation have been reported in many studies to occur in *Nigella*, clove bud and *Salix alba* leaves (9, 11, 15, 16). The results of this study depict the considerable efficacy of these plants in treatment of common wart lesions. Therefore, considering their efficiency, these plants may be used as alternative or adjuvant therapy for common wart (14, 17- 19).

The herbal therapy with acid has been less effective than the herbal therapy without acid; it appears that salicylic acid and lactic acid have hindered the efficacy of the medicinal plants.

The prolonged application of herbal therapy (as well as conventional therapy) grants better efficacy in healing common wart. The better response and better resolution of wart lesions with increasing the duration of therapy is mentioned in some articles (1, 2).

Some of the cases on conventional and herbal therapy with acid manifested symptoms of irritation and local allergy; a phenomenon which was more frequent in cases on conventional therapy. No case on herbal therapy without acid manifested such symptoms. This local sensitivity may be due to the presence of salicylic acid and lactic acid in conventional and herbal therapy with acid (21).

The recognition of various properties of plants, and their potential application as alternative therapy is crucial (22-24). In 2004, Silverberg reported the efficacy of clove bud in treating common wart (17). Also, Jim Duke has reported the efficacy of Nigella in treating wart and corn (8).

Aspirin is derived from Salix alba, a plant in use for healing many diseases since 3,000 years ago (20). Highfield and Kemper in their study on Salix alba (containing salicylic acid, the active agent of aspirin), have presented it as a treatment for wart, callosity and corn (21).

In addition to the medicinal effects of Nigella, clove bud and Salix alba leaves on wart lesion, these plants do not arouse allergy either.

Considering their efficient and complication-free effect on treating wart, they may be used, particularly without acid, as an adjuvant therapy for this purpose. Of course, further studies for comparing the individual effects of clove bud, Nigella and Salix alba leaves, their complications, their long term application, and also their effect on different age groups are necessary.

## References

- [1] Rook's textbook of Dermatology. Tong Burns et al. 2004. Seventh Edition, Manchester: Blackwell co: 25- 39.
- [2] FitzPatric Thomas. Dermatology in general medicine 1993. 4th edition, Volume 2, Section 34, Chapter 212, pp: 2611- 19.
- [3] East Anglian, 1995. Branch of the society of medical officers of Health. The incidence of warts and plantar warts amongst school children of East Anglia. Med Officers (94): 55- 59.
- [4] Sterling JZ, Hand field- yones S, Hudson PM, 2001. Guidelines for the management of cutaneous warts. Br J Dermatol (144): 4- 11.
- [5] Gibbs S, Harvey I, Sterling J, Stark R. 2002. Local treatments for cutaneous warts: Systematic review. BMJ (325): 461- 4.
- [6] Zargari, Ali. Giyahan e Daruyi (Herbal Plants), 1991. 2<sup>nd</sup> Volume, Tehran: Tehran University Press, pp: 226-38.
- [7] Amin, Gholam Reza. Giyahan e Daruyi e Sonnati e Iran (Traditional Herbal Plants of Iran), 1991. 1<sup>st</sup> Volume, Tehran: Deputy for Research at Ministry of Health, Medicine and Medical Education, pp: 70-92.
- [8] Duke JA, 2001. Dr Duke's Essential Herbs. New york: St. Martin's Paperbacks, pp: 129-37.
- [9] Leporatti M, Pavesi A, 1990. New or uncommon uses of several medicinal plants in some areas of central Italy. J. Ethnopharmacology (29): 213- 23.
- [10] Jean Braneton, 1995. Pharmacognosy phytochemistry Medicinal plants, 489.
- [11] Pieroni A, Quave CL, Villanelli ML, Mangino P, Sabbatini G, Santini L; et al, 2004. Ethnopharmacognostic survey on the natural ingredients used in folk cosmetics, cosmeceuticals and remedies for healing skin diseases in inland. Marches, Central- Eastern Italy, Journal of Ethnopharmacology (91): 331- 344.
- [12] Andrew Chevallier, 1996. The Encyclopedia of Medicinal plants, pp: 237.
- [13] Carola Newall, Linda Anderson, Philipson JD, 1996. Herbal Medicines, pp: 268.

- [14] Burnney MH, Nolan MW, Williams DA, 1976. An assessment of methods of treating viral warts by comparative treatment trials based on a standard design. *Br J of Dermatol* (94): 667- 9.
- [15] Warts Alternative Medicine, 2007. [www.Peacehealth.org](http://www.Peacehealth.org), last Review pp: 02-
- [16] Newall CA, Anderson LA, Phillipson JD, 1996. *Herbal medicines: a guide for health-care professionals*. London: Pharmaceutical press (ix): 296.
- [17] Silverberg N, 2002. Garlic Cloves for verruca vulgaris. *Pediatr Dermatol* (19): 183.
- [18] The Herbalist. North West Herbs Specialist, [www.theherbalist.com/index.html](http://www.theherbalist.com/index.html).
- [19] Herb information, 2000. International Cyber Business Services, Inc 1998, [www.Holisticonlin.com](http://www.Holisticonlin.com)
- [20] Vainio H, Morgan G, 1997. Aspirin for the second hundred years: new uses for an old drug. *Pharmacology & Toxicology* (81): 151- 2.
- [21] Highfield ES, Kemper KJ, 1999. White Willow Bark (*Salix alba*). Long Wood Herbal Task Force: [www.mcp.edu/herbal/default.htm](http://www.mcp.edu/herbal/default.htm), Revised July(13):1.
- [22] Akhondzadeh, Shahin, 1999. *Dayeratolma'aref e Giyahan e Daruyi e Iran* (Encyclopedia of Iranian Herbal Plants). Tehran: Center for Research on Herbal Medicine at Jihad e Daneshgahi, PP: 104-25.
- [23] Deborah, Tekak, 2003. *Darmanhaye Khanegi (Home Remedies)*. First edition, Tehran: Golbarg, pp: 205-14
- [24] Jean Velague, Giri Stodolat, 1991. *Giyahan e Daruyi (Herbal Plants)*. Tehran: Ghoghnus, pp: 237-8.



# **Environmental Benchmarking of Electric Appliance for SMEs Application: Electric Iron Case Study in Thailand**

**Harnpon Phungrassami**

*National Center of Excellence for Environmental and Hazardous Waste Management  
Faculty of Engineering, Thammasat University, Pathumtani, 12120 Thailand*

## **Abstract**

Eco-design means the integration of environmental considerations at the design phase and is arguably the best way to improve the environmental performance of products (EuP Directive, 2005). Environmental assessment tools including the environmental benchmarking and the eco-efficiency are probably the most commonly used approaches. When using environmental benchmarking in order to perform eco-design, there is considerable confusion about concerning what the environmental benchmarking parameter is and how it should be quantified when comparing it to others. This research study proposes a quantification method for environmental benchmarking applied for small and medium enterprises with an electric iron case study. This proposed method derives the ratio of the environmental benchmarking value and the life span of the product to its environmental impact based on life cycle assessment (LCA). Although all of the selected electric irons received the same Thai Industrial Standard certification, the results shown that the environmental benchmarking (EBM) of Iron 4 is the best of all selected irons. In addition, the results of the environmental benchmarking can be used for improvement product by using eco-design concept.

**Keywords:** Life cycle assessment, environmental benchmarking, eco-efficiency, eco-design

## **Introduction**

Over the last decade, industries and governments all over the world have become aware of the fact that pollution control through end of pipe treatment is only one of several options for pollution reduction. By this approach, industries have a few advantages such as straight forward, simple operations and can meet the required effluent standard within a short period of time. However, the new trends of environment, economy and society have been growing and are concerned about current non-sustainable development. These facts have led to an increased interest in the life cycle assessment and eco-design.

LCA is a technique for assessing the environmental aspects and potential impacts associated with a product by compiling an inventory of relevant inputs and outputs of a product system, evaluating the potential environmental impacts associated with those inputs and outputs, and interpreting the results of the inventory analysis and impact assessment phases in relation to the objectives of the study (ISO, 2006). However, environmental data from LCA results alone provide an insufficient basis for product selection, because consumers seldom select a product based only on consideration of environmental performance (Kobayashi, 2005).

Over the years, many different solutions have been proposed to support designers with simple procedures for the estimation and evaluation of the environmental parameters of selected products, especially of the environmental benchmarking. There is no standardized method of detailed guidelines for analyzing the environmental benchmarking of a product, companies have been analyzing the environmental benchmarking of their products and their competitor's products by using their own methods. Because of the confusion of quantifying EMB, the eco-efficiency approach was, therefore, applied into the environmental benchmarking methodology in order to support SMEs in their efforts to improve their products.

In general, efficiency measures the relationship between outputs from and inputs to a process. The higher the output for a given input or the lower the input for a given output, the more efficient is an activity (Burritt and Saka, 2006). Eco-efficiency is an internal tool for measuring system progress and for communicating economic and environmental performance (Michelsen *et al*, 2006) as shown in Equation (1).

$$\text{eco - efficiency} = \frac{\text{Product value}}{\text{Environmental impact}} \quad (1)$$

As there are numerous alternatives of evaluating the environmental impact, it is almost impossible for SMEs to comprehensively assess the environmental impact of their product. Therefore, the single score of the environmental impact was selected, namely Eco-indicator 99.

In summary, the main objective of this research is to develop an environmental benchmarking methodology so as to help small and medium scale companies to produce and manufacture competitively in an environmentally sustainable manner.

## Materials and Methods

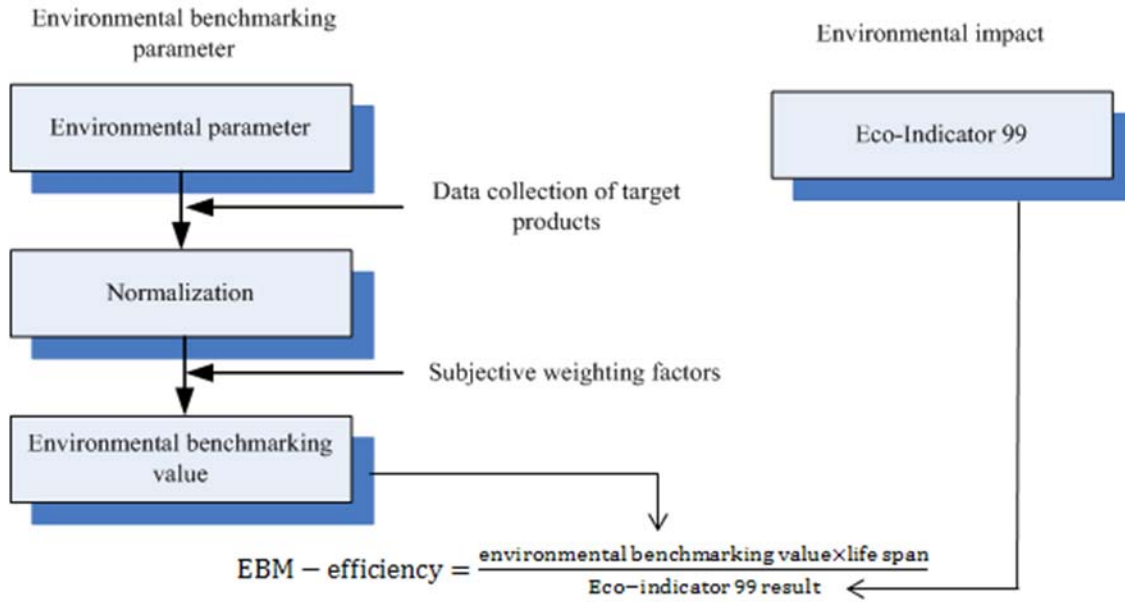
### EBM-efficiency

The concept framework for identifying key issues of efficiency that derives the ratio of the environmental benchmarking value and the life span of a product to its environmental impacts, so called EBM-efficiency, is proposed in Figure 1. The proposed method consists of two main parts, environmental benchmarking value and environmental impact based on Eco-indicator 99.

### Eco-indicator 99 result

Environmental impact is a measure of all environmental influences that are assessed according to their relative environmental impact (Burritt and Saka, 2006). There are many methods for evaluating the environmental impact of a product. However, one of the most well known and commonly accepted approaches is LCA. LCA is a method for systematically assessing the environmental impact of a product through all of its life cycle stages, from raw material acquisition to manufacturing, transportation and distribution, and final reuse, maintenance, and recycling, but its application is time consuming and it is not simple (Marco, 2006). Moreover the application of the LCA methodology is more complex in the product design stage, but it is the main possibility to improve the product's environmental performance. As for the environmental impact, LCA will provide endpoints as a unit of measure. To calculate a single score, one of the well known methods is to utilize the Eco-indicator 99. This program allows the environmental impacts of a system to be analyzed.

**Figure 1:** A concept framework for calculative EBM-efficiency



**Environmental benchmarking value**

Successful environmental benchmarking requires the proper choice of environmental parameters (Lee and Park, 2005). The examples of environmental benchmarking parameters of some well known companies are shown in Table 1. Once the environmental benchmarking parameters related to the selected products are chosen, the actual data of the target products including competitors products have to be collected. Secondly, improvement ratios of modified actual data are calculated by normalization based on a value function. A value function model is a function  $f$  that assigns higher numbers to preferred sets of the product quality. That is,  $f(a) > f(a')$  if and only if  $a$  is preferred to  $a'$  by the consumer whose evaluation is of interest (Park *et al*, 2007). Then, the normalization value is applied by Equation (2).

$$Y_n = f(a) \tag{2}$$

where,  $Y_n$  is the normalized value,  $f$  is the value function,  $a$  is the actual data value

**Table 1:** Environmental benchmarking parameters (Lee and Park, 2005)

Company	Environmental benchmarking parameters
IBM	Material recover, energy efficiency, packaging, source reduction, hazardous substance
Sony	Energy consumption, water consumption, packaging, hazardous substance, waste generation
Toshiba	Electricity consumption, weight, recyclability, packaging
Siemens	Hazardous substances, raw material and energy consumption, waste minimization
Philips	Weight, hazardous substances, energy consumption, recycling and disposal, packaging

Next, normalization values are multiplied by the weighting factor of quality characteristics derived from the environmental quality function deployment (EQFD) and the environmental benchmarking value is calculated by their sum. The EQFD is one of the methods for product planning and is widely used in the manufacturing industry for specifying the target of the quality aspect in the design process based on consumer requirements (Kobayashi, 2005). It combines the consumer requirements and the environmental parameters of a product. Then, the relationship between consumer requirements and environmental parameters are linked. Finally, the relative importance or weighting

factor of parameters is calculated by dividing by the sum of importance of parameters, shown in Equation (3).

$$W = \frac{\sum(c \times r_i)}{\sum \sum(c \times r_i)} \quad (3)$$

where, w is a weighting factor, c is the importance of consumer requirements,  $r_i$  is the relationship values

### Case study

The application of the proposed method was evaluated using an electric iron. Four electric irons that received Thai Industrial Standards (TIS) certification were chosen for this case study. The chosen products were sold in a discount store in Thailand in the year 2007. The environmental benchmarking parameters were set up, as shown in Table 2.

**Table 2:** Environmental benchmarking parameters of four electric irons

EBM parameters	Iron 1	Iron 2	Iron 3	Iron 4
Weight (g)	732	611	1471	597
Volume (cm <sup>3</sup> )	4025	3887	3919	3079
Packaging weight (g)	139	131	116	107
Distribution from manufacturing to end user (km)	1455	2894	100	2894
Energy consumption at use stage (W)	1200	1500	1000	1000
Time for disassembly (minute)	25	35	50	15
Number of joints (piece)	9	18	13	14
Number of main types of material (piece)	8	8	9	8
Rate of recycle (%)	88	76	81	82
Number of material marking (piece)	5	6	0	3

### Results and Discussion

Eco-indicator 99 result: Eco-indicator 99 scores are based on an impact assessment methodology that transforms the data of the inventory table into three comprehensive damage scores: human health, ecosystem quality and resources (Gutierrez *et al*, 2007). The materials used and energy consumption were calculated to determine the environmental impacts. This method is the simplest way for SMEs practitioners. The results considering the impact categories of the Eco-indicator 99 are presented in Table 3. As shown in Table 3, the environmental impact of Iron 2 is the highest and that of Iron 4 is the lowest. This is because Iron 2 has a higher energy consumption at the usage stage than the other irons. If considering only the material used, and not counting the energy consumption at the usage stage, the environmental impact of Iron 3 is the highest and that of Iron 2 is the lowest.

**Table 3:** Environmental impact of considered products

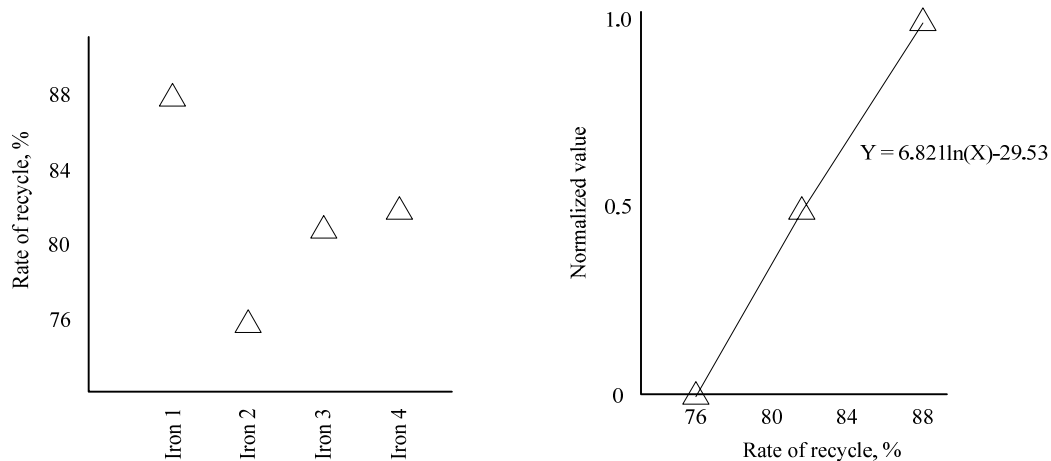
Product	Human health	Ecosystem quality	Resources	Total
Iron 1	11.905	2.097	4.124	18.126
Iron 2	14.875	2.612	4.996	22.483
Iron 3	10.103	1.760	3.782	15.645
Iron 4	10.077	1.740	3.432	15.249

### Environmental benchmarking value

Of ten environmental benchmarking parameters, product weight, volume, distribution, energy consumption, time for disassembly and number of joints are negative parameters, more value is less preferable. However, the rate of recycle and number of eco-marking are positive parameters, more value is more preferable. The range and units of each parameter shown in Table 2 are different.

Therefore, the normalization using linear or non-linear value function depending on the number of competitors was applied. In general, the normalization results will improve as the number of competitors increases. For example, the rate of recycle was investigated and shown in Figure 2. The numbers of the rate of recycle 76, 81.75 and 88 were identified as the minimum, average and maximum values, respectively. The identified minimum, average and maximum values correspond to the normalized scores 0, 0.5 and 1, respectively. Then a value function of the rate of recycle was calculated as  $Y = 6.82\ln(X)-29.53$ . In this formula,  $X$  is the rate of recycle and  $Y$  is the normalized value.

**Figure 2:** Normalized value



By using value functions, the actual values of the product were normalized as shown in Table 4. If the actual value of a chosen product has a low position in the market, the normalization value of it is lower than that of the competitors. The relative important consumer requirements were surveyed. Then the EQFD was performed in order to calculate the weighting factors. The weighting factor of the rate of recycle was the highest, 0.24, followed by energy consumption at usage stage, 0.11 and so on. Next, the environmental benchmarking values were calculated by using Equation (3). The results show that Iron 4 had the highest environmental benchmarking value. On the other hand, Iron 3 had the lowest environmental benchmarking value, as shown in Figure 3. These environmental benchmarking values show which important consumer requirements of the product should be reconsidered in order to improve product values.

### EBM-efficiency

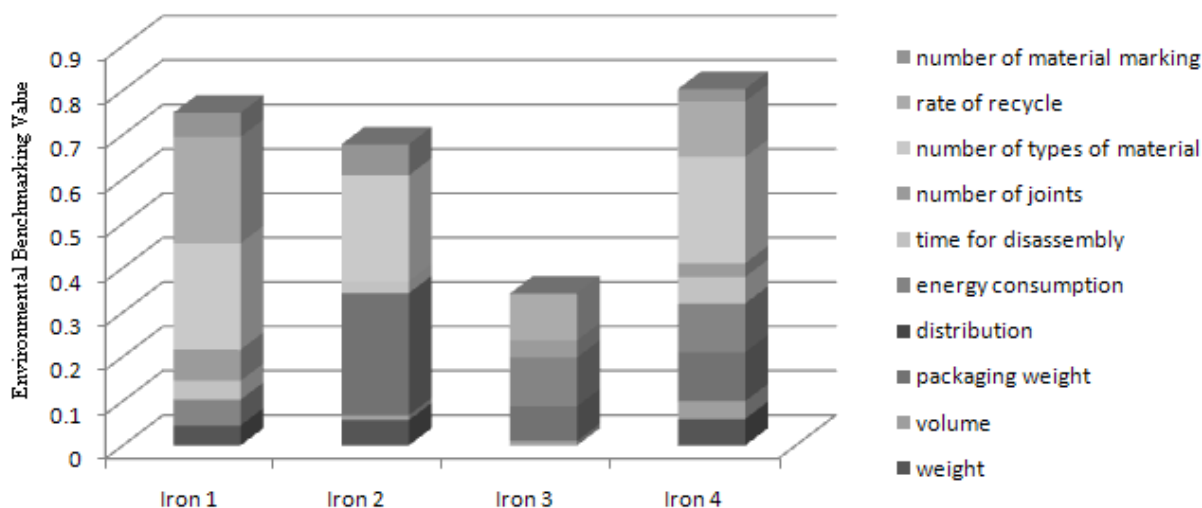
By using the calculated of environmental benchmarking values in Figure 3 and the Eco-indicator 99 results in Table 3, the EBM-efficiency was presented in Figure 4. As illustrated in Figure 4, Iron 4 had the highest EBM-efficiency value, 0.26, followed by Iron 1, 0.20. Although all of these electric irons received TIS certification, their efficiency values were different. For instance, Iron 4 was 2.6 times higher than that of Iron 3. The result of environmental benchmarking value makes it possible to identify weaknesses in a selected product in terms of environmental parameters. The way to increase efficiency is to reduce the environmental impact of the product or to increase the environmental benchmarking value. In Iron 3, for example, the time for the disassembly parameter has to be changed from 50 to 30 by using eco-design in order to increase the environmental benchmarking value. Then, EBM-efficiency of the new model was calculated. As shown in Figure 5, the EBM-efficiency of the new model is about 5 % greater than that of the old one. Moreover, if the company designs to increase energy consumption at the usage stage, the reduction of electricity consumption in the usage stage contributes not only to the improvement of the environmental benchmarking values but also to a

reduction of the environmental impact. Therefore, this efficiency can help companies to develop their eco-products.

**Table 4:** Normalized value of electric irons

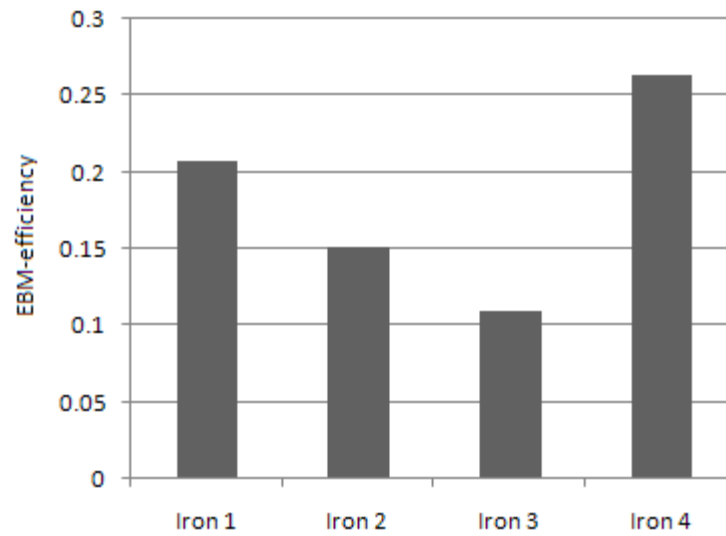
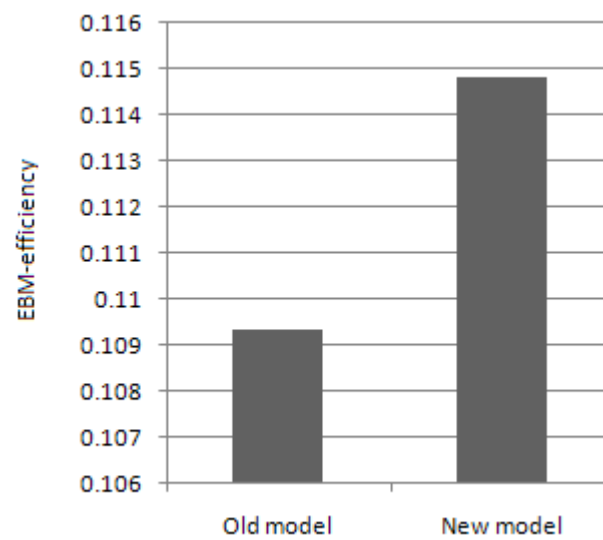
Normalized value	Iron 1	Iron 2	Iron 3	Iron 4
Weight	0.75	0.95	0	1
Volume	0	0.28	0.25	1
Packaging weight	0	0.25	0.71	1
Distribution	0.60	0	1	0
Energy consumption at use stage	0.53	0	1	1
Time for disassembly	0.71	0.43	0	1
Number of joints	1	0	0.55	0.44
Number of types of material	1	1	0	1
Rate of recycle	1	0	0.44	0.52
Number of material marking	0.77	1	0	0.40

**Figure 3:** Environmental benchmarking value



**Conclusions**

In this paper, an integrated method for quantifying efficiency by using EBM and LCA is proposed. Because of SMEs lack of relevant information, limited experience, lack of resources to build network (Cote *et al*, 2006). and so on, this method can be imply applied by them. Based on this method, the confusion of quantifying EMB can be solved. The environmental benchmarking value is useful for companies to compare their parameters with their competitors. In addition, it is possible to design a product that is environmentally friendly in terms of EBM. Then, EBM-efficiency has been introduced to evaluate the effectiveness of products.

**Figure 4:** EBM-efficiency of electric irons**Figure 5:** Comparison EBM-efficiency of old and new model

## References

- [1] Burritt, R.L. and Saka, C., (2006). Environmental management accounting applications and eco-efficiency: case studies from Japan, *Journal of Cleaner Production*, 14, 1262-12.
- [2] Cote, R., Booth, A. and Louis, B., (2006). Eco-efficiency and SMEs in Nova Scotia, Canada, *Journal of Cleaner Production*, 14, 542-550.
- [3] EuP Directive, (2005). Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council of 6 July, 2005.
- [4] Gutierrez, Y.B., Diaz, B.A. and Lozano, S.,(2007). Eco-efficiency of electric and electronic appliances: a data envelopment analysis (DEA), *Journal of Environment Model Assessment*, Springer.
- [5] ISO, (2006). International Standard 14040:2006; Environment management-Life Cycle Assessment-Principles and framework.
- [6] Kobayashi, Y., Kobayashi, H., Hongu, A. and Sanehira, K., (2005). A practical method for quantifying eco-efficiency using eco-design support tools, *Journal of industry ecology*, 9 (4), 131- 144.
- [7] Lee, K.M. and Park, P.J., (2005). Ecodesign best practice of ISO/TR 14062, Committee on trade and investment, APEC.
- [8] Marco, R., Mandorli, F. and Fermani, M., (2006). LCA as eco-design tool to support the development of injection moulded products, 13<sup>th</sup> CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Proceedings LCE2006, 645-650.
- [9] Michelsen, O., Fet, A.M. and Dahlsrud, A., (2006). Eco-efficiency in extended supply chains: A case study of furniture production, *Journal of Environmental Management* 79, 290-297.
- [10] Park, P.J., Tahara, K. and Inaba, A., (2007). Product quality-based eco-efficiency applied to digital cameras, *Journal of environmental management*, 83, 158-170.



## **Effect of Soil Slope and Cover on Runoff and Rate Soil Loss from Experimental Plots in Area of Attecoube**

**Brou Etienne N Dri**

*Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT)  
UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières  
Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire; 22 B.P. 582 Abidjan 22  
E-mail: ndri\_etienne@yahoo.fr*

**Yao Alexis N'go**

*UFR-SGE, Université Abobo Adjamé, Abidjan, Côte d'Ivoire  
E-mail: nyaoalexis@yahoo.fr*

**Kadio Hilaire Niamke**

*Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT)  
UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières  
Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire  
E-mail: hniamkeh@yahoo.fr*

**Adama Ouattara**

*Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT)  
UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières  
Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire  
E-mail: fortadams@yahoo.com*

**Baba Toure**

*IGT-CURAT, Université de Cocody, Abidjan Côte d'Ivoire  
E-mail: tgeo76@yahoo.fr*

**Jean Biemi**

*UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières  
Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire. 22 B.P. 582 Abidjan 22  
E-mail: jbiemi@yahoo.fr*

### **Abstrat**

Measurements of rates of soil loss and runoff on experimental plots (10m x 5 m) were made to quantify the impact of soil erosion in an urban setting but also to determine the relationships between these variables and both soil slope and soil cover under natural rainfall conditions. The study site is Attecoube, a densely populated section of Abidjan, the capital city of Cote d'Ivoire. Two soil cover classes (bare soil and 30%) reflect the variations in land uses which range from agricultural to bare soil whereas the four slope levels (1%, 5%, 17%, and 60%) account for the topographic variation in the study area. Total annual soil loss was estimated at about 75 t/ha, which indicates the gravity of erosion in the study area and its potential effect on sewage system. Besides, a logarithmic

relationship exists between either soil loss rate or runoff and soil slope. The effect of plant cover in curtailing soil loss indicates that any disturbance or human activity that leads to a bare soil must be proscribed particularly during the rainy season.

**Keywords:** Experimental plots, Erosion, Soil loss, Runoff, Attecoube, Soil slope, Plant cover.

## Introduction

L'érosion hydrique est l'un des processus les plus actifs de la dynamique actuelle des couvertures pédologiques. Elle a souvent été présentée comme un danger majeur pour les sols car elle décape les horizons superficiels jusqu'à la roche (Roose, 1993). De nombreuses études fournissant des informations sur celle-ci ont été publiées (Roose et Rieffel, 1964; Roose et Chéroux, 1965; Lal, 1975; Roose, 1975, 1980, 1993, 1996; Le Bissonnais et Le Souder, 1995). En Côte d'Ivoire, divers aspects de l'érosion ont été étudiés. Ces études sont préférentiellement orientées vers les zones de cultures et de forêt dense, le cas urbain étant marginalisé. Nous voudrions appliquer ce genre d'études à une zone urbaine, la commune d'Attécoubé, vulnérable à l'érosion hydrique du fait de la densité de la population, des types d'occupation et de la nature du sol ainsi que la morphologie instable. Une mesure de l'érosion hydrique, l'étude de la relation entre l'érosion hydrique et les facteurs qui la provoquent ainsi que l'établissement de corrélations entre les données chiffrées seraient d'un apport ingénieux pour davantage de compréhensions de ce phénomène dans la zone d'étude. Les paramètres retenus dans cette étude sont la pente et le couvert végétal qui sont deux paramètres extrinsèques au sol de l'érosion hydrique sur lesquels les activités humaines peuvent avoir une influence (Le Bissonnais et *al.*, 2002). Il s'agira de mesurer de façon expérimentale le ruissellement et l'érosion, pour ensuite établir leur relation avec la pente et le couvert végétal.

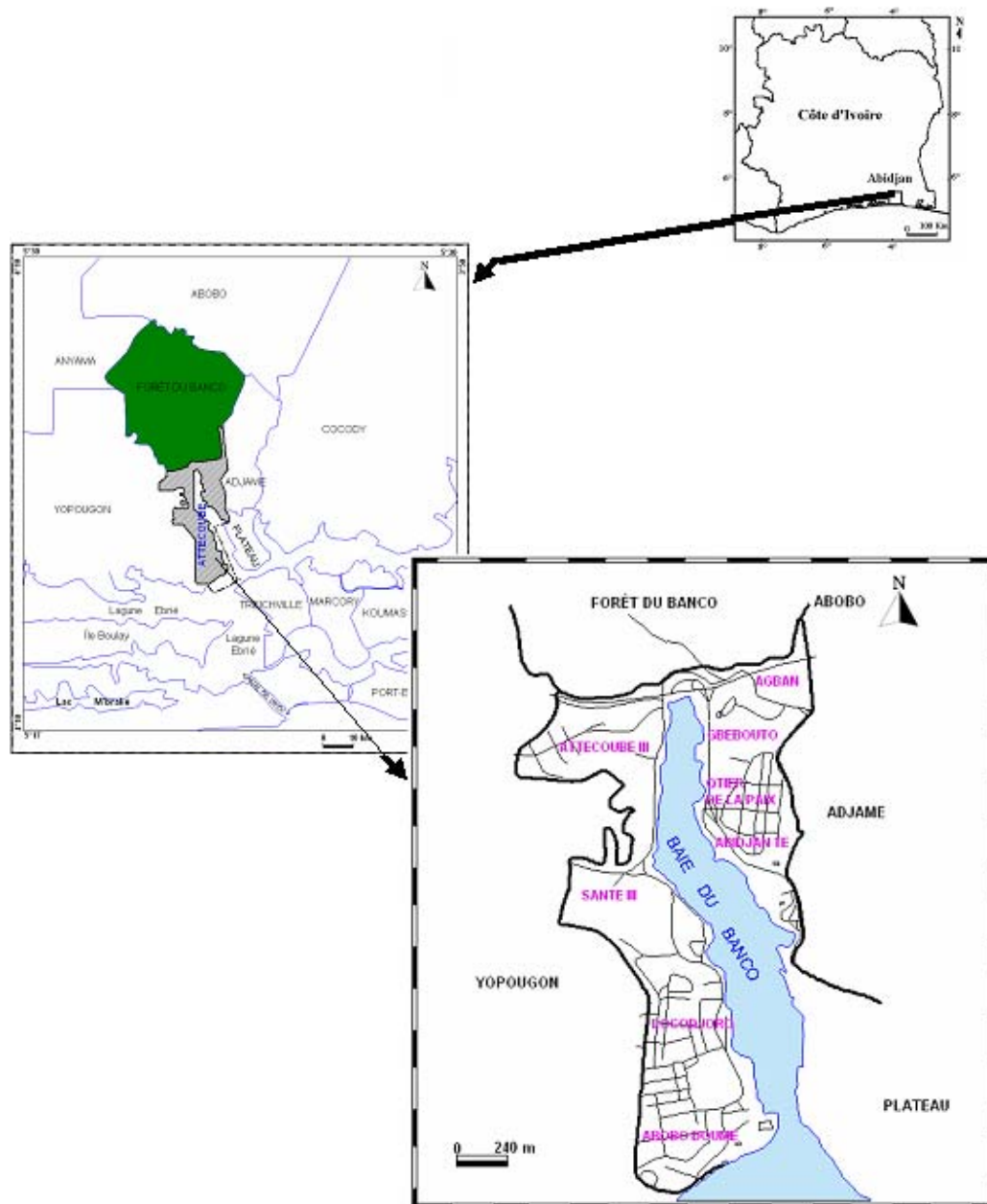
## Présentation du Milieu D'étude

La commune d'Attécoubé est une commune de l'agglomération d'Abidjan, qui fait partie du bassin sédimentaire côtier de la Côte d'Ivoire. Entité centrale de la grande ville d'Abidjan, Attécoubé est limitée au nord par la commune d'Abobo, au sud par la lagune Ebrié, à l'est par les communes d'Adjamé et de Plateau et à l'ouest par l'immense commune de Yopougon (**figure 1**). Cette commune s'étend sur une superficie de 70 km<sup>2</sup>, soit 11,2% de la ville d'Abidjan. Avec ses 300.000 habitants (RGPH 98), la commune d'Attécoubé, d'une densité moyenne de 12.000 habitants /km<sup>2</sup>, représente le secteur le plus peuplé après Adjamé, évalué à 16.000 habitants / km<sup>2</sup> (BNETD, 1992).

Le couvert végétal est composé par des Poaceae (*Rottboellia Cochinsinensis* et *Panicum Maximum*) et des cultures urbaines telles que le maïs, le manioc, la patate et l'arachide.

L'environnement géopédologique est constitué de formations sédimentaires de nature sablo-argileuse, alimentées par des matériaux détritiques essentiellement arrachés au socle (Roose et Chéroux, 1965). Le relief est constitué de hauts plateaux, ne dépassant guère 130 mètres (Tapsoba, 1995), et de vallées profondes. Les pentes sont abruptes et très fortes, surtout à proximité des versants et talwegs où elles atteignent les 80 %.

La pluviométrie annuelle est de l'ordre de 2000 mm, avec deux saisons sèches centrées sur août et janvier, alternant avec deux saisons humides centrées sur octobre et juin. On note de très fortes variations de répartitions des pluies dans l'année et du total annuel.

**Figure 1:** Localisation de la zone d'étude

Source: BNETD / CCT, 1988

## Materiel et Methode

### Parcelle expérimentale

La parcelle expérimentale utilisée pour mesurer le ruissellement et l'érosion est composée de deux parties (Roose, 1980). Une partie constituée du champ expérimental, en forme d'un parallélogramme, fonctionnant comme un véritable bassin hydrologique et une autre partie, constituée par un système récepteur situé en aval. Ce dernier de  $1000 \text{ dm}^3$ , collecte et permet d'évaluer le volume d'eau et la quantité de terre issus du champ après chaque pluie. Le champ expérimental est délimité par une

rangée de briques, enfoncées d'une demi-dizaine de centimètres dans le sol. Cette disposition isole le champ expérimental et le protège contre toute contamination, c'est-à-dire empêche tout apport extérieur. La parcelle présente une superficie de cinquante (50) m<sup>2</sup> pour une longueur de dix (10) mètres. La parcelle est reliée par un tuyau PVC, de diamètre 120 mm et de longueur un (1) mètre, au système récepteur. C'est ce tuyau qui permet le drainage des eaux ruisselées et les particules de terre détachées dans la cuve de réception.

Chaque champ expérimental est représentatif d'une condition bien définie du milieu naturel étudié: association d'un degré de pente, d'une nature de sol et d'un état de surface (couverture végétale). Cet environnement soumis à l'action agressive de la pluie (impact des gouttes de pluie et le ruissellement) pendant le même temps subit l'érosion du moment.

### Dispositif expérimental

Le dispositif de mesure est constitué de huit parcelles de mesure uniformément réparties sur la zone d'étude. Les parcelles sont orientées dans le sens de la pente présentent des caractéristiques (**tableau I**) selon les objectifs de l'étude.

**Tableau I:** Caractéristiques des sites d'implantation des parcelles

Dispositif	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6	N°7	N°8
Coordonnées Géographiques (x,y) en mètres	385610 589830	383980 590420	384860 587620	384900 586390	385640 590260	383960 591860	384360 589440	384840 591810
Pente	1%	1%	5%	5%	17%	17%	60%	60%
Couverture	Sol nu	Maïs + manioc + Herbacées	Sol nu	Maïs + Herbacées	Sol nu	Maïs + arachide	Sol nu	Herbacées
Taux de couverture	0	30%	0	30%	0	30%	0	30%

### Méthodes de mesure

Les méthodes de mesure utilisées sont les méthodes volumétriques (Gregory et Walling, 1973 et De Ploey et Gabriels, 1980) qui permettent de dresser un bilan global du ruissellement et des pertes en terre à la fin d'un ou d'une série d'événements pluvieux naturels. Les volumes ruisselés ainsi que les particules solides transportées sont recueillis dans le récepteur situé en aval du champ.

### Mesures au champ

#### Ruissellement

Les volumes sont évalués sur le terrain après chaque épisode pluvieux, à l'aide d'une éprouvette graduée d'un litre et d'un seau gradué de quatre litres pour les gros volumes.

#### Charges solides

Les particules solides sédimentées saturées d'eau sont pesées à l'aide d'une balance de précision de 0,02 gramme. Elles sont ensuite convoyées au laboratoire pour poursuivre les mesures.

### Mesures au laboratoire

Les échantillons prélevés sur le terrain et convoyés au laboratoire sont mis au séchage à 110° dans une étuve pendant 30 heures, puis pesés sur une balance électronique de précision de 0,01 gramme. Cette seconde mesure des données permet enfin d'évaluer le taux de ruissellement et l'érosion.

Les méthodes volumétriques permettent ainsi d'obtenir des valeurs globales fiables sur le ruissellement et sa charge solide.

## Resultats et Discussion

### Résultats

L'analyse porte sur la relation au champ entre le ruissellement et les pertes en terre et l'inclinaison des pentes et le couvert végétal. L'analyse des résultats indique que l'érosion évolue dans le même sens que le ruissellement (**figure 2**). En détail, on note les observations qui sont développées ci-dessous.

#### Sur pente faible (**figure 2a**)

Au niveau des parcelles nues, nous avons enregistré un taux de ruissellement annuel égal à 131,8 mm. Ce taux de ruissellement a provoqué un déplacement de sédiment estimé à 59 kg/ha/an. Au niveau des sols couverts (taux de couverture évalué à 30 %), on a mesuré pour le ruissellement 59,5 mm/an, déplaçant une quantité de terre de 18,6 kg/ha/an.

#### Sur pente moyenne (**figure 2b**)

Au niveau des sols nus, le ruissellement annuel recueilli est de 355,6 mm/an. Cette lame d'eau ruisselée a déplacé annuellement 187kg. Sur sol couvert pour la même inclinaison de pente (5%), le ruissellement est réduit à 211,1 mm/an et l'érosion à 96 kg/ha/an.

#### Sur pente forte (**figure 2c**)

La lame d'eau ruisselante et les pertes en terre ont encore augmenté. Au niveau des parcelles nues, on mesure un taux de ruissellement de 834,1 mm/an, représentant 54 % de la quantité totale de pluie tombée. Cette lame d'eau a occasionné une perte de terre estimée 652,2kg, soit 43 % des pertes totales en terre. Sur parcelle couverte, on mesure 716 mm/an de ruissellement, représentant 46 % des précipitations annuelles. Ce taux de ruissellement a déplacé une quantité de terre évaluée à 520,9 kg/ha/an.

#### Sur pente très forte (**figure 2d**)

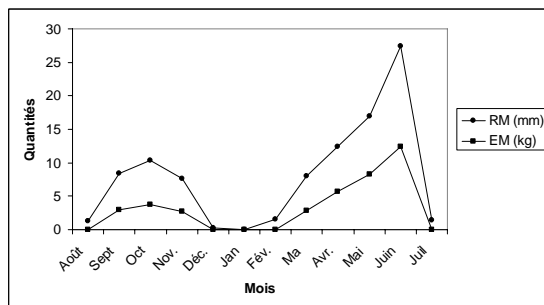
Au niveau des sols nus, on enregistre un taux de ruissellement de 1052 mm/an, représentant plus de 68 % du cumul des précipitations annuelles. La perte de terre associée à ce taux de ruissellement se chiffre à 824 kg/ha/an. Sur parcelle couverte, le taux de ruissellement est de l'ordre de 900 mm/an, équivalent à plus de 60 % des pluies tombées. La perte de terre provoquée par cette lame d'eau ayant ruisselé est de 672,2 kg/ha/an.

Au total, sur les huit parcelles expérimentales, nous avons enregistré 3017,4 kg de terres exportées pour une hauteur de ruissellement estimé à 1036 mm/an. Cette quantité de terre exportée correspond à un taux d'érosion évalué à **75,435 t/ha/an** dans la zone d'étude.

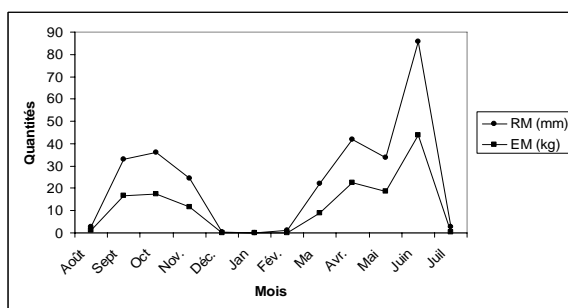
Au niveau des inclinaisons de pentes faible et moyennes (**figures 2a et 2b**), on remarque un espacement considérable entre la courbe traduisant le ruissellement et celle de l'érosion. Sur pentes forte et très forte (**figures 2a et 2b**) par contre, l'espacement entre ces deux courbes est insignifiant.

**Figure 2:** Evolution mensuelle du ruissellement et de l'érosion

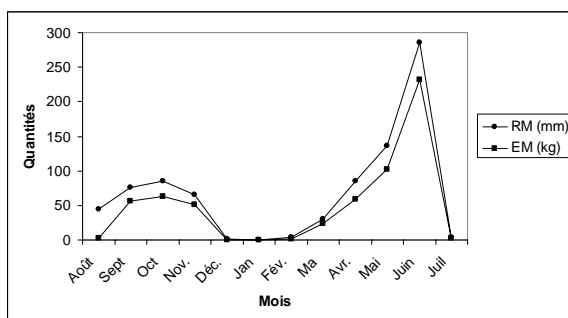
**Figure 2a:** sur pente faible, 1 %



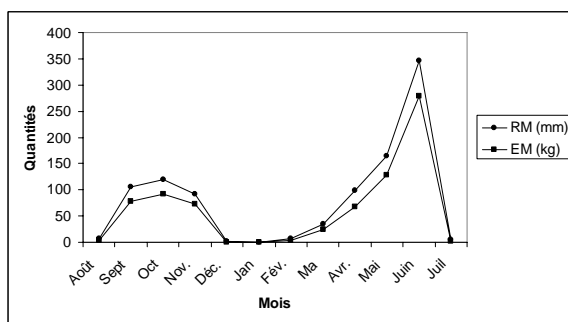
**Figure 2b:** sur pente moyenne (5 %)



**Figure 2c:** sur pente forte (17%)



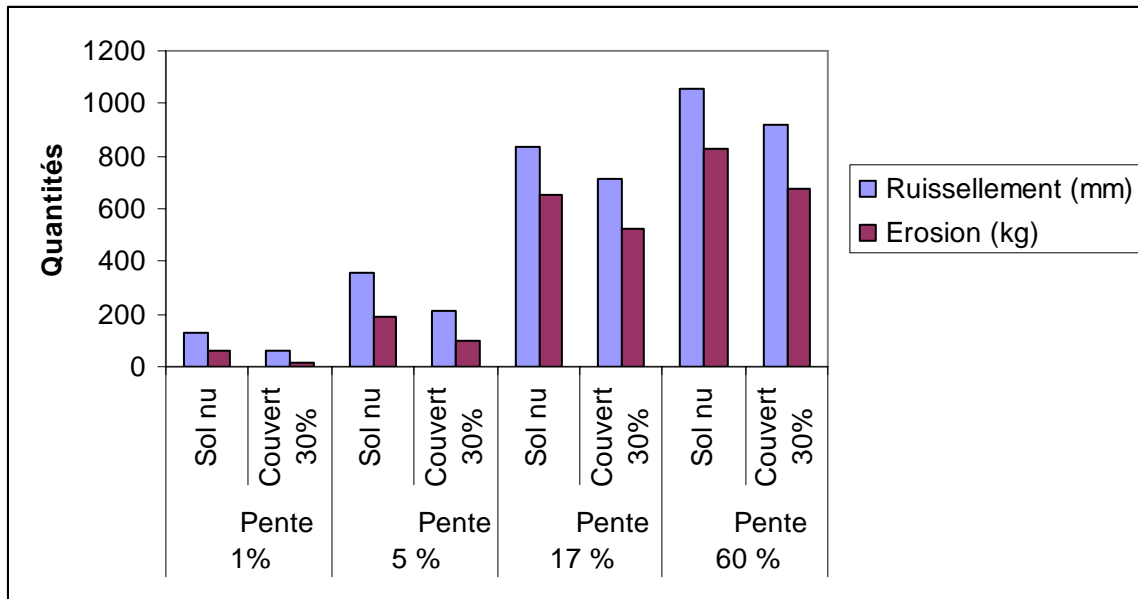
**Figure 2d:** sur pente très forte (60 %)



Le couvert végétal réduit substantiellement le ruissellement et l'érosion (**figure 3**). Les taux de réduction du ruissellement et de l'érosion dus à l'effet de la végétation varient selon les inclinaisons de pente. Sur pente faible, le couvert végétal produit une baisse de 55 % du taux de ruissellement et 68 %

des pertes en terre. Sur pente moyenne, l'action réductrice du couvert végétal est de 41 % pour le ruissellement et 49 % pour les pertes en terre. Au niveau des pentes fortes, on enregistre une baisse du ruissellement de l'ordre de 14 % et des pertes en terre de 20 %. Au niveau des pentes très fortes, l'action protectrice du couvert végétal est beaucoup plus faible. La baisse du ruissellement est seulement de l'ordre de 12 % et celle des pertes en terre est de 18 %.

**Figure 3:** Effet du couvert végétal sur le ruissellement et l'érosion



Les mesures réalisées montrent que le ruissellement et le taux d'érosion augmentent avec la pente.

### Evolution du ruissellement

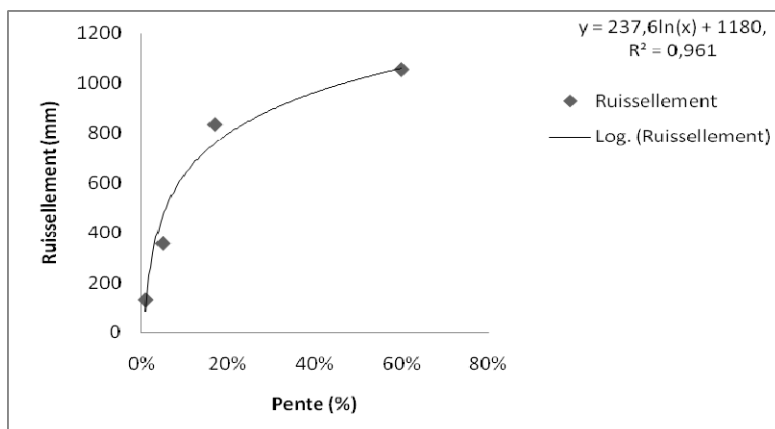
#### Sur sol nu

Le taux de ruissellement augmente significativement avec l'inclinaison de la pente. On observe deux phases distinctes dans la croissance de la courbe. Dans une première partie, le ruissellement croît rapidement avec l'augmentation de la pente, jusque vers 30 %, et dans une deuxième partie, le ruissellement semble se stabiliser quelque soit la valeur de la pente (**figure 4**). Cette relation entre le ruissellement et l'inclinaison de la pente est ajustée avec les lois mathématiques logarithmiques.

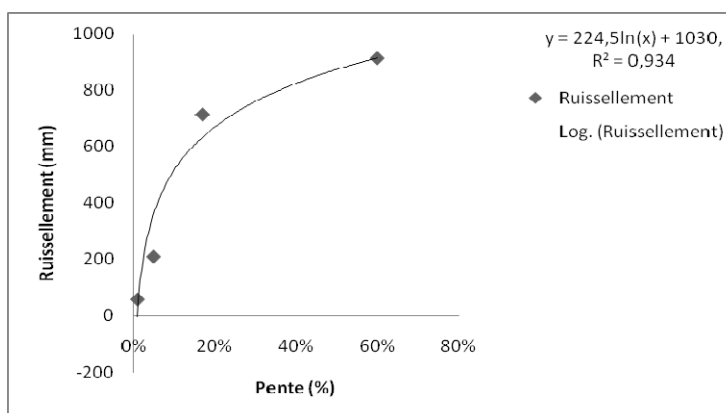
#### Sur sol couvert

Le taux de ruissellement présente la même évolution que dans le cas de sol nu, c'est-à-dire que le ruissellement augmente de façon logarithmique avec la pente. Le ruissellement présente d'abord une ascendance rapide avec la croissance de la pente jusqu'à 25 %, puis, à partir de cette valeur seuil de pente, le ruissellement croît lentement et se stabilise (**figure 5**).

**Figure 4:** Taux de ruissellement en fonction de la croissance de la pente sur sol nu



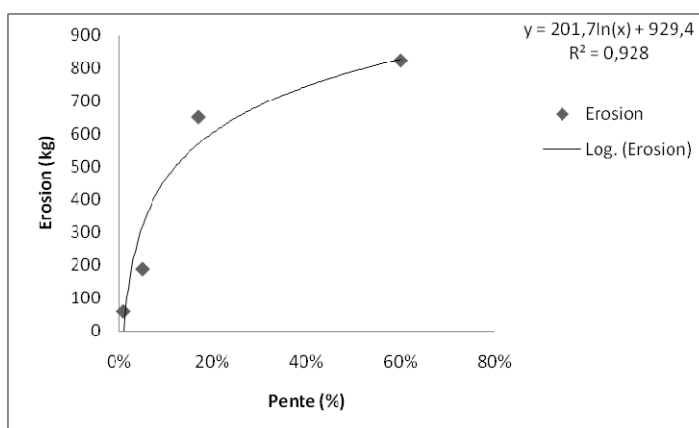
**Figure 5:** Taux de ruissellement en fonction de la croissance de la pente sur sol couvert



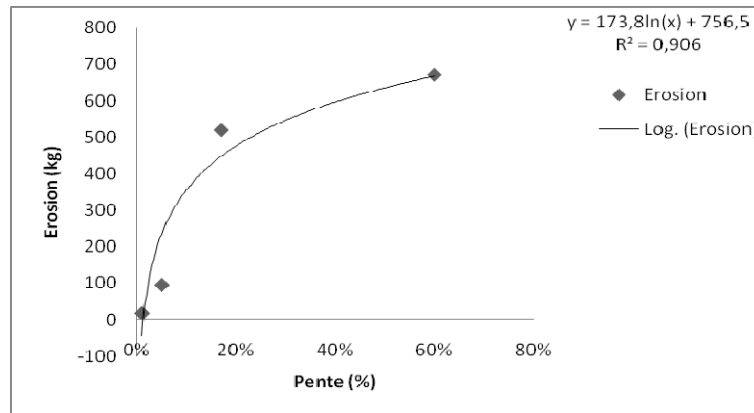
**Pertes en terre**

Les pertes en terre, comme le ruissellement s'accroissent dans l'ensemble de façon logarithmique avec l'augmentation de la pente (**figures 6 et 7**). Cette allure logarithmique traduit en fait deux phases d'évolution de l'érosion. Les pertes de terre augmentent d'abord de façon exponentielle avec la croissance de la pente jusque vers 20 % sur sol nu (**figure 6**) et 15 % sur sol couvert (**figure 7**), se stabilisent quelque soit l'inclinaison de la pente, donnant ainsi l'allure générale logarithmique.

**Figure 6:** Charges solides du ruissellement en fonction de la croissance de la pente sur sol nu

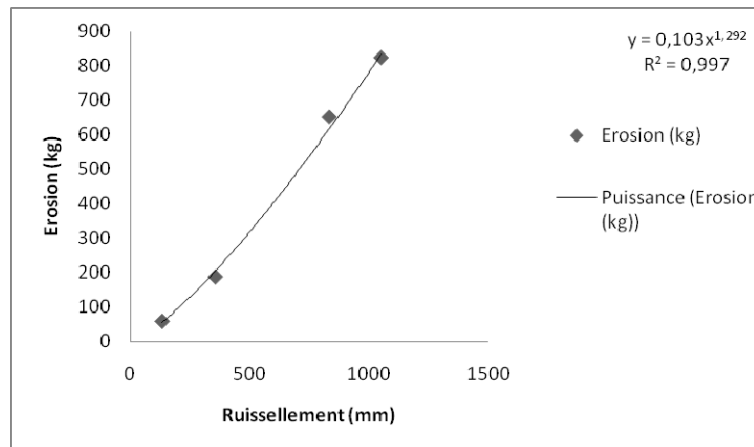
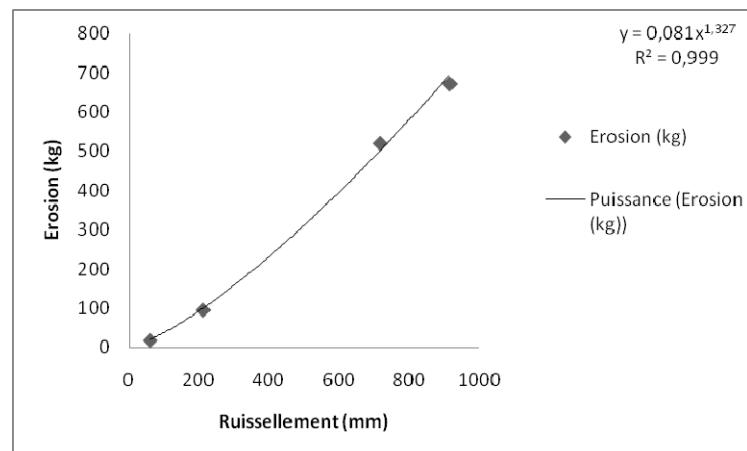




**Figure 7:** Charges solides du ruissellement en fonction de la croissance de la pente sur sol couvert

Ces résultats indiquent qu'il existe une relation entre le ruissellement et l'érosion qu'il est important et nécessaire d'élucider maintenant.

On s'aperçoit que les pertes en terre s'accroissent de façon linéaire avec l'augmentation du taux du ruissellement. Cette relation est ajustée avec les lois mathématiques de puissance (**figures 8 et 9**). Le taux d'érosion est plus fortement corrélé au ruissellement sur sol nu que sur sol couvert.

**Figure 8:** Relation entre le ruissellement et l'érosion sur sol nu**Figure 9:** Relation entre le ruissellement et l'érosion sur sol couvert

## Discussion

Le taux d'érosion au champ (75 t/ha/an) obtenu à partir des mesures effectuées sur des parcelles de 50 m<sup>2</sup>, sous pluies naturelles a révélé que le phénomène d'érosion hydrique des sols dans la zone d'étude est important et confirme le caractère préoccupant du phénomène. Cette dégradation physique du paysage peut entraver le développement économique et social de la commune d'Attécoubé. L'analyse des résultats de quantification indique que c'est surtout sur les terrains à pentes prononcées que le ruissellement et l'érosion sont abondants. Tous les types d'érosion s'y manifestent généralement; ce qui favorise par effet cumulatif les pertes importantes de terre. Pour un même type de sol et une même inclinaison de pente, le ruissellement et l'érosion sont plus importants sur sol nu que sur sol couvert. Cela confirme le rôle de la couverture végétale dans la protection du sol contre l'érosion hydrique. Sur sol nu, les mesures cumulatives au champ sont évaluées à 1723,4 kg (43 t/ha/an), soit 57% de l'ensemble des mesures, contre 1293,6 kg (32 t/ha/an), soit 43 % sur sol couvert. Le couvert végétal réduit donc l'activité érosive, et cette action réductrice ou protectrice du couvert végétal varie en fonction de la pente. Elle est de l'ordre de 68 % sur pente faible, 49 % sur pente moyenne, 20 % sur pente forte et 18 % sur pente très forte. Lorsque la pente est forte, toutes les particules arrachées par l'énergie des pluies sont violemment exportées par le ruissellement. L'état de surface du sol (couvert végétal) ne constitue plus un obstacle assez résistant pour freiner ou retenir les particules de sol, c'est pour cela qu'on y enregistre une forte érosion. Sur pente faible au contraire, l'énergie du ruissellement n'est pas suffisante pour surmonter l'obstacle que constituent d'une part les feuilles et d'autre part les racines des végétaux. Mais également, la nappe d'eau qui stagne à la surface du sol empêche l'impact des gouttes de pluie sur le sol (effet splash). C'est pourquoi l'activité érosive y est très faible.

Les mesures effectuées ont montré que le ruissellement croît de façon logarithmique avec la pente. Ce résultat est conforme à celui obtenu par Wischmeier en 1966 aux USA et Hudson en 1957 en Rhodésie (cité par Roose, 1980). Par contre, il semble être en opposition avec celui obtenu par Roose (1994) à Adiopodoumé sous culture. En effet, Roose constate que le ruissellement diminue lorsque la pente augmente. Cette diminution du ruissellement lorsque la pente augmente pourrait s'expliquer toujours selon Roose, soit par l'effet protecteur de la végétation (type d'occupation du sol: forêt dense et prairie), soit par le fait que sur pente forte, les pores sont largement ouverts et les eaux s'infiltrent plus qu'elles ne ruissellent. La surface d'absorption, donc le nombre de pores capables d'absorber l'eau augmente. Dans notre zone d'étude, ce « refus » du sol d'absorber l'eau en excès est dû d'abord à la nature sableuse de sol, ensuite à l'importance de la pente, à la fréquence et la hauteur des pluies. Dans cette augmentation du ruissellement par rapport à l'inclinaison de la pente, on observe que le ruissellement augmente d'abord rapidement avec et semble se stabiliser au-dessus d'une certaine pente. Ceci va dans le sens des observations de Hudson (1957) en Rhodésie (cité par Roose, 1980), Lal (1976) au Nigeria. Les pentes limites au-delà desquelles le ruissellement se stabilise sont fonction du taux de couverture de la surface du sol. En effet, sur parcelle nue, la pente limite est très voisine de 30 % et est de l'ordre de 25 % sur sol couvert, avec un taux de couverture estimé à 30 %. A la lumière des résultats de notre étude, les hypothèses susceptibles d'expliquer ces tendances observées seraient une baisse de la charge hydraulique à la surface du sol, une diminution de la surface d'inondation de la croûte de surface ainsi que des zones plus perméables.

En ce qui concerne l'érosion, dans la zone d'étude, elle se comporte de la même façon que le ruissellement vis-à-vis de la pente, c'est-à-dire, l'érosion augmente avec la pente. L'érosion croît d'abord rapidement avec l'inclinaison de la pente puis se stabilise à partir d'une certaine valeur de la pente, ce qui donne l'allure logarithmique de la courbe. On pourrait donc dire que la charge totale du ruissellement augmente substantiellement avec la pente. De telles relations pourraient être attribuées à la nature du sol, à la vitesse du ruissellement, aux caractéristiques des pluies, de la croûte de surface et à la topographie comme de nombreux chercheurs, Lal (1976), Roose (1994), Le Bissonnais et Le Souder (1995), Roose et De Noni (2004) l'ont déjà prouvé. Cette évolution de l'érosion est par contre différente de celle obtenue à Adiopodoumé. En effet, selon Roose (1975), des mesures sur parcelles expérimentales réalisées à Adiopodoumé ont révélé que l'érosion évolue de façon exponentielle avec la

pende. Cette différence d'évolution doit être liée aux différences d'environnement. Nous avons réalisé notre étude en milieu urbain alors que celle réalisée par Roose a eu lieu en zone agricole et de forêt.

L'état stationnaire du ruissellement et de l'érosion sur les fortes inclinaisons de pente indique que ceux-ci sont indépendants de l'angle de la pente. Ce fait pourrait aussi signifier que sur les pentes inférieures à 15 %, les interactions ruissellement, l'érosion et la croissance de la pente est importante. Mais au delà de 15 %, les interactions deviennent faibles, voire très faibles.

Par ailleurs, les mesures de terrain ont permis de se rendre compte que toutes les pluies n'érodent pas. Les pluies des mois de décembre et celles de août et mars, avril n'ont pas produit d'effet érosif. Elles correspondent à des pluies isolées (décembre) et de début de saison (mars et avril), où les pluies tombent sur un sol sec avec une infiltration importante (pluies d'imbibition), l'emportant sur le ruissellement. C'est pourquoi le ruissellement abondant et les plus forts taux d'érosion sont enregistrés aux mois de juin et octobre caractérisés par des pluies régulières où entre les pluies il n'y a pas de ressuyage suffisant et même une petite pluie produit un ruissellement généralisé. Ce résultat est conforme à ceux obtenus par Fournier (1967), aux USA qui montre que l'humidité préalable du sol accentue le ruissellement et l'érosion.

Les études de corrélation entre le ruissellement et l'érosion ont montré que l'érosion est fonction du ruissellement qui lui est fortement influencé par la pente. Ces résultats sont en phase avec ceux de Fournier (1960) en Afrique et Roose (1994) à Adiopodoumé qui montrent que la pente conditionne intensément l'érosion hydrique. La quantité de terre exportée est généralement corrélée au volume d'eau ruisselé et surtout à l'abondance du ruissellement.

## **Conclusion**

Les résultats obtenus au cours de cette étude permettent d'affirmer que la commune d'Attécoubé est vulnérable à une érosion hydrique intense (75t/ha/an). Cette étude a également permis de mieux cerner la relation pouvant exister entre les pertes en terre et l'inclinaison de la pente. Elles croissent de façon logarithmique avec la pente. Quant à la végétation, elle protège très partiellement le sol contre l'érosion hydrique.

## References

- [1] **BNETD, 1992.** Quartiers précaires d'habitats à Abidjan. Atelier d'urbanisme d'Abidjan; pp. 3-87.
- [2] **CERDAN O., 2001.** Analyse et modélisation du transfert de particules solides à l'échelle de petits bassins versants cultivés. Thèse de doctorat de l'Université d'Orléans, Sciences de l'Univers. 186 p.
- [3] **DE PLOEY J. and GABRIELS D., 1980.** Measuring soil loss and experimental studies. In: Kirkby M.J. and Morgan RPC (Editors), Soil erosion, 63-108.
- [4] **FOURNIER F., 1960.** Climat et Erosion: La relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. Paris: Presses universitaires de France, 201 p.
- [5] **FOURNIER F., 1967.** Les facteurs de l'érosion du sol par l'eau: les recherches sur la conservation du sol en Afrique et Madagascar. Sols africains, vol. XII, n° 1, janvier - avril 1967, pp. 6-51.
- [6] **GREGORY K.J. and WALLING D.E., 1973.** Drainage basin form and process. In: Kirby M.J. (Editor), Soil erosion.
- [7] **LAL R., 1976.** Soil erosion of Alfisols in western Nigeria. I. Effects of slopes, crop rotation and residue management. Geoderma, 16: pp. 363-375.
- [8] **LE BISSONNAIS Y. ET LE SOUDER C., 1995.** Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion. Etude et Gestion des sols, volume 2, n°1, pp. 43-56.
- [9] **LE BISSONNAIS Y., THORETTE J., BARDET C., ET DAROUSSIN J., 2002.** L'érosion hydrique des sols en France. Rapport d'activités. Institut Français de l'Environnement, Institut National de la Recherche Agronomique, 106 p.
- [10] **MAYER L., 1995.** Hillslopes: Introduction to quantitative geomorphology – NY, pp. 227- 252.
- [11] **ROOSE E. ET DE NONI G., 2004.** Recherches sur l'érosion hydrique en Afrique: Revue et perspectives. Note de recherche, Sécheresse n°1, vol. 15, mars 2004. pp. 121 – 129.
- [12] **ROOSE E. J., 1975.** Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. O.R.S.T.O.M. Adiopodoumé, 65 p.
- [13] **ROOSE E.J., 1980.** Dynamique actuelle d'un sol ferrallitique sablo-argileux très désaturé sous cultures et sous forêt dense humide sub-équatoriale du Sud de la Côte d'Ivoire: Adiopodoumé: 1964-1975, 204 p.
- [14] **ROOSE E.J., 1993.** Innovation dans la conservation et la restauration des sols. *Cah. Orstom, série Pédol., vol. XXVIII, n° 2: pp 147 – 155.*
- [15] **ROOSE E.J., 1994.** Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols. Bulletin pédologique de la FAO 70, archives de documents de la FAO, département de l'Agriculture, 278p.
- [16] **ROOSE E. J. ET CHEROUX M., 1965.** Les sols du Bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire. ORSTOM Adiopodoumé. 1 carte pédo. A 1/200.000, 42p.
- [17] **TAPSOBA A. S., 1995.** Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région de Dabou (Sud de la Côte d'Ivoire): Hydrochimie, isotopie et indice cationique de vieillissement des eaux souterraines. Thèse de doctorat de 3<sup>ème</sup> cycle, Université nationale de Côte d'Ivoire; 200 p.

# **Diagnostic D'une Contamination Par les Éléments Traces Métalliques de L'épinard (*Spinacia Oleracea*) Cultivé Sur des Sols Maraîchers de la Ville D'abidjan (Côte D'ivoire) Amendés Avec de la Fiente de Volaille**

**Kouassi Joseph Kouakou**

*Université d'Abobo-Adjamé*

*Laboratoire de Chimie Bio-Organique et de Substances Naturelles*

*02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire*

E-mail: [ecologue12@yahoo.fr](mailto:ecologue12@yahoo.fr)

**Yves-Alain Bekro**

*Université d'Abobo-Adjamé*

*Laboratoire de Chimie Bio-Organique et de Substances Naturelles*

*02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire*

**Ahoua Edmond Sika**

*Université d'Abobo-Adjamé*

*Laboratoire des Sciences de l'Environnement*

*02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire*

**Denis Baize**

*INRA Science du Sol, BP 20619*

*45166 Olivet cedex, France*

**Denezon Odette Dogbo**

*Université d'Abobo-Adjamé*

*Laboratoire de Biologie et Amélioration des Productions Végétales*

*02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire*

**Moussa Bounakhla**

*Laboratoire d'Analyses Élémentaires, Centre National de l'Energie*

*des Sciences et des, Techniques Nucléaires*

*BP 1382 R.P. 10001 Rabat, Maroc*

**Fatiha Zahry**

*Laboratoire d'Analyses Élémentaires, Centre National de l'Energie*

*des Sciences et des, Techniques Nucléaires*

*BP 1382 R.P. 10001 Rabat, Maroc*

**Peggy Macaigne**

*Département de génie civile, Université Laval-Faculté des Sciences et de Génie*

*G1K7P4 Québec, Canada*

### Abstract

L'objectif principal de ce travail est d'évaluer le niveau de contamination par Cd, Cu, Pb, Zn et Ni les feuilles de l'épinard (*Spinacia oleracea*) cultivé sur des sols maraîchers de la ville d'Abidjan amendés avec de la fiente de volaille. Les horizons de surface des sols de Marcory, de Cocody et ceux du site témoin sont sableux et acides avec des pH moyens variant de  $5,2 \pm 0,29$  à  $6,6 \pm 0,67$ . Le pH, la teneur en matière organique et la capacité d'échange cationique ont augmenté dans les sols maraîchers suite à l'apport de la fiente de volaille. Les teneurs en Cd à Cocody et dans le témoin sont proches de la valeur préconisée. Il en est de même pour Cu à Marcory. Cocody et le témoin sont plus pollués en Pb que Marcory. Des teneurs importantes de Ni ont été également obtenues dans ces deux sites avec des moyennes de  $405,4 \pm 497$  mg/kg et  $261,4 \pm 235$  mg/kg respectivement dans le témoin et à Cocody. La fiente de volaille épandue est une source d'enrichissement des sols maraîchers en Cu, Zn et Ni. Les faibles teneurs de certains métaux traces dans les horizons de surface pourraient être attribuées à leur migration vers les horizons de profondeur ou à leur perte due au lessivage. La rétention des métaux traces par la fraction sableuse des sols et les oxyhydroxydes de Fe et de Mn explique leur faible phytodisponibilité. La matière organique contribue également à la réduction de cette phytodisponibilité des métaux traces dans les sols maraîchers en les immobilisant. Parmi les cinq métaux traces dosés dans les feuilles d'épinard, seules les teneurs de Pb, Zn et Ni sont supérieures aux normes recommandées et constitueraient un danger pour les consommateurs.

**Keywords:** Contamination, éléments traces métalliques, épinard, sols maraîchers d'Abidjan amendés, fiente de volaille, sols acides, phytodisponibilité, consommateurs

### Introduction

L'agriculture urbaine est devenue à travers le monde entier et spécifiquement dans les pays en développement l'une des activités nécessaires pour assurer la sécurité alimentaire des citadins et procurer des ressources financières aux sans emplois des villes. Mougeot (2006) rapporte qu'entre 2015 et 2020, plus de la moitié de la population mondiale vivra en zone urbaine ou péri-urbaine. Le rôle de l'agriculture urbaine se justifie pleinement au regard de cette explosion démographique à échelle mondiale. Son apport à la production alimentaire au niveau mondial qui se situait à 15 % en 1993 peut avoir dépassé 33 % à partir de l'année 2005. Une étude du Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) a révélé que cette activité se pratique dans au moins 90 villes de 31 pays de l'Asie du Sud-Est, du Moyen-Orient, d'Europe, d'Afrique Subsaharienne, d'Amérique du Sud, du Centre, du Nord et des Antilles (Smit et al., 1996). Par ailleurs, 800 millions de personnes pratiquent cette activité à l'échelle mondiale (Koc et al., 2006). Cependant, cette pratique comporte des dangers pour la santé humaine (OMS, 1989) car exposée à diverses sources de pollutions. Pour cela, sa vulgarisation fait l'objet de larges controverses en matière de sécurité alimentaire.

La Côte d'Ivoire, à l'instar de nombreux pays africains, a connu ces dernières années un développement de l'agriculture urbaine. Dans la ville d'Abidjan, la production maraîchère et plus précisément celles des légumes-feuilles a pris une part importante dans cette activité. Elle contribue à l'approvisionnement des marchés des dix communes de la ville en produits frais. Les sols maraîchers sont amendés avec de la fiente de volaille qui, à l'instar de nombreux déchets utilisés en agriculture, renferme des matières organiques et des éléments minéraux qui sont susceptibles de constituer un apport intéressant pour les sols de culture (Legret et al., 1988). Mais la présence d'éléments traces dans la fiente représente une contrainte majeure à son utilisation en agriculture car ces éléments peuvent être

apportés sous des formes labiles et potentiellement biodisponibles (Legret, 1984). Leur teneur peut dépasser, du fait de l'accroissement de l'absorption par les végétaux, des teneurs prohibitives pour la santé humaine (Henin, 1983). Les conditions de production des légumes-feuilles sur les sols maraîchers de la ville d'Abidjan ne garantissent donc pas leur qualité sanitaire.

La présente étude est une contribution à l'étude de la salubrité de ces produits maraîchers de la ville d'Abidjan. Elle s'est proposé d'évaluer les teneurs en Cd, Cu, Pb, Zn et en Ni dans la fiente de volaille, dans les horizons de surface des sols maraîchers et dans les feuilles de l'épinard (*Spinacia oleracea*) cultivé sur ces sols. L'épinard est l'une des espèces les plus cultivées et considéré comme accumulateur de métaux traces (Juste et *al.*, 1995; Khader et Rama, 1998).

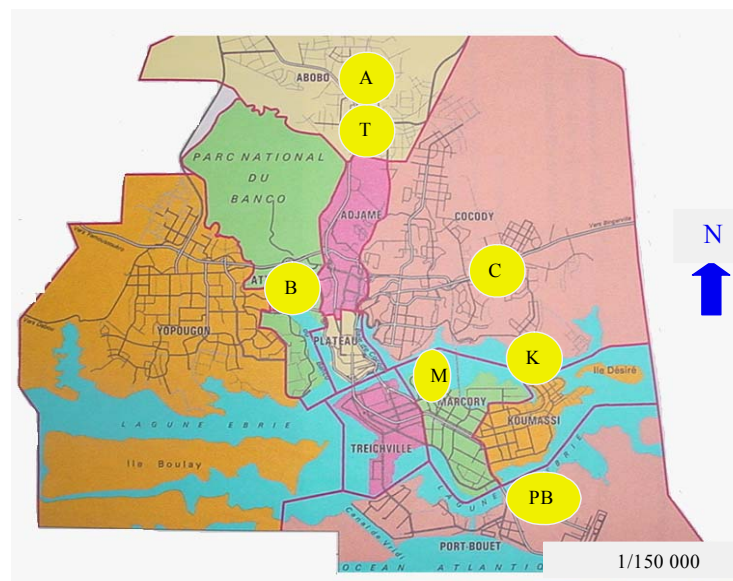
## Matériel et Méthodes

### Sites de l'étude

L'agglomération d'Abidjan est située au Sud-Est de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest) et est comprise entre les latitudes 5°00' et 5°30' nord et les longitudes 3°50' et 4°10' ouest. Elle s'étend sur une superficie de 57735 ha et est composée de dix communes (Abobo, Adjamé, Attécoubé, Cocody, Plateau, Yopougon, Treichville, Marcory, Koumassi, Port-Bouet) avec une population estimée à 2 877 948 habitants (INS, 2001). Elle est en perpétuelle croissance et cette croissance est marquée par une forte urbanisation. Sur le plan géologique, la lithologie de la ville est constituée de haut en bas de sables argileux, de sables moyens et de sables grossiers reposant sur un socle schisteux (Kouamé et *al.*, 2006).

La ville d'Abidjan possède six importants sites de maraîchage (A, B, C, K, M, PB) (Figure 1) dont les sols sont amendés avec de la fiente de volaille. Notre étude a été menée sur les sites maraîchers du quartier Anoumabo dans la commune de Marcory (M) et du quartier M'Pouto dans la commune de Cocody (C). Un site de référence ou site témoin (T), loin de toute pollution agricole (non amendé avec de la fiente de volaille et non traité avec des produits phytosanitaires), a été choisi dans la ferme expérimentale de l'Université d'Abobo-Adjamé.

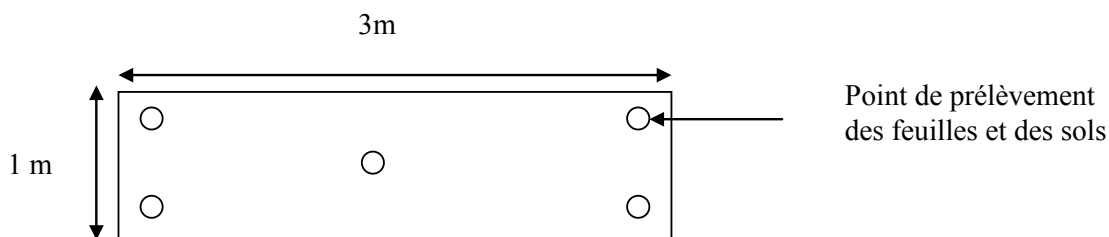
**Figure 1:** Répartition des zones maraîchères au sein de l'agglomération abidjanaise



### Prélèvement des feuilles d'épinard, des sols et de la fiente de volaille

Les échantillonnages ont été faits de juillet 2006 à juillet 2007 et ont porté sur des parcelles ayant une superficie de 60 m x 45 m. Sur les sites de maraîchage, les planches de semis sont faites sans dispositif particulier. C'est pourquoi au cours de l'échantillonnage, 3 feuilles ont été prélevées sur chaque pied d'épinard au stade phénologique habituel de la récolte et ce, sur une superficie de 3m x 1m (Figure 2). Au niveau de chaque point de prélèvement, le sol a été également prélevé à une profondeur de 20 cm à l'aide d'une tarière. Les échantillons élémentaires de sol d'une planche sont mélangés pour former un échantillon composite. Chaque échantillon composite de sol a été homogénéisé et le quartage a permis de prélever un échantillon moyen représentatif pour les analyses. Les feuilles de trois planches ont été mélangées pour former un échantillon composite. Pour les analyses, 27 échantillons composites de sol et 9 échantillons composites de feuilles ont été retenus à Marcory et à Cocody, alors que dans le témoin, ce sont 9 échantillons composites de sol et 6 échantillons composites de feuilles qui ont été retenus.

**Figure 2:** Stratégie de prélèvement des feuilles d'épinard et des échantillons de sol sur une planche de semis. À chaque point de prélèvement, le sol a été également prélevé à une profondeur de 20 cm à l'aide d'une tarière.



La fiente de volaille épanchée régulièrement sur les planches de semis comme fertilisant a été également échantillonnée.

### Laboratoires d'analyse des échantillons

La détermination des paramètres agro-pédologiques de base des sols a été faite au Laboratoire de Pédologie de l'Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny (INPHB) de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire) alors que les extractions des métaux et leur dosage ont été réalisés au Laboratoire d'Analyses Élémentaires du Centre National de l'Énergie, des Sciences et des Techniques Nucléaires de Rabat (Maroc).

### Préparation des échantillons pour l'analyse

#### Pré-traitement des sols et de la fiente de volaille

Les échantillons de sol et de fiente de volaille ont été séchés à l'étuve à 105°C pendant 24 h. Seuls les sols ont été tamisés à 2 mm selon la norme NF X 31-101 (AFNOR NF X 31-101, 1992). Une partie représentative de chaque échantillon de tamisât de sol et de fiente de volaille a été broyée et homogénéisée à l'aide d'un broyeur à agate (marque Retsch-RM100).

#### Extraction des teneurs totales des métaux traces dans la fiente de volaille et des teneurs pseudo-totales des métaux dans les sols

Pour la digestion des échantillons de sol et de fiente de volaille, une prise de 0,5 g de poudre fine de chaque échantillon a été dissoute dans l'eau régale [mélange de 3 mL de HNO<sub>3</sub> (65%) et 1 mL de HCl (37%)] selon la norme NF X31-415 (AFNOR NF X31-415, 1995) et ce, dans une bombe téflon d'un micro-onde (marque CEM-Mars 5). Après 16 h de contact entre l'échantillon et l'eau régale, l'ensemble des bombes a été ensuite placé dans le carrousel du micro-onde pour être chauffé. Le



réacteur choisi est de type XP-1500 et le temps de chauffage a été de 10 mn à 150°C, 20 mn à 200°C et 15 mn à 220 °C et ce, à 1200 Watts. Après 15 mn de refroidissement, les minéralisats ont été récupérés, jaugés à 30 mL par l'eau distillée, filtrés (filtre millipore 0,45 µm), acidifiés (0,5 mL de HNO<sub>3</sub>) et conservés au réfrigérateur à 4°C pour les analyses ultérieures. La technique d'extraction des métaux des sols à l'eau régale ne conduit pas à une mise en solution totale car n'ayant pas la capacité de détruire les silicates. Son rendement de dissolution des métaux est compris entre 70 et 100% de la quantité totale (Laurent, 2003). C'est pourquoi, cette mise en solution par l'eau régale est qualifiée de pseudo-totale (ADEME et APCA, 2005).

### **Extraction des métaux traces dans les fractions granulométriques des sols**

Selon Baize et Tercé (2002), la spéciation est la définition de la forme chimique dans laquelle se trouve un élément ou de la phase porteuse à laquelle il est associé dans un milieu donné. Elle conditionne la disponibilité des métaux pour les végétaux ainsi que leur mobilité par transfert dans la solution du sol (Legret *et al.*, 1988). Balasoïu *et al.* (2001) ont montré que la rétention et la répartition des métaux étaient fortement dépendantes de la composition granulométrique et chimique des sols. Dans ce travail, la répartition des métaux traces entre les particules des sols a été déterminée par la méthode de la spéciation par fractionnement granulométrique. Le sable, le limon et l'argile obtenus par tamisage en phase humide ont été séchés, broyés et les teneurs des métaux traces dans chacune des fractions granulométriques ont été extraites à l'eau régale comme les échantillons de sol et de fiente de volaille.

### **Extraction des teneurs phytodisponibles des métaux traces dans les sols**

La teneur (pseudo)totale en métaux ne suffit pas pour apprécier les quantités de métaux disponibles dans la solution du sol. Le risque de toxicité pour les écosystèmes et l'homme est mieux évalué en déterminant les fractions mobiles et biodisponibles des métaux potentiellement toxiques présents dans les sols. Cette approche permet d'estimer la probabilité de transfert des métaux vers les végétaux. L'utilisation de l'extraction chimique est une démarche courante pour une appréciation rapide de la phytodisponibilité des éléments traces dans le sol. Dans ce travail, l'évaluation de cette phytodisponibilité des métaux traces dans les sols a été rapprochée des quantités extraites par le nitrate d'ammonium (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) (DIN 19730, 1997). Ces quantités extraites au NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> correspondraient à des métaux échangeables et pouvant passer assez facilement dans la solution du sol. Pruess (1992) a montré en Allemagne que ces quantités extraites sont significativement corrélées aux teneurs dans divers végétaux. Le protocole d'extraction a été inspiré par celui élaboré par Lebourg (1996) et Lebourg *et al.* (1996,1998). Une prise de 20 g de tamisât de sol a été agitée pendant 2 h dans 50 mL de NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> à 1mol/L. La suspension a été ensuite centrifugée, filtrée (filtre millipore de 0,22 µm), acidifiée avec 0,5 mL de HNO<sub>3</sub> et conservée au réfrigérateur à 4 °C pour les analyses.

### **Pré-traitement des feuilles d'épinard et protocole d'extraction des métaux traces**

Les feuilles d'épinard ont été lavées à l'eau de robinet, rincées à l'eau distillée, pesées et séchées à l'étuve à 105 °C pendant 24 h. La matière sèche obtenue a été pesée, broyée à l'aide d'un broyeur à agate pour avoir des granulés homogènes. 2 g de matière sèche ont été calcinés au four à moufle à 450° C pendant 4 h en creuset de porcelaine. Les cendres ont été transférées dans une bombe téflon et les creusets ont été rincés par une faible quantité d'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>). La digestion des échantillons, le protocole de chauffage, ainsi que le traitement des minéralisats sont identiques à ceux des sols.

### **Analyses effectuées**

#### **Détermination des propriétés agro-pédologiques de base des sols**

Sur les échantillons de tamisât de sol, nous avons déterminé la granulométrie de la terre fine à trois fractions (sable, limon, argile) selon la méthode internationale à la pipette de Robinson, le pH<sub>eau</sub> en mettant en contact 20 g de sol et 50 mL d'eau distillée avec agitation pendant 2h, la capacité d'échange

cationique (CEC) avec l'acétate d'ammonium, le carbone organique (Corg) selon la méthode de Walkley et Black (Mathieu et Piétain, 2003).

### Dosage des métaux dans les différentes solutions d'extraction

Dans les solutions de sol, de fiente de volaille et de végétaux, ont été dosés Cd, Cu, Pb, Zn et Ni. En plus de ces éléments traces, Mn et Fe ont été dosés dans les solutions de sol obtenues au moyen de l'eau régale. Le spectromètre d'absorption atomique (Varian SpectrAA-220 FS) qui a permis de doser les métaux est équipé d'un système de correction de bruit de fond par lampe au deutérium. Cd, Pb, Zn, Cu et Ni ont été analysés par atomisation électrothermique dans un four en graphite alors que Mn et Fe ont été analysés à la flamme.

### Traitement des données

Les données obtenues ont été traitées au moyen du logiciel STATISTICA 6.0. A partir des caractéristiques considérées dans cette étude, nous avons procédé à une comparaison de moyennes entre les échantillons de sol et de végétaux des trois sites étudiés en réalisant soit, le test t de Student, soit l'analyse de la variance suivie du test de Newman-Keuls à 5%. Des tests de corrélation ont aussi été effectués afin d'identifier les paramètres qui influent sur l'accumulation des éléments traces dans les sols et leur phytodisponibilité. Pour déterminer le pourcentage de répartition des métaux traces dans les fractions granulométriques des sols, leurs teneurs ont été pondérées par la représentativité massique des fractions. Avant d'effectuer la comparaison entre les teneurs en Cd et Pb des feuilles d'épinard et les normes préconisées, nous avons exprimé ces teneurs en mg/kg de matière fraîche (MF) à l'aide du rapport entre cette matière fraîche et la matière sèche (MS).

## Résultats et discussion

### Propriétés agro-pédologiques des horizons superficiels des sols

Les paramètres statistiques des caractéristiques des horizons superficiels ayant faits l'objet d'analyse sont indiqués dans le Tableau 1.

**Tableau 1:** Caractéristiques agro-pédologiques des horizons de surface (0-20cm) des sols maraîchers et du sol témoin

Sites	P.d	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	pH	Corg (%)	CEC cmol/kg
Marcory (N=27)	Min	79,2	2,8	1,32	5,2	1,45	1,87
	Moy	87,9 ± 5,94 <sup>b</sup>	7,6 ± 3,87 <sup>c</sup>	4,5 ± 3,25 <sup>a</sup>	6,4 ± 0,58 <sup>b</sup>	5,7 ± 3,16 <sup>b</sup>	5,63 ± 2,46 <sup>c</sup>
	Méd	91,3	6,4	3,2	6,3	6	6,24
	Maxi	94,8	14,1	9,2	7,4	10	8
Cocody (N=27)	Min	85,6	2,2	4,8	5,4	2	2,56
	Moy	88,4 ± 2,33 <sup>b</sup>	3,6 ± 1,09 <sup>a</sup>	8 ± 2,30 <sup>b</sup>	6,6 ± 0,67 <sup>b</sup>	3,5 ± 1,57 <sup>a</sup>	4,35 ± 1,35 <sup>b</sup>
	Méd	87,7	3,7	8,6	6,7	3	4,98
	Max	91,7	5,5	12	7,5	8	6,17
Témoin (N=9)	Min	83,1	5	9,3	4,9	2	2,80
	Moy	84,4 ± 0,94 <sup>a</sup>	5,4 ± 0,24 <sup>b</sup>	10,2 ± 0,79 <sup>c</sup>	5,2 ± 0,29 <sup>a</sup>	3,2 ± 1,13 <sup>a</sup>	3,19 ± 0,24 <sup>a</sup>
	Méd	84,4	5,4	10,2	5,1	2,9	3,19
	Max	85,7	5,6	11,4	6	6	3,42

N= Nombre d'échantillons de sols analysés; P.d = Paramètres de dispersion; Min= Minimum; Moy = Moyenne; Méd =Médiane; Max = Maximum. Les valeurs suivies de lettres différentes dans la même colonne sont significativement différentes sur la base du test de Newman-Keuls au seuil de 5%.

Les sols des horizons de surface de ces trois sites sont sableux. Il s'agit de sols acides avec un sol témoin plus acide, nettement plus argileux et moins sableux. Les sols maraîchers sont plus riches en matière organique, dû à la répétition d'apports de fiente de volaille. L'application de cette matière organique explique le pH et la capacité d'échange cationique plus élevés dans les sols maraîchers que

dans le sol témoin. Doelsch (2006) a également observé une faible augmentation du pH des sols maraîchers de l'île de la Réunion suite à l'apport de compost de fiente de volaille.

### Teneurs des métaux traces dans la fiente de volaille

La fiente de volaille, principal fertilisant utilisé sur les sols maraîchers, est épandue plusieurs fois dans l'année. Les résultats de l'analyse portant sur ses teneurs en métaux traces sont reportés dans le Tableau 2.

**Tableau 2:** Teneurs (mg/kg MS) de la fiente de volaille en métaux traces

Sites	Paramètres de dispersion	Cd	Cu	Pb	Zn	Ni
Marcory (N=3)	Minimum	0,60	108,3	42,2	1241,3	92,6
	Moyenne	0,63 ± 0,03 <sup>b</sup>	108,9 ± 0,55 <sup>b</sup>	44,3 ± 3,23 <sup>b</sup>	1265,3 ± 21,68 <sup>b</sup>	100,2 ± 12,08 <sup>b</sup>
	Médiane	0,62	108,9	42,6	1271,3	93,9
	Maximum	0,66	109,4	48,1	1283,4	114,2
Cocody (N=3)	Minimum	0,32	97,7	28	1041,2	62,9
	Moyenne	0,33 ± 0 <sup>a</sup>	99 ± 1,28 <sup>a</sup>	29,3 ± 1,25 <sup>a</sup>	1064,3 ± 31,23 <sup>a</sup>	70,1 ± 7,24 <sup>a</sup>
	Médiane	0,33	99	29,3	1051,8	70,1
	Maximum	0,33	100,3	30,5	1099,8	77,4

MS = Matière sèche; N= Nombre d'échantillons analysés. Les valeurs suivies de lettres différentes dans la même colonne sont significativement différentes sur la base du test de Student ( $t < 0,05\%$ ).

Les teneurs des métaux traces dans la fiente épandue sur le sol à Marcory sont plus élevées que celles de la fiente à Cocody. La différence de concentrations est due au fait que ces fientes proviennent de fermes différentes. Les concentrations moyennes de Zn et Ni dans la fiente utilisée sur ces sols maraîchers sont supérieures aux valeurs seuils (600mg/kg en Zn et 60 mg/kg en Ni) fixées pour les fertilisants par la norme NF U 44-041 (AFNOR NF U44-041, 1985) et aux teneurs de la fiente utilisée sur les sols maraîchers de l'île de la Réunion (800 mg/kg en Zn et 12, 7 mg/kg en Ni). Les concentrations en Cd sont inférieures à la valeur seuil (3 mg/kg), mais proches de la teneur en Cd de la fiente utilisée à l'île de la Réunion (0,55 mg/kg). Les teneurs en Cu sont inférieures à la valeur seuil (300 mg/kg) et à la teneur enregistrée à l'île de la Réunion (348 mg/kg). La fiente épandue sur les sols maraîchers d'Abidjan est plus riche en Pb que celle utilisée à l'île de la Réunion (1,2 mg/kg), mais faible par rapport à la valeur seuil AFNOR (180 mg/kg).

La fiente de volaille constitue une source d'enrichissement des sols maraîchers de la ville d'Abidjan en métaux traces dont la biodisponibilité pourrait être favorisée par l'acidité des sols.

### Evaluation des teneurs des métaux dans les sols

#### Teneurs pseudo-totales des métaux

Les teneurs de Mn et Fe dans les sols des horizons superficiels sont plus élevées dans le site témoin que dans les sites maraîchers (Tableau 3). Les faibles teneurs de ces métaux majeurs sont obtenues à Marcory.

**Tableau 3:** Teneurs pseudo-totales (mg/kg MS) en métaux majeurs et traces des horizons superficiels (0-20 cm) des sols maraîchers et du sol témoin

Sites	P. d	Mn	Fe	Cd	Cu	Pb	Zn	Ni
Marcory (N=27)	Min	131,6	3729,4	0,22	70,5	31,3	3375,3	11,5
	Moy	1193,2 ± 1059 <sup>a</sup>	5923,4 ± 1987 <sup>a</sup>	0,47 ± 0,22 <sup>a</sup>	94,7 ± 15,84 <sup>c</sup>	51 ± 16,47 <sup>a</sup>	4563,5 ± 767 <sup>c</sup>	19,8 ± 5,48 <sup>a</sup>
	Méd	1142,5	5304,2	0,33	95,9	47	4352,6	20,2
	Max	3348,7	9732	0,80	119,6	86,6	6448,3	30,4
Cocody (N=27)	Min	1522,5	4798,5	0,47	35,3	51,5	101,2	48,3
	Moy	4124,5 ± 1946 <sup>b</sup>	10007,9 ± 3462,5 <sup>b</sup>	1,72 ± 1,11 <sup>b</sup>	66,8 ± 27 <sup>b</sup>	524,6 ± 450 <sup>c</sup>	1374,3 ± 481 <sup>b</sup>	261,4 ± 235 <sup>b</sup>
	Méd	3874,5	9826,4	1,90	53,4	96,1	1334,5	224,6
	Max	7843,7	15488,5	3,80	115,8	3544,6	2220,3	986,2
Témoin (N=9)	Min	6339,4	17881,9	1,27	17,4	69,4	497,8	147,8
	Moy	7306,7 ± 1586 <sup>c</sup>	19985 ± 2349,8 <sup>c</sup>	1,55 ± 0,21 <sup>b</sup>	28,7 ± 7,95 <sup>a</sup>	130,1 ± 60 <sup>b</sup>	906,1 ± 381 <sup>a</sup>	405,4 ± 497 <sup>c</sup>
	Méd	6442,9	19024,8	1,67	28,1	90,3	843,7	175,9
	Max	9137,8	23048	1,78	38,8	200,1	1487,4	497,9

MS = Matière sèche; N= Nombre d'échantillons de sol analysés. Les valeurs suivies de lettres différentes dans la même colonne sont significativement différentes sur la base du test de Newmann-Keuls au seuil de 5%.

Pour ce qui concerne les métaux potentiellement polluants, les teneurs en Cd à Cocody et dans le témoin sont de même ordre de grandeur et plus élevées que celle enregistrée à Marcory. Les teneurs en Cu et Zn dans les sols maraîchers sont plus élevées que celles obtenues dans le sol témoin. Au niveau de Pb et Ni, les fortes teneurs sont obtenues à Cocody et dans le témoin.

Les teneurs de Mn dans les sols des horizons de surface des trois sites sont élevées et ce résultat, à l'instar de plusieurs travaux, a confirmé que les oxyhydroxydes de Mn sont fréquents dans les sols aérés (Bataillard, 2002). Les sols maraîchers de Marcory et de Cocody sont riches en Mn que les sols de trois sites agricoles de la région de Jos (Nigeria) (Pasquini, 2004), dont les teneurs moyennes en Mn varient de 227 à 549 mg/kg et les teneurs médianes de 228 à 401 mg/kg. Les teneurs des sols en Fe sont également importantes dans les trois sites. A l'exception de la teneur de Fe à Marcory, celles obtenues à Cocody et dans le témoin sont proches des teneurs en Fe de certains sols agricoles de la région de Jos dont les teneurs moyennes varient de 9741 à 27528 mg/kg et les teneurs médianes de 7382 à 27427 mg/kg.

Les concentrations en métaux traces des sols maraîchers et du sol témoin ont été comparées aux teneurs en métaux traces des sols agricoles de la région de Jos, aux sols maraîchers sableux de Pierrelaye dans la banlieue de Paris (France) (Dère, 2006) et aux valeurs limites de la réglementation française relative à l'épandage de boues de stations d'épuration urbaine sur les sols agricoles (Arrêté du 8 janvier, 1998) (Tableau 4).

**Tableau 4:** Comparaison des teneurs (mg/kg) moyennes en métaux traces des sols maraîchers et du sol témoin avec des données de la littérature

Métal trace	Marcory	Cocody	Témoin	Jos (Nigeria)	Pierrelaye (France)	Valeurs limites (France)
Cd	0,47	1,72	1,55	8,6 -10,2	4,7	2
Cu	94,7	66,8	28,7	104 -999	259	100
Pb	51	524,6	130,1	367- 426	436	100
Zn	4563,5	1374,3	906,1	488 -1356	982	300
Ni	19,8	261,4	405,4	23,6-28,6	22	50

Les teneurs de Cd dans les sols à Cocody et dans le témoin sont inférieures aux teneurs obtenues dans les sols à Jos et à Pierrelaye, mais elles sont proches de la teneur limite. La teneur de Cu à Marcory est aussi proche de la valeur limite. La teneur de Pb à Cocody dépasse celles des agglomérations de Jos et de Pierrelaye. Cette teneur de Pb à Cocody, ainsi que celle enregistrée dans le sol témoin sont plus élevées que la teneur recommandée par la réglementation française. Dans tous les sites, les teneurs en Zn sont élevées et dépassent la valeur préconisée. Les concentrations de Ni dans les

sols à Cocody et dans le site témoin sont supérieures à la valeur limite et aux teneurs obtenues à Jos et Pierrelaye.

Les teneurs de certains métaux traces plus élevées dans le sol témoin que dans les sols maraîchers sont un indice de la contribution des émissions atmosphériques à la contamination des sols. Les faibles teneurs de certains métaux traces dans les horizons de surface peuvent être attribuées à leur migration vers les horizons de profondeur, favorisée par la forte macroporosité des sols ou à leur perte par lessivage.

Les résultats des tests de corrélation effectués afin d'identifier les facteurs qui influent sur les teneurs des métaux traces dans les sols sont résumés dans le tableau 5. Seules les corrélations significatives ( $p < 0,05$ ) sont indiquées.

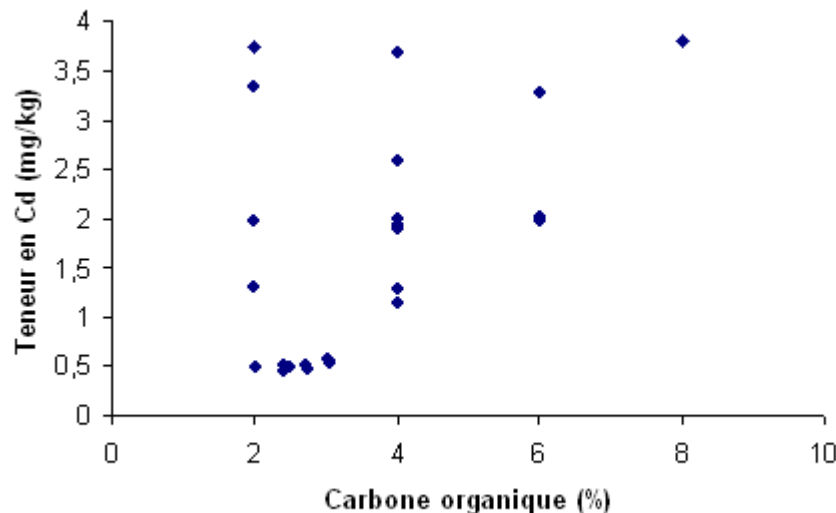
**Tableau 5:** Coefficients de corrélation ( $r$ ) entre les métaux traces et d'autres variables

Sites	Métaux traces	Mn	Fe	Corg	Argile
Marcory	Cd	NS	0,79	NS	NS
	Cu	NS	NS	-0,65	-0,47
	Pb	0,69	NS	-0,44	0,46
	Zn	NS	NS	NS	NS

Corg = Carbone organique; NS = non significatif à  $p < 0,05$

Les métaux traces se comportent différemment à l'égard des autres paramètres agro-pédologiques des sols et ces corrélations peuvent être représentées par des graphiques. A titre d'exemple, la figure 3 est la représentation graphique de la corrélation positive entre le cadmium et le carbone organique à Cocody. Nous constatons que la teneur de Cd semble augmenter avec celle de la matière organique.

**Figure 3:** Représentation graphique de la corrélation ( $r = 0,45$ ) entre le cadmium et le carbone organique à Cocody



Une corrélation positive entre un métal trace et un paramètre agro-pédologique signifie que cet élément est lié à ce paramètre alors qu'une corrélation négative ou non significative signifie une absence ou une faible liaison. Ainsi, Cd à Marcory et dans le site témoin et Cu à Cocody sont retenus par les oxyhydroxydes de fer. A Cocody, la liaison entre Cd et la matière organique est un indice d'une contamination d'origine anthropique. Ce qui veut dire d'une part, que l'application de la fiente de

volaille au sol équivaut à un apport de Cd et d'autre part, que la matière organique contribue aussi à l'adsorption de Cd apporté par les rejets atmosphériques. Les corrélations non significatives enregistrées peuvent s'expliquer par le fait que les métaux traces sont liés à un autre élément non étudié dans ce travail. Il peut s'agir des silicates, phosphates et carbonates qui sont aussi susceptibles de retenir durablement les métaux traces (Alloways, 1994; McBride *et al.*, 1997).

### **2.3.2. Répartition des métaux traces entre les fractions granulométriques des sols**

Le Tableau 6 présente les teneurs et la répartition des métaux traces dans chaque particule de sol. Les teneurs des métaux traces dans les fractions granulométriques des sols présentent une variabilité selon la particule de sol et selon le métal trace considéré. Les fortes teneurs en Cd sont obtenues dans le sable à Cocody et dans le témoin alors qu'à Marcory, les teneurs en Cd dans le limon et l'argile sont de même ordre de grandeur et plus élevées que la teneur en Cd du sable. Dans les trois sites, les fortes teneurs en Cu sont obtenues dans le limon. L'argile présente les teneurs les plus élevées en Pb à Marcory et à Cocody, alors que dans le témoin, la forte teneur du métal est enregistrée dans le limon. Zn a les fortes teneurs dans le limon à Marcory et à Cocody, alors que dans le témoin, nous avons la forte teneur dans le sable. L'argile présente les fortes teneurs en Ni à Marcory et à Cocody, tandis que dans le témoin, la forte teneur est obtenue dans le sable. Le résultat le plus intéressant de cette spéciation est que pour tous les sites, le fort pourcentage de répartition des métaux traces est obtenu dans la fraction sableuse des sols.

La variation des teneurs des métaux traces en fonction de la taille des particules, révélée par la spéciation par fractionnement granulométrique s'observe assez fréquemment sur les échantillons de sols (Club Crin, 1999) car la distribution des métaux dans les sols n'est pas homogène entre les fractions granulométriques (ADEME, 2003). Certaines conditions s'associent pour expliquer les fortes teneurs de certains métaux traces dans la fraction sableuse. Il s'agit de l'association de ces métaux aux débris végétaux (Club Crin, 1999) et c'est le cas des teneurs en Cd, Zn et Ni plus élevées dans la fraction sableuse du sol témoin. En effet, le sol témoin s'est enrichi en débris végétaux après le nettoyage pour la mise en place de la parcelle. Aussi, le sable est riche en minéraux primaires tels que le quartz, le feldspath, le mica, la dolomite (ADEME, 2003) et ces métaux traces peuvent ainsi être incorporés dans les réseaux cristallins de ces minéraux primaires (Qian *et al.*, 1996; Roehl *et al.*, 1998; Horvath, 2000). Qian *et al.* (1996) ont également constaté, pour les sols étudiés, que Ni et Cu étaient situés essentiellement dans la fraction sableuse du sol, Co dans la fraction argileuse et Pb dans les deux fractions. Les fortes teneurs en métaux dans la fraction argileuse des sols sont dues au fait que l'argile possède des charges négatives qui favorisent la fixation de ces métaux. Dans tous les sites, les résultats de la granulométrie indiquent que le sable présente le pourcentage massique le plus élevé. Ce qui explique les forts pourcentages de répartition des métaux obtenus dans cette fraction granulométrique.

**Tableau 6:** Répartition des métaux traces dans les fractions granulométriques des sols maraîchers et du sol témoin de la ville d'Abidjan

Sites	F. g	Poids moyen (%)	Cd		Cu		Pb		Zn		Ni	
			Teneur moyenne (mg/kg)	Répartition (%)	Teneur moyenne (mg/kg)	Répartition (%)	Teneur moyenne (mg/kg)	Répartition (%)	Teneur moyenne (mg/kg)	Répartition (%)	Teneur moyenne (mg/kg)	Répartition (%)
Marcory (N=3)	Sable	87,9 ± 5,94 <sup>c</sup>	0,43 ± 0,01 <sup>a</sup>	74,5	102,43 ± 2,53 <sup>a</sup>	86,9	35,26 ± 4,13 <sup>a</sup>	71	3590,70 ± 155,1 <sup>b</sup>	85,7	31,08 ± 13,9 <sup>a</sup>	85,3
	Limon	7,6 ± 3,87 <sup>b</sup>	1,10 ± 0,03 <sup>b</sup>	16,6	114 ± 6,23 <sup>c</sup>	8,4	75,71 ± 10,85 <sup>b</sup>	13,2	5583,41 ± 579,7 <sup>c</sup>	11,5	30,40 ± 4,4 <sup>a</sup>	7,2
	Argile	4,5 ± 3,25 <sup>a</sup>	1,01 ± 0,02 <sup>b</sup>	8,9	108,60 ± 3,35 <sup>b</sup>	4,7	153,39 ± 16,56 <sup>c</sup>	15,8	2310,55 ± 1684 <sup>a</sup>	2,8	53,06 ± 7,9 <sup>b</sup>	7,5
Cocody (N=3)	Sable	88,4 ± 2,33 <sup>c</sup>	2,73 ± 0,03 <sup>c</sup>	95,2	39,33 ± 0,77 <sup>a</sup>	87,5	60,45 ± 13,98 <sup>a</sup>	81,3	1267,64 ± 36,3 <sup>b</sup>	90,5	131 ± 9 <sup>a</sup>	75
	Limon	3,6 ± 1,09 <sup>a</sup>	1,62 ± 0,03 <sup>b</sup>	2,3	46,54 ± 0,54 <sup>b</sup>	4,2	98,56 ± 2,39 <sup>b</sup>	5,4	1294,10 ± 87,2 <sup>c</sup>	3,8	323,58 ± 143,1 <sup>b</sup>	7,5
	Argile	8 ± 2,30 <sup>b</sup>	0,80 ± 0,01 <sup>a</sup>	2,5	41,02 ± 1 <sup>a</sup>	8,3	108,86 ± 2,66 <sup>c</sup>	13,3	882,68 ± 97,4 <sup>a</sup>	5,7	336,18 ± 30,9 <sup>c</sup>	17,5
Témoin (N=3)	Sable	84,4 ± 0,94 <sup>c</sup>	2,30 ± 0,04 <sup>c</sup>	92,3	36,16 ± 0,61 <sup>a</sup>	80,6	66,41 ± 9,75 <sup>a</sup>	65,3	430,79 ± 47,6 <sup>c</sup>	91,1	216,94 ± 139,6 <sup>c</sup>	87,2
	Limon	5,4 ± 0,24 <sup>a</sup>	0,50 ± 0,05 <sup>a</sup>	1,3	59,38 ± 0,11 <sup>c</sup>	8,4	207,70 ± 7,48 <sup>c</sup>	13,1	139,23 ± 52,7 <sup>a</sup>	1,9	180,83 ± 48,2 <sup>b</sup>	4,7

Fractions granulométriques; N=Nombre d'échantillons de sol analysés. Dans chaque site, les valeurs suivies de lettres différentes dans la même colonne sont significativement différentes (Test t de Student,  $t < 0,05\%$ ). Les teneurs des métaux traces dans le sable, le limon et l'argile sont exprimées respectivement en mg/kg de sable, en mg/kg de limon et en mg/kg d'argile.

### 2.3.3. Evaluation des teneurs des métaux traces échangeables par l'extraction au nitrate d'ammonium

Les teneurs échangeables (supposées phytodisponibles) des métaux traces, extraites au moyen du nitrate d'ammonium, sont présentées dans le Tableau 7.

**Tableau 7:** Teneurs (mg/kg MS) échangeables des métaux traces, extraites au nitrate d'ammonium et taux d'extraction par rapport à leur teneur pseudo-totale

Sites	P.d	Teneurs des métaux extraites au NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>					Taux (%) des teneurs extraites au NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>				
		Cd	Cu	Pb	Zn	Ni	Cd	Cu	Pb	Zn	Ni
Marcory (N=27)	Min	0,01	0,09	0,05	2,68	2,81	21,3	2,9	10,6	3,6	33,4
	Moy	0,10±0,06 <sup>a</sup>	2,74 ±1,40 <sup>b</sup>	5,42±9,90 <sup>b</sup>	163,22 ±265 <sup>c</sup>	6,61±2,53 <sup>b</sup>					
	Méd	0,07	3,44	0,16	107,49	6,09					
	Max	0,21	3,60	37,62	1078,81	12,07					
Cocody (N=27)	Min	0,002	0,02	0,08	10,86	5,16	4,6	1,8	0,06	9,3	2,8
	Moy	0,08±0,04 <sup>a</sup>	1,18 ±1,49 <sup>a</sup>	0,29±0,22 <sup>a</sup>	127,36±96,47 <sup>b</sup>	7,26±2,03 <sup>c</sup>					
	Méd	0,07	0,26	0,08	116,31	6,54					
	Max	0,18	3,33	0,87	413,68	13,08					
Témoin (N=9)	Min	0,04	0,06	0,08	21,14	3,94	4,5	3,7	0,2	3,5	1,2
	Moy	0,07±0,03 <sup>a</sup>	1,07 ±1,46 <sup>a</sup>	0,28±0,20 <sup>a</sup>	32,24± 10,24 <sup>a</sup>	4,86±0,87 <sup>a</sup>					
	Méd	0,08	0,12	0,23	30,14	4,39					
	Max	0,11	3,02	0,79	53,84	6,48					

MS = Matière sèche; N= Nombre d'échantillons de sol analysés; P. d = Paramètres de dispersion; Min= Minimum ;Moy = Moyenne; Méd =Médiane; Max = Maximum. Les valeurs suivies de la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes sur la base du test de Newman-Keuls au seuil de 5%.

Dans les sols des trois sites, les teneurs échangeables de Cd sont de même ordre de grandeur. Les teneurs en Cu et Pb échangeables à Cocody et dans le sol témoin sont de même ordre de grandeur, mais plus faibles que les teneurs enregistrées à Marcory. Les teneurs en Zn et Ni sont élevées dans les sols maraîchers que dans le sol témoin. Les proportions des teneurs des métaux traces extraites au nitrate d'ammonium par rapport aux teneurs extraites à l'eau régale sont faibles, sauf la proportion de Ni échangeable à Marcory qui est relativement élevée (33,4%). Ces faibles proportions sont dues d'une part, à la rétention des métaux traces par la fraction sableuse des sols et d'autre part, au comportement des oxyhydroxydes de fer et de manganèse qui, dans les sols acides, recouvrent la surface des argiles (Laurent, 2003), retenant donc durablement les éléments traces métalliques qui peuvent être facilement biodisponibles.

### 2.4. Evaluation des concentrations des métaux traces dans les feuilles d'épinard

La détermination des teneurs en métaux traces dans les feuilles d'épinard révèle son intérêt pour une évaluation du danger pour le consommateur. Les résultats sont présentés dans le Tableau 8.



**Tableau 8:** Teneurs des métaux traces (en mg/kg MS) dans les feuilles d'épinard

Sites	Paramètres de dispersion	Teneurs des métaux traces dans les feuilles d'épinard				
		Cd	Cu	Pb	Zn	Ni
Marcory (N= 9)	Minimum	0,13	0,34	12,45	246,36	15,96
	Moyenne	0,18±0,04 <sup>a</sup>	0,95± 1 <sup>b</sup>	15±2,98 <sup>c</sup>	264,08±19,45 <sup>b</sup>	29,81± 8,99 <sup>c</sup>
	Médiane	0,20	0,66	13,33	255	34,26
	Maximum	0,22	3,59	20,30	299,33	41,69
Cocody (N=9)	Minimum	0,12	0,67	8,69	225,56	11,98
	Moyenne	0,25±0,12 <sup>b</sup>	3,55± 4,14 <sup>c</sup>	13,23 ±2,97 <sup>a</sup>	254,34±19,03 <sup>a</sup>	17,63± 4,32 <sup>a</sup>
	Médiane	0,25	0,87	13,85	257,40	18,57
	Maximum	0,41	9,18	17,96	282,91	26,08
Témoin (N= 6)	Minimum	0,29	0,48	11,72	343,13	16,92
	Moyenne	0,34 ±0,05 <sup>c</sup>	0,60 ± 0,10 <sup>a</sup>	13,89 ±1,87 <sup>b</sup>	376,15±35,60 <sup>c</sup>	19,90± 2,13 <sup>b</sup>
	Médiane	0,34	0,63	13,67	362,88	20,56
	Maximum	0,39	0,70	16,49	435,71	22,36

MS = Matière sèche; N= Nombre d'échantillons de feuilles analysés. Les valeurs suivies de lettres différentes sont significativement différentes (Test t de Student, t < 0,05).

Les concentrations des feuilles d'épinard en Cd et Zn sont plus élevées dans le témoin que dans les sites maraîchers. Les teneurs de Cu sont plus importantes dans les sites maraîchers que dans le témoin. Les teneurs de Pb et Ni sont plus élevées à Marcory et dans le témoin qu'à Cocody.

Les tests de corrélation effectués entre les métaux traces des feuilles d'épinard et les caractéristiques physico-chimiques des sols nous ont permis de mettre en évidence les paramètres du sol qui pourraient influencer sur l'accumulation des métaux dans les feuilles. Les corrélations significatives sont présentées dans le Tableau 9.

**Tableau 9:** Coefficients de corrélation (r) entre les métaux traces des feuilles d'épinard et certaines caractéristiques physico-chimiques des sols

Sites	ET	CdN	CuN	PbN	ZnN	NiN	Cdsol	Cusol	Pbsol	Znsol	Nisol	pH	Corg	CEC	Argile
Marcory	Cd	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0,85	ns	ns	-0,95
	Cu	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	ns	ns	ns	ns
	Pb	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-0,71	ns	ns	0,96
	Zn	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	ns	ns	ns	ns
	Ni	NS	0,87	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0,78	-0,87	-0,71	ns
Cocody	Cd	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	ns	ns	0,89	0,87
	Cu	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0,82	NS	NS	ns	0,67	-0,96	-0,88
	Pb	NS	0,72	NS	NS	NS	NS	NS	-0,68	NS	NS	ns	ns	0,95	0,81
	Zn	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	ns	ns	ns	ns
	Ni	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	ns	ns	ns	ns
Témoin	Cd	NS	NS	NS	NS	0,91	NS	0,88	-0,98	NS	NS	ns	ns	ns	ns
	Cu	NS	NS	NS	NS	0,86	NS	0,88	-0,87	NS	NS	ns	ns	ns	ns
	Pb	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-0,93	0,90	NS	NS	ns	ns	ns	ns
	Zn	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	ns	ns	ns	ns
	Ni	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-0,89	-0,92	ns	ns	ns

ET= Eléments traces des feuilles; C<sub>org</sub> = Carbone organique; CEC = Capacité d'échange cationique; NS = non significatif à p < 0,05. Les métaux suivis de N sont les métaux extraits au nitrate d'ammonium et les métaux suivis de sol sont les teneurs pseudo-totales.

La concentration d'un métal dans un végétal est considérée comme le reflet de la biodisponibilité du métal dans le sol (Boukhars et Rada, 2000). Ainsi, une corrélation positive signifie que l'augmentation du paramètre du sol entraîne l'augmentation de la teneur de l'élément trace dans l'épinard alors qu'une corrélation négative signifie que l'augmentation du paramètre du sol réduit la disponibilité du métal pour l'épinard. Les corrélations entre Cd de l'épinard du témoin et les variables du sol ne permettent pas d'expliquer la teneur de Cd relativement élevée dans ce site par rapport aux sites maraîchers. Celle-ci pourrait être liée à l'acidité du sol et à la faible capacité d'échange cationique

(CEC) par rapport aux sols maraîchers car plus un sol a une CEC faible, plus il est susceptible de transférer les métaux aux végétaux (Denaix, 2007). A Cocody, l'accumulation de Pb dans le sol et l'apport de matière organique favorisent l'accumulation de Cu dans l'épinard car les corrélations Cu-Pb (0,82) et Cu-C<sub>org</sub> (0,67) sont positives. Dans le témoin, Pb semble s'opposer au transfert de Cu vers l'épinard car la corrélation Cu-Pb (-0,67) est négative. Dans tous les sites, les teneurs en Cd et Cu sont faibles et cela est lié probablement à l'interaction entre ces deux métaux et Zn (Tremel-Schaub et Feix, 2005) qui a des teneurs élevées. En effet, Zn développe un antagonisme vis-à-vis de ces deux métaux pour le captage des transporteurs membranaires (ADEME, 2003). L'augmentation du pH à Cocody et celle de Pbsol à Marcory inhibent l'accumulation de Pb par l'épinard alors que dans le témoin, l'augmentation de la teneur de Pb dans le sol favorise cette accumulation. Mais dans tous les sites, la teneur de Pb dans les feuilles d'épinard reflète une contamination par les poussières atmosphériques, surtout par le plomb émis avec le gaz d'échappement des automobiles. Selon Tremel-Schaub et Feix (2005), le transfert sol-plante de Pb est négligeable par rapport au dépôt direct sur les parties aériennes de poussières contenant Pb surtout dans les zones urbaines ou le long des axes routiers. La forte disponibilité de Zn est due au fait que Zn présent dans les complexes organiques est très mobile et facilement biodisponible (Kabata-Pendias et Pendias, 1992). Sa teneur plus élevée dans le site témoin est attribuée à l'acidité des sols qui est plus importante dans ce site que dans les sites maraîchers. A Marcory, l'absorption de Ni est favorisée par l'augmentation de Ni présent dans le sol. La forte teneur de Ni dans le sol témoin inhibe l'absorption de Ni. A Cocody, l'absorption de Ni est réduite par l'augmentation de la teneur de la matière organique qui immobilise ce métal.

Au terme de cette étude, il est important de savoir si les teneurs des métaux traces dans les feuilles d'épinard pourraient engendrer ou pas des dangers pour la santé humaine. Malgré la toxicité reconnue des éléments traces, il n'existe pas en Afrique de dispositions réglementaires fixant les concentrations limites de ceux-ci dans les aliments destinés à l'alimentation humaine. Toutefois, la FAO et l'OMS (FAO et OMS, 2000), le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF) (CSHPF, 1996) et la Commission Européenne (CE) (CE, 2001) ont publié des concentrations maximales recommandées en Cd et Pb dans les denrées alimentaires (Tableau 10). Pour Cu, Zn et Ni, nous nous sommes référés aux données compilées et publiées pour différents végétaux dans l'ouvrage de Kabata-Pendias and Pendias (2001) consacré aux concentrations des métaux traces dans les sols et les plantes.

**Tableau 10:** Comparaison des teneurs moyennes des métaux traces dans les feuilles de l'épinard cultivé sur les sites maraîchers de la ville d'Abidjan avec quelques données de la littérature

	Marcory	Cocody	Témoin	FAO/OMS	CSHPF	CE	Kabata-Pendias et Pendias
Cd (mg/kg MF)	0,01	0,01	0,03	0,05	0,2	0,2	-
Cu (mg/kg MS)	0,95	3,55	0,6	-	-	-	20-100
Pb (mg/kg MF)	0,84	0,58	1,44	0,1	0,5	0,3	-
Zn (mg/kg MS)	264,08	254,34	376,15	-	-	-	100-400
Ni (mg/kg MS)	29,81	17,63	19,90	-	-	-	10-100

Il ressort de l'analyse de ce tableau que les consommateurs des feuilles de l'épinard cultivé sur les sols maraîchers de Marcory et de Cocody et même sur le sol témoin sont exposés à une contamination en Pb, Zn et Ni car les teneurs en ces métaux dépassent les normes préconisées. Ce qui n'est pas le cas pour Cd et Cu dont les teneurs sont faibles par rapport aux valeurs recommandées.

## Conclusion

Il ressort de cette étude que les horizons superficiels des sols maraîchers de la ville d'Abidjan et du site de référence sont différemment contaminés en éléments traces. Les teneurs moyennes de Cd à Cocody et dans le témoin, de Cu à Marcory sont proches des valeurs limites recommandées. Les teneurs de Pb

à Cocody et dans le témoin dépassent la valeur recommandée. Les teneurs de Zn dans tous les sites dépassent également les valeurs recommandées. Il en est de même des teneurs de Ni à Cocody et dans le témoin. L'épandage de fiente de volaille est une source d'enrichissement des sols maraîchers en éléments traces. La rétention des métaux traces dans la fraction sableuse des sols et leur immobilisation par la matière organique des sols sont les deux phénomènes qui réduisent leur phytodisponibilité.

Dans tous les sites, les feuilles d'épinard présentent des teneurs de Zn, Pb et Ni supérieures aux valeurs recommandées alors que les teneurs de Cd et Cu ne semblent pas présenter un danger pour les consommateurs.

## Acknowledgement

Nous remercions sincèrement l'UNESCO et le gouvernement japonais qui ont financé cette étude dans le cadre du programme de bourses de recherche UNESCO/Keizo OBUCHI.

## References

- [1] ADEME et APCA (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie et l'Assemblée Permanente de la Chambre d'Agriculture), 2005. Dérogations relatives à la réglementation sur l'épandage des boues de stations d'épuration. Comment formuler une demande pour les sols à teneurs naturelles élevées en éléments traces métalliques? 145 p.
- [2] ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie), 2003. Teneurs des plantes à vocation alimentaire en éléments traces suite à l'épandage de déchets organiques, synthèse d'essais agronomiques français et modélisation des transferts sol-plante, 75 p.
- [3] AFNOR NF U44-041, 1985. Matières fertilisantes. Boues des traitements des eaux usées urbaines. Dénominations et spécifications.
- [4] AFNOR NF X 31-101, 1992. Qualité des sols. Préparation d'un échantillon de sol pour analyses physico-chimiques.
- [5] AFNOR NF X31-415, 1995. Qualité des sols. Extraction des éléments en traces solubles dans l'eau régale.
- [6] Alloway B.J., 1995. The mobilisation of trace elements in soils, in: R. Prost (SEd.), Contaminated Soils, in: Les colloques no 85, Actes du 3e ICOBTE, Inra, Paris, 15-19 mai 1995.
- [7] Arrêté du 8 janvier 1998 modifiant le décret N°97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées. Journal Officiel de la République française, 1563-1571.
- [8] Baize D. et Tercé M., 2002. Un point sur les éléments traces métalliques dans les sols: approches fonctionnelles et spatiales. INRA éditions, 565 p.
- [9] Balasoïu C.F., Zagury and Deschênes, 2001. Partitioning and speciation of chromium, copper and arsenic in CCA-contaminated soils: influence of soil composition. *Sci. Total Environ.* 280: 239-255.
- [10] Bataillard P., 2002. Evolution de la spéciation du plomb et du cadmium dans les sols. Ecole Nationale du Genie Rural, des Eaux et des Forêts, 251p.
- [11] Boukhars L. et Rada A., 2000. Exposition au cadmium de végétaux cultivés sur des sols calcaires salés marocains amendés avec des boues et des eaux usées. *Environ. Technol.*, vol. 21: 641-652.
- [12] Cambier C., M. Brossard, R. Charlatchka, D. Baize, J. Maucorps, M. Sarrazin, 1996. Evaluation de la mobilité d'éléments-traces dans un site pollué. 5. journées nationales de l'étude des sols, Rennes (FRA), 1996/04/22-25. Walter C. (ed.), Cheverry C. (ed.), AFES, Association

- Française pour l'Etude des Sols, (FRA), Sols et transferts des polluants dans les paysages. Actes, 1996, 169-170.
- [13] Citeau L., 2004. Etude des colloïdes naturels présents dans les eaux gravitaires de sols contaminés: relation entre nature des colloïdes et réactivité vis-à-vis des métaux (Zn, Cd, Pb, Cu).Thèse de doctorat. Institut National d'Agronomie Paris-Grignon, 251p.
- [14] Club Crin, 1999. Spéciation des métaux dans le sol, 296 p.
- [15] Commission Européenne, 2001. Règlement N° 466/ 2001 de la commission du 08 mars 2001 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires. Journal officiel des communautés européennes du 16 mars 2001, 13 p
- [16] Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, 1996. Plomb, cadmium et mercure dans l'alimentation: évaluation et gestion du risque. Tec et Doc Lavoisier, France, 237p
- [17] Denaix L., 2007. Transfert sol-eau-plante d'éléments traces dans les écosystèmes cultivés contaminés. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches. Université de Pau et des Pays de l'Adour, 117 p.
- [18] Dère C., 2006. Mobilité et redistribution à long terme des éléments traces métalliques exogènes dans les sols. Application à des Luvisols pollués par 100 ans d'épandage d'eaux usées brutes dans la plaine de Pierrelaye. Thèse de Doctorat. Institut National d'Agronomie Paris-Grignon, 106p.
- [19] DIN 19730 (Deutsches Institut für Normung), 1997. Bodenbeschaffenheit. Extraktion von Spurenelemente mit Ammoniumnitratlösung. in :*Boden - Chemische Bodenuntersuchungsverfahren, ed. DIN, Berlin, 9p.*
- [20] Doelsch E., 2006. Evaluation de la biodisponibilité des éléments traces pour les cultures maraîchères. CIRAD, Chambre d'Agriculture de la Réunion, 42 p.
- [21] FAO and WHO,2001. Report on the 32nd session of the Codex Committee on Food Additives and Contaminants, ALINORM 01/12, Beijing, People's Republic of China, 20–24 March 2000. Joint FAO/WHO Food Standard Programme, Codex Alimentarius Commission, 24th Session, 2–7 July, Geneva, Switzerland.
- [22] Henin S., 1983. Les éléments traces dans le sol. *Sci. Sol.*, 2: 67-71.
- [23] Horvath T., Szilagyí and Hartyáni Z., 2000. Characterization of trace element distributions in soils. *Microchem. J.* 67:53-56.
- [24] INS (Institut National de la Statistique), 2001.Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH) 1998. Données socio-démographiques et économiques des localités, résultats définitifs par localités, région des lagunes, vol.III, tome 1, 43 p.
- [25] Juste C. Chassin P., Gomez A., Linères M., Mocquot B., Feix I., Wiart J.,1995.Les micro-polluants métalliques dans les boues résiduaire des stations d'épuration urbaines. ADEME Editions, Angers, 209 p.
- [26] Kabata-Pendias A. and Pendias H. 1992. Trace elements in soils and plants. London (UK), CRC Press, 2nd Ed., 365 p.
- [27] Kabata-Pendias, A., Pendias, H., 2001. Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Raton, Fla, 413 p.
- [28] Khader V. and Rama S.,1998. Selected mineral content of common leafy vegetables consumed in India at different stages of maturity ». *Plant foods for Human Nutrition*, 53: 71-81.
- [29] Koc M., Macrae R., Mougeot J.A.L.et Welsh J., 2000. Armer les villes contre la faim: systèmes alimentaires urbains durables ». CRDI, 243 p.
- [30] Kouamé K.I., Gone D.L., Savane I., Kouassi E.A., Koffi K., Goula B.T. et Diallo M.,2006. Mobilité relative des métaux lourds issus de la décharge d'Akouédo et risque de contamination de la nappe du Continental Terminal (Abidjan - Côte d'Ivoire). *Afrique Sciences* 2 (1): 39-56.
- [31] Lamy I., 2002. Réactivité des matières organiques des sols vis-à vis des métaux: cas des matières organiques particulières et des matières organiques solubles. 7<sup>èmes</sup> Journées Nationales

- de l'Etude des Sols, Orléans (France). Association Française pour l'Etude des Sols. Actes, 51-52.
- [32] Laurent C., 2003. Les modèles d'adsorption des métaux en traces (Zn, Cd, Cu et Pb) dans les sols :synthèse bibliographique et validation. Mémoire de stage de Diplôme d'Etudes Spécialisées « Pollution Chimique et Environnement ».Université Paris XI, Orsay, 55p.
- [33] Lebourg A., Sterckeman T., Ciesielski H., Proix N., 1998. Trace metal speciation in three unbuffered salt solutions used to assess their bioavailability in soil. *Journal of Environmental Quality* 27: 584-590.
- [34] Lebourg A., 1996. Etude de l'extraction des métaux en traces de sols pollués en vue de la détermination de leur biodisponibilité. Thèse de doctorat, Université des Sciences et Technologie, Lille, 148 p.
- [35] Lebourg A., Sterckeman T., Ciesielski H., Proix N., 1996. Intérêt de différents réactifs d'extraction chimique pour l'évaluation de la biodisponibilité des métaux en traces du sol, *agronomie*, 16: 201-215.
- [36] Legret M., Divet L. et Juste C., 1988. Migration et spéciation des métaux lourds dans un sol soumis à des épandages boues de station d'épuration à très forte charge en Cd et Ni. *Wat.Res.*Vol 22 (8): 953-959.
- [37] Legret M., 1984. Les métaux lourds dans les boues de station d'épuration. Valorisation agricole et extraction des métaux toxiques. Bull. Liais. Labs P. et Ch. 129, 35-40.
- [38] Mathieu C. et Pietain F., 2003. Analyse chimique des sols: méthodes choisies, édition Tec&Doc, 387 p.
- [39] McBride M.B.,1994. Environmental Chemistry of Soils, Oxford University Press, New York.
- [40] Mougeot J.A.L., 2006.Focus: cultiver de meilleures villes. Agriculture urbaine et développement durable. CRDI, 136p.
- [41] OMS, 1989. L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquiculture: recommandations à visées sanitaires. Genève, Suisse, OMS, Séries de rapports techniques.
- [42] Pasquini M.W., Alexander M.J., 2004. Chemical properties of urban waste ash produced by open burning on the Jos Plateau: implications for agriculture. *The Science of the Total Environment*, 319: 225-240.
- [43] Pruess A., 1992.Vorsorgewerte und Prüfwerte für mobile und mobilisierbare, potentiell ökotoxische Spurenelemente in Böden, ed. Verlag Ulrich E. Grauer, Wendlingen,145p.
- [44] Qian J., Shan Q., Wang Z.J. and Tu Q., 1996. Distribution and plant availability of heavy metals in different particle-size fractions of soil. *Sci. Total Environ.* 187: 131-141.
- [45] Roelhl K.E. and Czurda K., 1998. Diffusion and solid speciation of Cd and Pb in clay liners. *Appl.Clay Sci.* 12: 387- 402.
- [46] Smit J., Ratta A. et Bernstein J., 1996.Urban agriculture: an opportunity for environmentally sustainable development in sub-Saharan Africa». Washington (DC, É.-U.), Banque mondiale, Environmentally Sustainable Division, African Technical Department. Post-UNCED Series, Building Blocks for Africa 2025, Paper No. 11.
- [47] Schmitt-Sirguy C., 2004. Dynamique du Cd disponible du sol sous l'influence de l'hyperaccumulateur *Thlaspi caerulescens*. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Lorraine,157 p.
- [48] Tremel-Schaub A., Feix I., 2005. Contamination des sols-Transferts des sols vers les plantes. EDP Sciences, ADEME, 416 p.

## Optimum Design of 1KW Axial Flux Permanent Magnet Slotted TORUS Motor

**S.A. Gholamian**

*Electrical Engineering Department of K.N. Toosi University of Technology Tehran, Iran  
Electrical Engineering Department of Noushivani University of Technology Babol, Iran*

**M. Ardebil**

*Electrical Engineering Department of K.N. Toosi University of Technology Tehran, Iran*

**K. Abbaszadeh**

*Electrical Engineering Department of K.N. Toosi University of Technology Tehran, Iran*

**S. Mahmodi Charati**

*Electrical Engineering Department of Noushivani University of Technology Babol, Iran*

### Abstract

Double-sided axial flux PM motors (AFPM) are the most promising and widely used types especially in the system of driving electrical vehicles. In this article, the equation related to the design and dimensions of double-sided slotted axial flux motor with internal stator (TORUS) will be investigated. Then, an optimum design based on genetic algorithm with the purpose of increasing power density is presented. Consequently, the designed motor will be optimized again by Finite element method (FEM) and its results will be presented.

**Keywords:** Axial Flux PM Motors (AFPM), Power Density, Genetic Algorithm and Finite Element method (FEM)

### 1. Introduction

Now days, among different Configurations of permanent magnet electrical motors, axial flux PM motors are used in industry because of high efficiency and low volume [1, 2 and 5].

These Configurations of motors have many various motors that divided two groups Axial flux PM Motor (AFPM) and Radial flux PM Motor (RFPM). Axial flux PM Motor are different because of direction of flux movement with electrical usual machine because in these motors flux move parallel with machine shaft [6, 7].

The required electric motors in vehicles should have the features like, proper shape, low volume, high torque and power density, high reliability and high efficiency. In comparison that accomplished between axial flux motors and electric machines, the axial flux motors can be the best choice to be used in electrical vehicles [9].

For this cause many design of this motors built by researcher. In 1988 Spooner suggested axial flux permanent magnet slotless for application in automobile. The purpose of using this kind of axial

flux motor is the simple configuration and high efficiency [10]. In 1991, Jensen designed an axial flux machine with permanent magnetic, and without any slot, to be used in automobile [11].

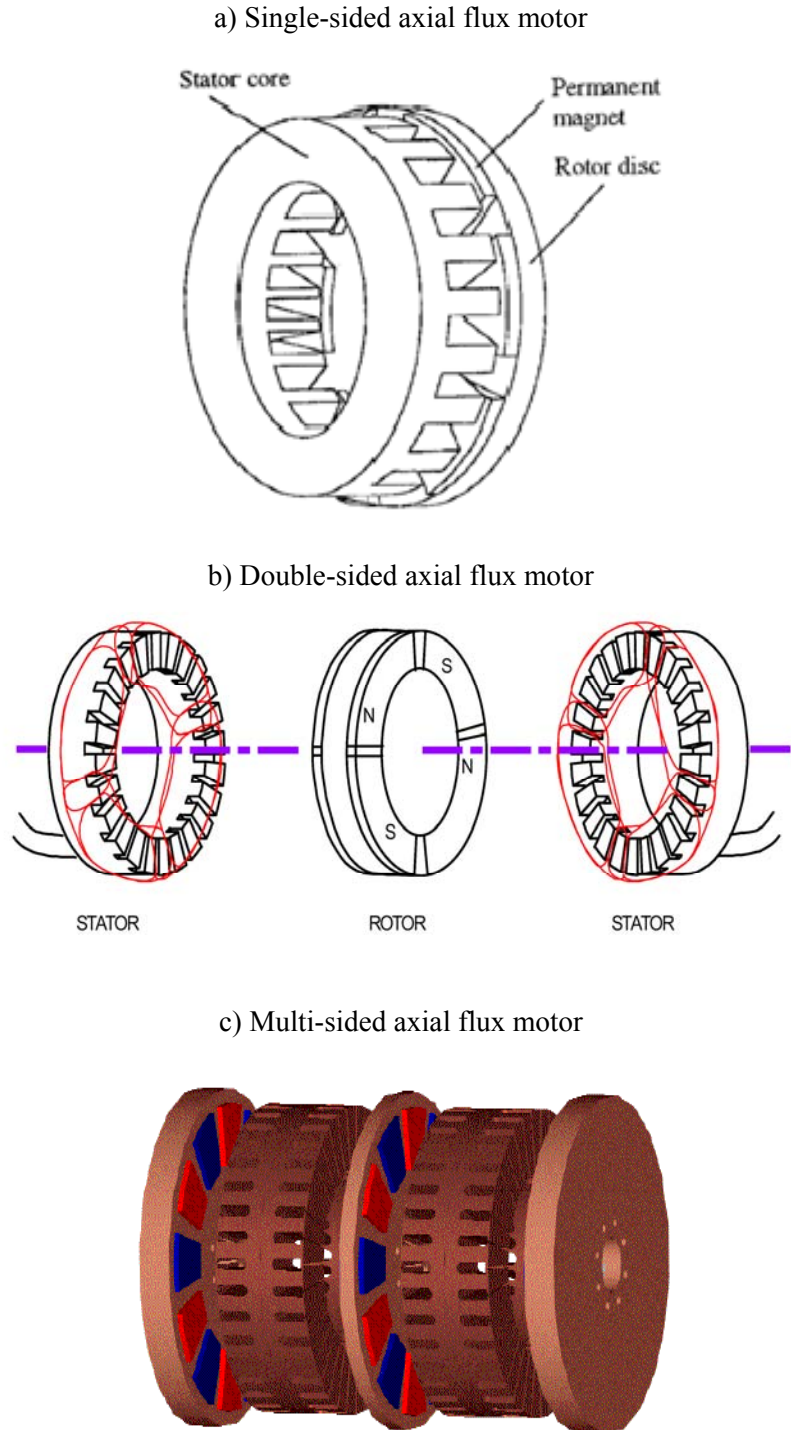
Motors similar to the above motors will be observed in other researches that they have some difference in the way of action and design, but the substructure of their work can be assumed unchanged. Typically refer to these references: [3, 12, 13, 14, 15 and 17].

Among the different configurations of axial flux motors, double-sides configuration, has the best and the most application. Thus axial flux motor are designed with slotted stators and without slot, that the slot configuration has the higher strength and power density that without one [1], [6].

It should be mentioned that in this article, software MATLAB7, was used for programming and software MAXWELL10 was used for simulation of finite element method (FEM) and all designing limits were considered.

## **2. AFPM Motors and Sizing Equation**

Axial flux permanent magnetic motors have single-sided, double-sided and multi-sided structures. Figure 1 show different structures of Axial flux motors.

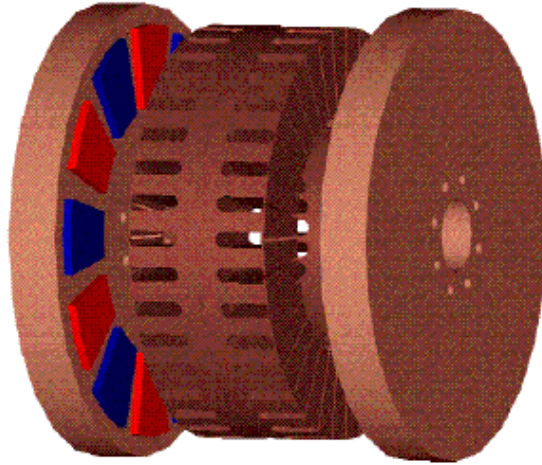
**Figure 1:** Different structures of AFPM

An easiest and cheapest structure of axial flux motors is single-sided. But because of producing low moment and bearing problem that result from high magnetism in air levels that causes closing two parts to each other using from this Configuration is not usual. We can defuse high magnetism between Rotor and Stator by using from second Stator or rotor that set up by first symmetrical. This structure called double-sided. Double-sided motors are the best and used more than others. Despite this fact that double-sided are suitable but any Configuration of several sides is the best solution for special application. For example, in cases that we need to high power with much limitation on outside diameter, increasing the number of disks is a good suggestion.



Slotted AFPM motors can be used as a stimulant part of electric vehicle because have featured like: low volume, high configuration, high torque, power density and high efficiency. A typical configuration of a slotted double-sided axial flux motor with internal stator is presented in figure2. More details of this configuration are discussed in [1, 5 and 7].

**Figure 2:** Typical configuration of a slotted TORUS



In this structure stator armature winding is as permanent magnet synchronous motors and permanent magnetic are placed surface of the rotor.

In general, if stator leakage inductance and resistance are neglected, the output power for any electrical machine can be expressed as

$$P_{\text{out}} = \eta \frac{m}{T} \int_0^T \mathbf{e}(t) \cdot \mathbf{i}(t) dt = m K_p \eta E_{\text{pk}} I_{\text{pk}} \quad (1)$$

where  $\mathbf{e}(t)$  and  $E_{\text{pk}}$  are phase air gap EMF and its peak value,  $\mathbf{i}(t)$  and  $I_{\text{pk}}$  are phase current and the peak phase current,  $\eta$  is machine efficiency,  $m$  is number of phases of the machine and  $T$  is period of one cycle of the EMF[1, 7].

The quantity  $K_p$  is termed the electrical power waveform factor and defined as

$$K_p = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{\mathbf{e}(t) \times \mathbf{i}(t)}{E_{\text{pk}} \times I_{\text{pk}}} dt = \frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{f}_e(t) \cdot \mathbf{f}_i(t) dt \quad (2)$$

Where  $f_e(t) = \mathbf{e}(t) / E_{\text{pk}}$  and  $f_i(t) = \mathbf{i}(t) / I_{\text{pk}}$  are the expressions for the normalized EMF and current waveforms. In order to indicate the effect of the current waveform, a definition for current waveform factor,  $K_i$ , is also useful,

$$K_i = \frac{I_{\text{pk}}}{I_{\text{rms}}} = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{\mathbf{i}(t)}{I_{\text{pk}}} \right)^2 dt \right]^{-0.5} \quad (3)$$

Where  $I_{\text{rms}}$  is the rms value of the phase current. The peak value of the phase air gap EMF for AFPM in (1) is given by:

$$E_{\text{pk}} = K_e N_{\text{ph}} B_g \cdot \frac{f}{p} \cdot (1 - \lambda^2) D_o^2 \quad (4)$$

Where  $K_e$  is the EMF factor which incorporates the winding distribution factor  $K_w$  and the per unit portion of the total air gap area spanned by the salient poles of the machine (if any),  $N_{\text{ph}}$  is the number of turn per phase,  $B_g$  is the flux density in the air gap,  $f$  is the converter frequency,  $p$  is the machine pole pairs,  $\lambda$  is the diameter ratio for AFPM defined as  $D_i/D_o$ ,  $D_o$  is the diameter of the

machine outer surface,  $D_i$  is the diameter of the machine inner surface. The peak phase current in (1) is given by:

$$\mathbf{I}_{pk} = \mathbf{A} \pi \mathbf{K}_i \frac{1+\lambda}{2} \cdot \frac{\mathbf{D}_o}{2\mathbf{m}_1 \mathbf{N}_{ph}} \quad (5)$$

Where  $m_1$  is number of phases of each stator and  $A$  is the electrical loading. Combining (1) through (5), the general purpose sizing equations take the following form for AFPM.

$$\mathbf{P}_{out} = \frac{\mathbf{m}}{\mathbf{m}_1} \frac{\pi}{2} \mathbf{K}_e \mathbf{K}_p \mathbf{K}_i \mathbf{A} \mathbf{B}_g \eta \frac{\mathbf{f}}{\mathbf{p}} (1-\lambda^2) \left(\frac{1+\lambda}{2}\right) \mathbf{D}_o^3 \quad (6)$$

The machine power density for the total volume can be defined as

$$\mathbf{P}_{den} = \frac{\mathbf{P}_{out}}{\frac{\pi}{4} \mathbf{D}_{tot}^2 \mathbf{L}_{tot}} \quad (7)$$

Where  $D_{tot}$  is the total machine outer diameter including the stack outer diameter and the protrusion of the end winding from the iron stack in the radial direction,  $L_{tot}$  is the total length of the machine including the stack length and the protrusion of the end winding from the iron stack in the axial direction [1, 7].

The outer surface diameter  $D_o$  can be written as

$$\mathbf{D}_o = \left( \mathbf{P}_{out} / \left( \frac{\pi \mathbf{m}}{2\mathbf{m}_1} \mathbf{K}_e \mathbf{K}_p \mathbf{K}_i \mathbf{A} \mathbf{B}_g \eta \frac{\mathbf{f}}{\mathbf{p}} (1-\lambda^2) \left(\frac{1+\lambda}{2}\right) \right) \right)^{1/3} \quad (8)$$

The machine total outer diameter  $D_{tot}$  for the TORUS motor is given by

$$\mathbf{D}_{tot} = \mathbf{D}_o + 2\mathbf{W}_{cu} \quad (9)$$

Where  $W_{cu}$  is the protrusion of the end winding from the iron stack in the radial direction. For the back-to-back wrapped winding, protrusions exist toward the axis of the machine as well as towards the outsides and can be calculated as

$$\mathbf{W}_{cu} = \frac{\mathbf{D}_i - \sqrt{\mathbf{D}_i^2 - \left( \frac{2\mathbf{A} \mathbf{D}_g}{\mathbf{K}_{cu} \mathbf{J}_s} \right)^2}}{2} \quad (10)$$

Where  $D_g$  is the average diameter of the machine,  $J_s$  is the current density and  $K_{cu}$  is the copper fill factor.

Note for the slotted topology machines the depth of the stator slot for slotted motors is  $L_{ss}=W_{cu}$ .

The axial length of the machine  $L_e$  is given by

$$\mathbf{L}_e = \mathbf{L}_s + 2\mathbf{L}_r + 2\mathbf{g} \quad (11)$$

Where  $L_s$  is axial length of the stator,  $L_r$  is axial length of the rotor and  $g$  is the air gap length.

The axial length of the stator  $L_s$  is

$$\mathbf{L}_s = \mathbf{L}_{cs} + 2\mathbf{L}_{ss} \quad (12)$$

The axial length of the stator core  $L_{cs}$  can be written as

$$\mathbf{L}_{cs} = \frac{\mathbf{B}_g \pi \alpha_p \mathbf{D}_o (1+\lambda)}{4\mathbf{p} \mathbf{B}_{cs}} \quad (13)$$

Where  $B_{cs}$  is the flux density in the stator core and  $\alpha_p$  is the ratio of average air gap flux density to peak air gap flux density.

The axial length of rotor  $L_r$  becomes

$$\mathbf{L}_r = \mathbf{L}_{cr} + \mathbf{L}_{PM} \quad (14)$$

Also, the axial length of the rotor core  $L_{cr}$  is

$$\mathbf{L}_{cr} = \frac{\mathbf{B}_u \pi \mathbf{D}_o (1+\lambda)}{8\mathbf{p} \mathbf{B}_{cr}} \quad (15)$$

Where  $B_{cr}$  is the flux density in the rotor disc core, and  $B_u$  is the attainable flux density on the surface of the PM.

The PM length  $L_{PM}$  can be calculated as

$$L_{PM} = \frac{\mu_r B_g}{B_r - \left(\frac{K_f}{K_d} B_g\right)} K_c g \tag{16}$$

Where  $\mu_r$  is the recoil relative permeability of the magnet,  $B_r$  is the residual flux density of the PM material,  $K_d$  is the leakage flux factor,  $K_c$  is the Carter factor,  $K_f = B_{gpk}/B_g$  is the peak value corrected factor of air gap flux density in radial direction of the AFPM motor. These factors can be obtained using FEM analysis [1, 5].

### 3. Genetic Algorithm and Optimization

Genetic algorithm (GA) is used a powerful optimization tool, in many different optimization problems GA is a search algorithm that is based on natural selection mechanisms and natural genetics. For using GA, parameters are coded to arrays with specific length in solution area. Each array has a definite fitness that depends on the application. Then GA search to find the optimal solution. GA includes chromosome representation of solution, initializing the first generation, cross over and mutation operators that considering the problem to be optimized, these parameters are defined. According to the illustrations at the beginning of this section, parameters of GA are coded as below [2, 18].

#### 3.1. Chromosome representation

Each chromosome in proposed GA is an array as shown in figure 3.

**Figure 3:** Chromosome representation

$B_g$	A	$N_{ph}$	g
-------	---	----------	---

In which g,  $N_{ph}$ , A and  $B_g$  are air gap length, number of turn per phase, electrical loading and flux density of air gap, respectively.

#### 3.2. Cross over

For instance, considering one point cross over in figure4. There is not the possibility of mutation in the proposed algorithm. In this paper, the method of tournament is used as the selection operator.

**Figure 4:** one point cross over

g	$N_{ph}$	A	$B_g$	Parent1
g	$N_{ph}$	A	$B_g$	Parent2
g	$N_{ph}$	A'	$B_g'$	Children1
A	$B_g$	A'	$B_g'$	Children2

#### 3.3. Fitness function

As mentioned at the beginning of this paper, the proposed algorithm will be used to find the optimum power density. The motor power density for the total volume can be defined as

$$P_{\text{den}} = \frac{P_{\text{out}}}{\frac{\pi}{4} D_{\text{tot}}^2 L_e} \quad (\text{W} / \text{m}^3) \quad (17)$$

where,  $D_{\text{tot}}$  is the total machine outer diameter including the stack outer diameter and the protrusion of the end winding from the iron stack in the radial direction,  $L_e$  is the total length of the machine including the stack length and the protrusion of the end winding from the iron stack in the axial direction

#### 4. Result of Optimizing Design by using Genetic Algorithm

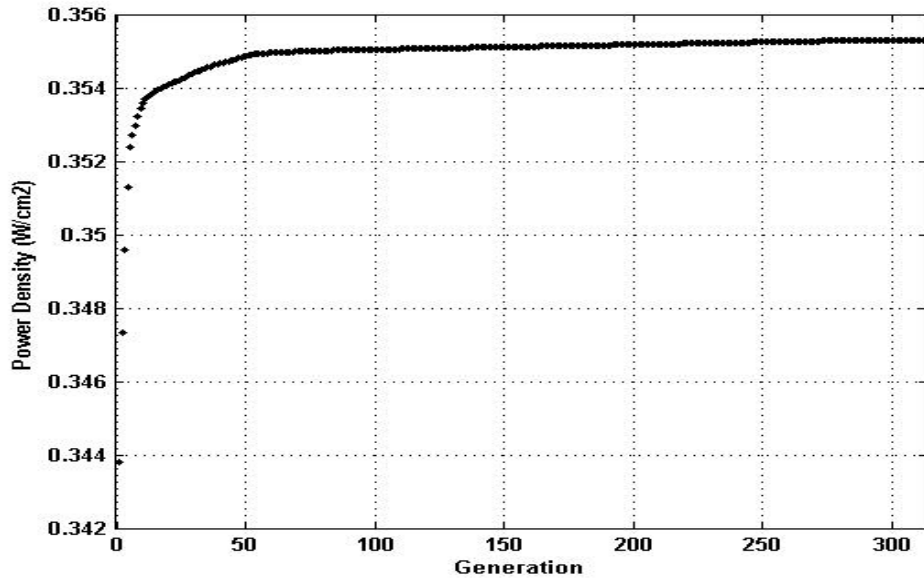
In this section, the result of designing double-sides slotted axial flux motor is presented by genetic algorithm. Nominal design parameters of this motor and related restriction are presented in table1.

**Table 1:** Nominal design parameters of motor

Design Parameters	Value
Voltage	48 V
Out put power	1 Kw
Number of poles	4
Number of phases	3
number of slots	15
Slot fill factor	0.8
Pole arc ratio	0.65
Slot per Pole per Phase	1
flux density in stator	1.2 T
flux density in rotor	1.2 T
Efficiency	90%
Residual flux density of PM	1.1 T

By choosing generation 1400, and after executing program several times, algorithm approaches to the optimal point, variations of fitness-function (power density) for the best chromosome in every generation are presented in figure5.

**Figure 5:** Power density vs. best chromosome in each generation



By executing program and its convergence after 313 generations, the related consequences to the optimal chromosome is shown in table2 that the first line shows the best choosing chromosome.

Dimensions of optimal double-sides slotted axial flux motor is tabulated in Table3.

**Table 2:** Optimal chromosomes

	$P_{den} \text{ W/cm}^3$	$N_{ph} \text{ Turn}$	$A \text{ A/m}$	$g \text{ mm}$	$B_g \text{ T}$
Chromosome1	0.35	74	15930	1	0.53
Chromosome2	0.35	82	17990	1.06	0.53
Chromosome3	0.35	74	15410	1.1	0.46
Chromosome4	0.35	74	15160	1.09	0.44
Chromosome5	0.35	84	17450	1.01	0.51

**Table 3:** Dimensions of optimal double-sides slotted AFPM motor

Design Parameters	Value
Voltage	48 V
Out put power	1 Kw
Number of poles	4
Number of phases	3
number of slots	15
Power density	$\text{w/cm}^3 \text{ } 0.37$
Outer diameter	150.8 mm
inner diameter	75 mm
PM length	4 mm
axial length of rotor	14.9 mm
axial length of stator	15.5 mm
protrusion of the end winding	17 mm
Slot depth	20 mm
Teeth width	7.9 mm

## 5. Simulation by 2D FEM

In order to analyze the magnetic circuit and power density, 2D Finite Element Analysis was used for double-sides slotted axial flux motor. The purpose of the FEM is to get the overall picture of the saturation levels in various parts of the machine, to compare the flux densities obtained from FEM and sizing analysis [1, 6 and 7].

### 5.1. FEM of the slotted AFPM Motor

The motor parameters and important design dimensions used for the double-sides slotted axial flux motor model are shown in Table 4. Figure 6 shows the flux distribution over two pole pair using FEM.

**Table 4:** Parameters and dimensions of slotted double-sides AFPM motor

Air gap length	1 mm
Slot depth	17 mm
Pole-arc-ratio	0.65
Axial length of stator core	15 mm
Axial length of rotor core	16 mm
Axial length of PM	5 mm
Outer diameter	150 mm
Inner diameter	77 mm

**Figure 6:** flux distribution over two pole pair

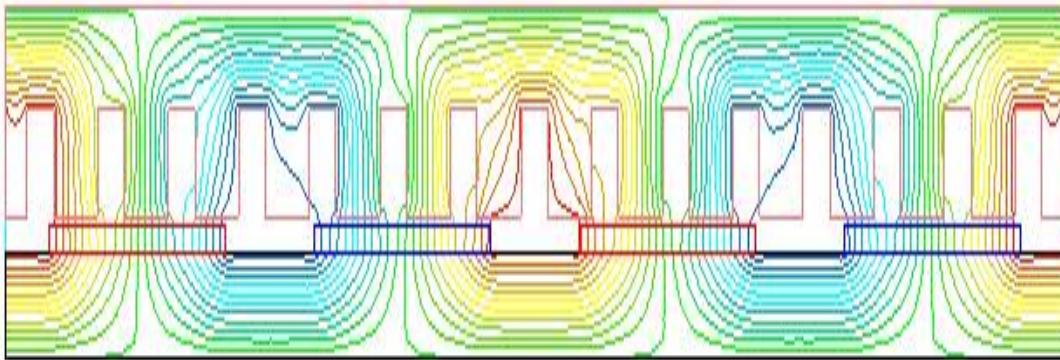
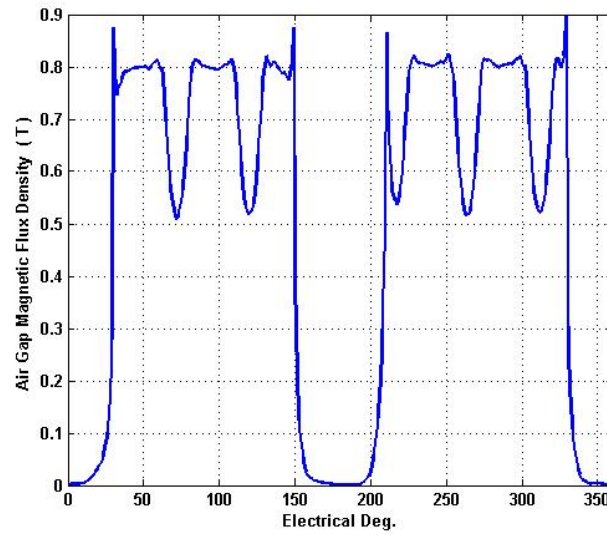


Fig. 7 shows the air gap Flux density over one pole at the average diameter ( $D_g$ ) using FEM and Fig. show the rotor yoke Flux density over one pole pair at the average diameter, too.

**Figure 7:** Air gap flux density over one pole pair

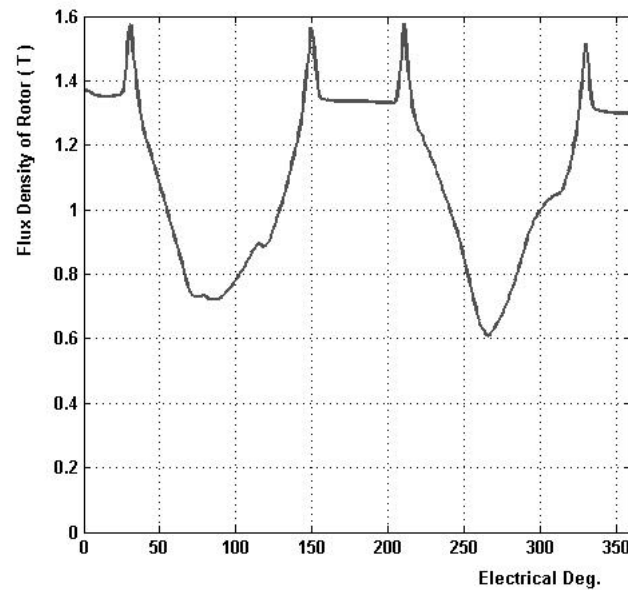


Average flux density comparison between the FEM results and sizing analysis results on various parts of the slotted AFPM motor at no load is tabulated in Table 5. The comparison table shows that the FEM results are consistent with the results obtained from the sizing analysis.

**Table 5:** Flux density comparison

	<b>Rotor</b>	<b>Air gap</b>	<b>Stator</b>
	<b><math>B_{cr}</math></b>	<b><math>B_{ag}</math></b>	<b><math>B_{cs}</math></b>
<b>FEM</b>	1.2 T	0.52 T	1.2 T
<b>Sizing Eq.</b>	1.11 T	0.5 T	1.1 T

**Figure 8:** Rotor yoke Flux density over one pole pair



## 6. Conclusion

Selecting an AFPM motors with higher power density is an important parameter in applications especially electric vehicles. The main goal of this paper has been optimal design of double-Sided Axial Flux Slotted PM Motors with maximum power density.

The relations of design and dimensions of this configuration of motors were investigated and among optimization methods, a genetic algorithm was used for optimization.

This paper has designed a 1kW, 48 V TORUS slotted axial motor aimed to be integrated a drive system for EVs.

A flux density comparison between the various parts of the optimal motor and obtained from the FEM and sizing analysis at no load agree well.

## References

- [1] S.A. Gholamian, M. Ardebili and K. Abbaszadeh; "Analytic and FEM Evaluation of Power Density for Various Types of Double-Sided Axial Flux Slotted PM Motors ", International Journal of Applied Engineering Research, Volume 3, Number 6 June (2008),pp. 749-762
- [2] S.A. Gholamian, M. Ardebili and K. Abbaszadeh; "Optimum Design of Slotless Double-Sided Axial Flux PM Motor using Genetic Algorithm", Proc. Of 16th ICEE, 2008.
- [3] N. A. Rahim, Hew Wooi Ping and M Tadjuddin, "Design of Axial Flux Permanent Magnet Brushless DC Motor for Direct Drive of Electric Vehicle", PES2007, IEEE.
- [4] Parag R. Upadhyay and K. R. Rajagopal; "FE Analysis and Computer-Aided Design of a Sandwiched Axial-Flux Permanent Magnet Brushless DC Motor", IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, VOL. 42, NO. 10, OCTOBER 2006.
- [5] Jacek F. Gieras, Rong-Jie Wang and Maarten J. Kamper, "Axial Flux Permanent Magnet Brushless Machines", Publisher: Springer; 1 edition (January 4, 2005).
- [6] Aydin, M.; Huang, S.; Lipo, T.A.; "Optimum design and 3D finite element analysis of non-slotted and slotted internal rotor type axial flux PM disc Machines", Power Engineering Society Summer Meeting, 2001. IEEE Volume 3, 15-19 July 2001 Page(s):1409 - 1416 vol.3.
- [7] Aydin, M.; Surong Huang; Lipo, T.A.; "Design and 3D electromagnetic field analysis of non-slotted and slotted TORUS type axial flux surface mounted permanent magnet disc machines", Electric Machines and Drives Conference, 2001. IEMDC 2001. IEEE International2001 Page(s): 645 – 651.
- [8] Caricchi, F.; Capponi, F.G.; Crescimbin, F.; Solero, L.; "Experimental study on reducing cogging torque and core power loss in axial-flux permanent-magnet machines with slotted winding", Industry Applications Conference, 2002. 37th IAS Annual Meeting. Conference Record of the Volume 2, 13-18 Oct. 2002 Page(s):1295 - 1302 vol.2.
- [9] S. Huang, J. Luo, F. Leonardi and T. A. Lipo, "A Comparison of Power Density for Axial Flux Machines Based on the General Purpose Sizing Equation", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol.14, No.2 June 1999, pp. 185-192.
- [10] E. Spooner and B. J. Chalmers, "Toroidally-wound, slotless, axial flux, permanent magnet, brushless-DC motor," in Conf. Rec. ICEM-88, Pisa, Italy, 1988, pp. 81–86.
- [11] C. C. Jensen, F. Profumo, and T. A. Lipo, "A low loss permanent magnet brushless DC motor utilizing tape wound amorphous iron," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 28, pp. 646–651, May/June 1992.
- [12] F. Caricchi, F. Crescimbin, E. Fedeli, and G. Noia, "Design and construction of a wheel directly coupled axial flux PM prototype for EV's," in Conf. Rec. IEEE-IAS '94, Denver, CO, 1994, vol. 1, pp. 254–261.
- [13] Z. Zhang, F. Profumo, and A. Tenconi, "Axial flux interior PM synchronous motors for electric vehicle drives," J. Electromotion, vol. 1, no. 1, pp. 23–29, 1994.



- [14] Federico Caricchi, Fabio Crescimbin, Eugenio Fedeli and Giuseppe Noia, " Design and Construction of a Wheel-Directly-Coupled Axial-Flux PM Motor Prototype for EVs", 1994 IEEE.
- [15] Upadhyay, P.R.; Rajagopal, K.R.; Singh, B.P.; " Design of a compact winding for an axial-flux permanent-magnet brushless DC motor used in an electric two-wheeler", Magnetics, IEEE Transactions on Volume 40, Issue 4, Part 2, July 2004 Page(s):2026 – 2028.
- [16] Kartik Sitapati and R. Krishnan;"Performance Comparisons of Radial and Axial Field, Permanent-Magnet, Brushless Machines", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 37, NO. 5, SEPTEMBER/OCTOBER 2001.
- [17] Profumo, F.; Zheng Zhang; Tenconi, A.; "Axial flux machines drives: a new viable solution for electric cars", Industrial Electronics, IEEE Transactions on Volume 44, Issue 1, Feb. 1997 Page(s):39 – 45.
- [18] Uler, G.F.; Mohammed, O.A.; Chang-Seop Koh: Design optimization of electrical machines using genetic algorithms. - Magnetics, IEEE Transactions on, Volume: 31 Issue: 3, 5-7 Jul 1994, Page(s): 2008 –2011.

## **Economic and Environmental Effect of Poultry Production in Akure Metropolis, Ondo State, Nigeria**

**R. A. Alabi**

*Institute for World Economics and International Management*

*University of Bremen, Bremen, Germany*

E-mail: bayobimb@yahoo.com

Tel: +491623846199

**O.F. Alabi**

*University of Ibadan, Ibadan, Oyo State, Nigeria*

E-mail: wole4helpzycom@yahoo.co.uk

**S.O. Abu**

*Department of Agricultural Economics and Extension*

*Ambrose Alli University, Ekpoma, Edo State, Nigeria*

E-mail: efeabu@yahoo.com

### **Abstract**

Poultry production has high priority rating among the other livestock because of its high energy and protein conversion ratio. The fact that poultry has short generation interval, relatively high net return on investment and relatively low land requirement, make it attractive to urban and city dwellers. However, poultry wastes are potential contributions to environmental pollution of air, watercourse, and its presence leads to increase in presence of flies. This study therefore evaluated the environmental and economic impact of poultry production in metropolis with particular evidence from Akure metropolis. The analysed data from 31 poultry farmers and 31 respondents living close to poultry farms in Akure metropolis showed that majority of the farmers are egg producers (43.48%) and that 51.72% of the poultry birds are being raised through battery cage system. The flock size ranges from 11 (Duck) to 10,000 (layers) with mean value of 4005 birds. Further analysis showed that the farms have average mortality of 5.34% and generate 8432kg/day of waste. The farm gave average discount rate of 11.84% to the people living close to the farm. This discount rate is offset by environmental hazard the residents of the area are being subjected to. Majority of the farms (48.78%) burnt their waste. About 48% of the people living around the poultry complained of offensive odour, 23.40% complained of increased presence of flies and 22.34% complained of excessive noise. The study therefore recommends inclusion of odour-control supplement in the poultry feed, processing of the waste into organic fertilizer and establishment of about 1.14 hectare of fish ponds per farm to take care of the poultry waste generated from the poultry farms.

**Keywords:** Economic, Environmental, Poultry, Production

## Introduction

Urban production of pork, poultry and beef and mutton is the fastest growing form of animal production. In 1996, it provided more than half of the global pork and poultry meat (broiler) production and 10% of the beef and mutton production (Smith and Olaloku, 2002). This represents 43% of total global meat production, up from 37% in 1991-93 (4). Moreover, it provided more than two thirds of the global egg supply. Livestock production is a socio-economic activity that could lead to improved income and quality of life (Daramola et al, 1999). Protein from livestock is needed for physical and intellectual development as well as for developing immunity against diseases (Atinmo and Akinyele, 1983). Poultry production, according to Oluyemi and Roberts (1982), has a high priority rating because poultry has better energy and protein conversion ratios than other animal species and that the net return on investment are relatively high. Furthermore, poultry products, among which are eggs and table birds (meat) are major sources of animal protein and contributor to the palatability of many dishes. Weight for weight, an egg contains about the same amount of animal protein as pork and poultry meat, about three quarters that of beef and two thirds that of whole milk cheese. Poultry egg rank second to cow's milk in terms of nutritive values, and is the most-economically produced animal protein. An average hen's egg contains about 13% protein, 12% fat and particularly rich in calcium, phosphorous and potassium (Akinwumi et al, 1979). The above importance and the fact that poultry production requires a relatively low land area for its activities, make its production attractive to urban and city dwellers (Ruthenberg, 1979). According to (Lowe and Badlock, 2000), livestock population in around Dar es Salaam increased drastically between 1985 and 1989, with poultry production going from 500,000 to 800,000. National statistics quoted by (Bliek, 1992) show that 83% of 420500 livestock kept in Nairobi is poultry. Baah (1994) indicated that poultry not only contribute to the protein need of the city and urban dwellers, but also benefit them economically with a resultant improvement in their standard of living. A survey carried out by (Gefu, 1992) in Zaria, revealed that 80% of respondents kept livestock, majority of which is poultry, primarily to meet immediate household needs and also to supplement family income. These statistics and others in literature demonstrate the growing importance of poultry rearing in urban and city centers. Despite the economic advantages enumerated above, poultry wastes are potential contributions to environmental pollution of air, watercourse, and its presence leads to increase in presence of flies (Haigh, 1992; Bullock, 1995). Poor air quality translates into health damage. Annual estimate of damage due to air pollution in California was between 3.6 – 11.6 billion dollars in 1992(Kazimi, 1997; Krupanik and Portney, 1991). Cumming and Schulze (1986) and Viscusi et al (1991) reported that environmental pollution lead to high risk of chronic bronchitis, a central type of chronic obstructive pulmonary disease alleged to be a major adverse effect of ozone pollution exposure. Therefore, livestock production should also consider how to improve quality of life. In order to achieve this end, various scholars have suggested that particular attention should be given to environmental protection (Gotts et al, 1992; Hodge, 1987; 2000; Whitby, 2000). Haigh (1992) said that effective environmental protection is predicated on awareness and education. Producers must be educated on the adverse environmental impacts of their production activities (Karen et al, 1997). They suggested that social, economic and environmental impact evaluation of livestock production activities should be continuous exercises. Asch and Seneca (1978); Brajer and Hall(1992); Freeman (1972) have reported that socio- economic variables of the people living in proximity to pollution generating unit determine their response to environmental pollution. Hodge (2000) assumed that the people are best judge of the environmental impact of poultry units close to them. This study is therefore designed to provide information on the economic and environmental impacts of poultry production in Akure metropolis (urban center). Following Hodge (2000) methodologies, the types and determinants of the environmental complaints given by the people living close to poultry production units were ascertained.

## Material and Methods

The data for this study were collected from poultry farmers in Akure. Akure is the capital of Ondo State, Nigeria. Ondo State has 18 Local Government Areas (LGAs), two of the LGAs are in Akure metropolis. The state lies between latitudes 5°45' and 7°52'N and longitudes 4°20' and 6°5'E. Its land area is about 15,500 square kilometers. Edo and Delta States bound Ondo State on the east, on the west by Ogun and Osun States, on the north by Ekiti and Kogi States and to the south by the Bight of Benin and the Atlantic Ocean. Ondo State is populated with 1,761,263 male and 1,679,761 female. The total population of 3,884,85 for Ondo State constitutes about 5% of total population of Nigeria (NPC, 2006).

**Figure 1:** Map of Nigeria showing Akure



Majority of the residents of Ondo State are farmers, civil servants and traders. Poultry farmers in Akure metropolis were purposively sampled for this study. Two sets of questionnaire designated A and B were prepared for the respondents. Questionnaire designated A were distributed to the 35 managers of the poultry farms (who can be owners of the farms or employed supervisors) in the metropolis. Questionnaire A contain 26 questions ranging from socio-economic characteristics of the managers, production activities, flock size, production systems, poultry types, quantity of waste disposed per day, waste disposal systems and numbers of complaint received from the people living close to the farms for the past five years. Thirty five Questionnaire B were distributed to the head of households living close to the poultry production units. It contains 20 questions which border on socio-economic characteristics of the head of the household living in close proximity with poultry farms, benefits they enjoyed for living close to the poultry farms, distance of the house to the poultry farm, types and number of complaints they made to the farm managers. 31 questionnaire A were found useful, all the 35 head of the households correctly filled their questionnaire and were used. The appropriate information in the two sets of questionnaire were coded and analysed using tables and percentage distribution. We followed Hodge (1978) by measuring number of complaints as index of negative environmental impact.

## Results and Discussions

Table 1 shows that the farm managers are in their prime and active age, which may help them in their production activities. Majority of them are educated beyond secondary school level (education up to secondary school level is scored 12). They have been rearing poultry in Akure city for more than 7 years. This is in confirmation with view of (Baah, 1994) that many people have been practicing urban agriculture for long period of time. As expected, majority of the farm managers are male (67.74%). Female concerned themselves with processing and marketing of poultry products. The average distance from the nearest building is 412m, this may lead to increase in flies and complaints of odour by the head of the household.

**Table 1:** Socio-economic characteristics of the farm and farm managers

Characteristics	Mean
Age	38.5 years
Education	14.06 years
Experience	7.23 years
Gender	67.74% male
Distance to the nearest household	0.412km

Source: Computed from Field Survey data.

Table 2 examines the types of poultry they produced. Majority of them (43.38%) are in egg production, and the least of the poultry bird is duck. Types of bird produced may be a reflection of pattern of demand for poultry products in the area. It can be said that there is demand for eggs in the city. Isah and Alabi (2000) reported high demand for egg in Edo State and low production of duck because duck is regarded as sacred bird.

**Table 2:** Poultry types reared in Akure Metropolis

Types	Frequency	Percentage
Layers[egg]	30	43.48
Pullets	22	31.88
Broilers	8	11.59
Cockerel	7	10.15
Duck	2	2.90
	69*	100

Source: Computed from Field Survey Data

\* More than 31 because of multiple responses.

Considering the total flock size for the 31 farms, layers constitute 57.52% and duck is the least (0.03%). The mean flock size are 2380, 3745, 1077, 349 and 18 for layers, cockerel, pullet, broiler and duck respectively as shown in Table 3.

**Table 3:** The flock size of each category of the poultry

Type	Size	Percentage	Average size
Layer	71400	57.52	2380
Cockerel	26215	21.12	3745
Pullet	23700	19.09	1077
Broiler	2790	2.25	349
Duck	36	0.03	18
	124141	100.0	

Source: Computed from Field Survey Data

Cockerels are raised primarily for sales during festival period. The mean flock size for the 31 farm is 4005. This shows that the poultry farms are on large scale and this may be the reason why they are located in the city to a guarantee market for their products. This is in consonance with the opinion of (Cumming and Schulze, 1986). He reported that intensive poultry production is located in proximity to city because of consideration for delivery and supply to urban markets. There is also reduction in transportation cost to the market if poultry production is located in peri-urban or urban than if production is located in the rural areas. The flock size ranges from 11 (duck) to 10,000 (layers).

Table 4 shows that 51.72% of the poultry are in battery cage system, 44.83% in deep litter system and 3.45% are in semi-intensive system. Rearing system has implication for environment, as it has been shown that deep litter system generates more waste than battery cage system (Oluyemi and Roberts, 1982). It should be noted that all the layers are in battery cages, while duck are raised in semi-intensive system, where they are allowed to roam in the day and confined in the night.

**Table 4:** Poultry rearing systems in Akure Metropolis

System	Flock Size	Frequency	Percentage
Battery Cage	71400	30	51.72
Deep litter	52705	26	44.83
Semi Intensive	36	2	3.45
	124141	* 58	100.00

Source: Computed from Field Survey Data

\*Multiple responses

Table 5 reveals that people living around the poultry houses enjoyed discount rate of 11.84%. This may be a great economic benefit for them, considering the fact that they have even been saved of the cost of transportation to the market to buy their eggs and poultry products. According to (Mosha, 1991), people living close to livestock production may enjoy discount benefit on their purchase and will be saved the cost of transporting to open market for their purchases. It is also assumed that the discount rate being enjoyed by the residents in proximity of the poultry houses may diminish their awareness of environmental impact of poultry production activities close to them, hence minimized complaints. The major source of environmental risk on poultry farm is the waste generated per day. Table 5 shows that on the average the farms produced more than 8 tonnes of waste per day. This is close to 8010kg expected from 4005 birds (the average number of bird on the farms is 4005), If Oluyemi and Roberts (1982) approach is used to estimate quantity of waste generate by the farms. If 8432kg of waste per day is combined with annual mortality rate of 5.34%, the amount of odour that are coming from poultry farms can be best imagined, especially if they are not properly disposed. The low mortality rate of 5.34% may be as a result of the facts that the poultry farms are located in the city where they can have access to good veterinary care. This is an important advantage of urban livestock farming and that may explain the reason for their increased attractiveness to town (Mosha, 1991). Another indicator of environmental hazard of poultry farming is the rate of sickness among the poultry workers. About 45 % of the workers complained of increased sickness since they joined the farms. It is note worthy that the majority of this sickness is catarrh which may be as a result of ammonia and methane generated from poultry waste if they are not properly disposed.

**Table 5:** Economic and Environmental Parameters in Poultry Production in Akure Metropolis

Parameters	Mean
Discount rate	11.84%
Quantity of waste produced by the farm	8432kg/day
Mortality Rate	5.34%
Complaint of Sickness by poultry workers	45.16%

Source: Computed from Field Survey Data

Table 6 examines the waste disposal systems by the poultry farmers. Majority (48.78%) burns their waste. Burning has been associated with air pollution (Asch and Seneca, 1978), decreased air quality will affect the well-being of the people living around the burning point. About 39% of the waste is washed into the stream, which may result in water pollution, only 4.88% used modern incinerator. It is noteworthy that none of them compost their waste into organic fertilizer. About 7% dumped the waste on the agricultural land, the excess, which has been proved to be dangerous to the soil (Bough, 1992).

**Table 6:** Waste Disposal Systems in Poultry Production in Akure Metropolis

Systems	Frequency	Percentage
Burning	20	48.78
Incinerator	2	4.88
Washing into the Stream	16	39.02
Dumpling on Land	3	7.32
Composting	-	0.00
	41*	100.00

Source: Computed from Field Survey Data

\* Multiple Responses

Table 7 shows that majority of the respondents (47.87%) complained of odour. This odour which consists of methane, ammonia, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) are injurious to the people. The next major complaint (23.40%) is increased in flies since the establishment of the poultry farm. Flies are transmitters of different diseases and their presence is a great nuisance to the people living around the poultry houses (Bough, 1992). About 22 % complained of excessive noise. Noise has been categorized as “invisible pollutant”, As a result of environmental pollutants emanating from poultry houses; the environmentalists in developed countries have classified poultry as an offensive enterprise (Kazimi, 1997).

**Table 7:** Types of complaint by the people living around the poultry farms

Complaint	Frequency	Percentage
Odour	45	47.82
Noise	21	22.34
Pollution of water course	0	0.00
Dumping of waste of agric land	3	3.19
Dumping of waste on the road	3	3.19
Increased flies	22	23.40
	94*	100.00

Source: Computed from Field Survey Data

\* Multiple Responses

## Conclusion and Recommendations

The study indicates that locating poultry production unit in the city and close to the people, has environmental impacts on the people if measured by their number of complaints. The poultry farmers must therefore find ways of mitigating the effects of these environmental pollutions. This can be done

by incorporating odour minimizing supplement in the poultry feeds. The waste should be processed and be sold or used on the farm as organic fertilizer. Another important way of disposing this waste is through integrated farming system. It has been shown that one hectare of fishpond can make use of waste generated by 3,500 birds<sup>+</sup>. Going by that estimate, the poultry farmers in Akure metropolis need just 1.14 hectare of fishpond on the average to mitigate all the environmental complaints of the people living around the poultry houses in the metropolis.

## References

- [1] Akinwumi, T.A.; Ikpi, A.C. and S.O. Olayide (1979). Economic Analysis of Nigeria Poultry Industry: Study Commissioned by the Federal Livestock Department, Lagos.
- [2] Asch, P. and J.J. Seneca (1978). Some Evidence on the Distribution of Air Quality. *Land Economics* 54: 279 – 297.
- [3] Atinmo, O. and O. Akinyele (1983). Nutrition and Food Policy in Nigeria. National Institute for Policy and Strategic Studies, Kuru, Jos. 3 – 10
- [4] Baah, I (1994). Selection and Evaluation of Food Stuffs for Urban and Peri-Urban Small Ruminant Production Systems in Ghana. Ph.D. Thesis University of British Columbia
- [5] Brajer, V. and J. V. Hall (1992). Recent Evidence on the Distribution of Air Quality. *Land Economics* 54: 279-297.
- [6] Bliet, V. (1992). Urban Agriculture. *Possibility for Economical Agriculture in Urban Environment as a Strategy for Sustainable Agriculture*. Leusden, E.T.C
- [7] Bough, J (1992). Is Waste a Nuisance? *Farm Management* 8 (4): 163 – 171.
- [8] Bullock, D. K. S. E. Poe, K. L. Farrel – Poe and B. E. Miller (1995). Waste Management Cost Estimator: An Animal Waste Cost Estimation Computer Model. *Journal of Natural Resource and Life Science* 24 (2): 161 – 163.
- [9] Cummings, D. B and W. Schulze (1986). *Valuing Environmental Goods: An Assessment of the Contingent Valuation Method*. Rowman and Allanheld, Totowa, NJ
- [10] Daramola, A.G.; J.O. Okunlola and O.B. Ogunmilade (1999). Economics of Rabbit Production in South-Western Nigeria. *Trop. Journal of Animal Scienc* 2 (2): 163 – 167.
- [11] Freeman, A. M. “Distribution and Environmental Quality”, In: *Environmental Quality Analysis* (A Kneese and B. Bower, (eds), Johns Hopkins Press, Baltimore
- [12] Gefu, J.O (1992). Part Time Farming as Urban Survival Strategy. A Nigerian Case Study. In: Baker, J. and Pedersen, P.O. *The Rural-Urban Interface in Africa*. Scandinavian Institute of Africa Studies, Stockholm
- [13] Gotts, D. Edwards- Jones and M. McGregor (1992). An Environmental Strategy for Agriculture: The Potential Impact of Legislation. *Farm Management* 8 (1): 9- 18.
- [14] Haigh, N. X (1992). *EEC Policy and Great Britain* (2<sup>nd</sup> edition) Longman, London
- [15] Hall, J., Winer, M. Kleinman, F. Lurmann, V. Brajer and S. Colome (1992). Valuing the Wealth Benefits of Clean Air. *Science* 255, 812-817.
- [16] Hodge, I (1978). On Local Environmental Impacts of Livestock Production. *Journal of Agricultural Economic* 29 (3): 279-238.
- [17] Hodge, I (2000). Agric – Environmental Relationships and the Choice Policy Mechanism. *The World Economy* 25, 257-273.
- [18] Isah, O.A. and R. A Alabi (2000). Meat Consumers’ Preference in Esan West L.G.A. of Edo State. *Tropical Animal Production Investigations* 3(2): 181 – 187.
- [19] Jesdapipat, S (1998). Area Wide Integration Of Crop and Livestock Activities in The Viscosity Of Bangkok. Regional Workshop On Area Wide Integration Of Crop- Livestock Activities. FAO Regional Office, Bangkok, Thailand.

<sup>+</sup> See <http://www.virtualcentre.org/en/dec/toolbox/Tech/191FF.1>



- [20] Karen, Palmer, Signman, H and M Walls(1997). The Cost of Reducing Municipal Solid Waste. *Journal of Environmental Economics and Management* 33, 128-150.
- [21] Kazimi, C (1997). Evaluating the Environmental Impact of Alternative – Fuel Vehicles: *Journal of Environmental Economics and Management* 33, 163-185.
- [22] Krupanik, A. and P. Portney(1991). Controlling urban air pollution. A Benefit Cost Assessment. *Science* 252, 522-528.
- [23] Lowe, P. and Badlock, D(2000). Integration of Environmental Objectives. In *CAP Regimes and the European Country Side*: Walling Ford, CAB International.
- [24] Mosha, A.C(1991). Urban Farming Practiced in Tanzania. *Review of Rural and Urban Planning in South and East Africa* 1: 83 – 92.
- [25] Oluyemi, J.A. and F.A Roberts, (1982). *Poultry Production in Warm West Climate*. Macmillan, London
- [26] NPC(2006). Population Figures. National Population Commission, Abuja Nigeria Available via internet at [www.nigerianstat.gov.ng](http://www.nigerianstat.gov.ng)
- [27] Ruthenberg, H(1979). *Farming Systems in the Tropics*. Oxford University Press, 28 – 70
- [28] Smith, O.B. and E.A. Olaloku(2002). *Peri-urban Livestock Production Systems: Cities Feeding People*. CFP Report Series Report 24
- [29] Viscusi, W. K. Magat, W. and J. Huber(1991). Pricing Environmental Health Risks: Survey Assessments of Risk- Risk and Risk-Dollar Trade-offs. *Journal of Environmental Economics and Management* 21, 32-51.
- [30] Whitby, M(2000). Challenges and Options for the U.K Agric-environment. *Journal of Agric Economics* 51 (3): 317-332.

# Fixed Coefficients Block Backward Differentiation Formulas for the Numerical Solution of Stiff Ordinary Differential Equations

**Zarina Bibi Ibrahim**

*Department of Mathematics, Faculty of Science, Universiti Putra Malaysia  
43400 UPM, Serdang, Selangor, Malaysia  
E-mail: zarina@math.upm.edu.my*

**Mohamed Suleiman**

*Department of Mathematics, Faculty of Science, Universiti Putra Malaysia  
43400 UPM, Serdang, Selangor, Malaysia*

**Khairil Iskandar Othman**

*Department of Mathematics, Faculty of Information Technology and Science Quantitative  
Universiti Teknologi MARA, 40450 Shah Alam, Selangor, Malaysia  
E-mail: khairil@tmsk.uitm.edu.my*

## Abstract

This paper focuses on the derivation of implicit 2-point block method based on Backward Differentiation Formula (BDF) which will be called BBDF of variable step size for solving first order stiff initial value problems (IVPs) for Ordinary Differential Equations (ODEs). The method presented is similar to the form of standard BDF. This allows us to store the coefficients of the  $y$  values and thus avoiding calculating the differentiation coefficients at each step but robust enough to allow for step size variation. Plots of their regions of absolute stability for the method are also presented. The efficiency of the 2-point BBDF is compared with the conventional variable step variable order BDF (VSVOBDF) method. Numerical results indicate that the resulting 2-point BBDF method outperform the VSVOBDF method in both execution time and accuracy.

**Keywords:** Backward Differentiation Formula, block, stiff.

## 1. Introduction

Many fields of application, notably in science and engineering, yield initial value problems involving systems of Ordinary Differential Equations (ODEs) and many of these problems are known as stiff ODEs. Stiff problems are characterized by the presence of negative eigenvalues of large magnitude. Most stiff systems are difficult to solve since many numerical methods have stability restriction on the stepsize. There have been various definitions of stiffness given in the literature with respect to the linear systems of first order equations,

$$\tilde{y}' = A\tilde{y} + \tilde{\phi}(x), \quad \tilde{y}(a) = \tilde{\eta}, \quad a \leq x \leq b \quad (1.1)$$

where

$$\tilde{y}^T = (y_1, y_2, \dots, y_s), \quad \tilde{\eta}^T = (\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_s)$$

For simplicity, we choose the definition of stiffness given by Lambert [7], which is as follows.

**Definition:** The linear systems (1.1) is said to be stiff if

(i)  $\text{Re}(\lambda_i) < 0, i = 1, \dots, s$  and

(ii)  $\max_i |\text{Re}(\lambda_i)| \gg \min_i |\text{Re}(\lambda_i)|$  where  $\lambda_i$  are the eigenvalues of  $A$ , and the ratio  $\frac{\max_i |\text{Re}(\lambda_i)|}{\min_i |\text{Re}(\lambda_i)|}$

is called the stiffness ratio or stiffness index.

Theoretically, numerical methods that is suitable for stiff ODEs is usually implicit, which require repeated solution of systems of linear equations with coefficient matrix,  $I - h\beta J$ , here  $J$  is the Jacobian matrix.

The paper is organized as follows. Literature review of block method is given in Section 2. In Section 3, we formulate the methods using Lagrange polynomial as the interpolating polynomial. The plots of absolute stability region of the derived BBDF method is presented in Section 4 and the zero stability is analyzed. In Section 5, the implementation of the BBDF method with Newton Iteration is given. Finally, in Section 6, we give the numerical results of the BBDF method as compared to variable step size variable order BDF (VSVOBDF) code developed by Suleiman [11] which has proven to be efficient in solving stiff problems.

## 2. Block Methods for Solving ODEs

Block method can be formulated either with one step method or multi step method. In one step block method, the approximations values generated in each new block depend only on the last (i.e., rightmost) point of the preceding block. In a multi step (predictor-corrector) block method, all points of the previous block are used in generating the approximation values for the new block.

Among the earliest research on block methods was proposed by Shampine and Watts [10,13] with block implicit one-step methods, Chu and Hamilton [3] with multi-block methods, Voss and Abbas [12] with block predictor-corrector schemes. Other block methods are discussed by several researchers such as Houwen and Sommeijer [5] with block Runge-Kutta methods, Omar [9] with block method based on Adams formulas for solving higher order ODEs and Majid [8] with a variable step size variable order Adams type block method for solving non stiff ODEs.

Motivated by the fact that very few work been done in solving stiff ODEs using block method, we develop a variable step size block methods based on Backward Differentiation Formula which will be called BBDF. In BBDF method, all the coefficients will be stored with automatic control of the step size for the purpose of optimizing performance in terms of precision and computation time but yet preserving the characteristic of the variable step size.

## 3. Formulation of the Variable Step Size 2-Point BBDF Method

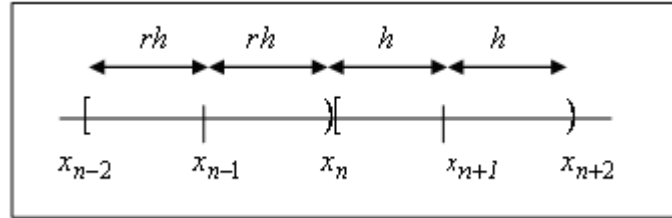
In this section, we consider of block methods for the numerical solution of ODEs

$$y' = f(x, y), y(a) = y_0, a \leq x \leq b. \tag{3.1}$$

The method described here is a block method of variable step size based on Backward Differentiation Formulae for solving stiff ODEs. In a 2-point Block BBDF, two solution i.e.  $y_{n+1}$  and  $y_{n+2}$  values are computed simultaneously. Hence, given the points  $y_{n-2}, y_{n-1}$  and  $y_n$  as backvalues, we derive a formula which defines the next block of approximations  $y_{n+1}$  and  $y_{n+2}$ . We limit the increase and decrease of the step size to ensure zero stability and yet optimizing the performance in terms of accuracy and computational efficiency.

The step size of the computed block is  $2h$  and the step size of the previous block is  $2rh$  where  $r$  is the step size ratio between the current and the previous block (Refer Figure 3.1). In this case, the values considered were  $r = 1$ ,  $r = 2$  and  $r = 5/8$  which corresponds respectively to constant step size, half the step size and increment of the step size by a factor of 1.6. We do not consider doubling the step size, i.e  $r = 0.5$  due to zero instability.

**Figure 3.1:** 2-point block method of variable step size



Consider the polynomial  $P_k(x)$  of degree  $k$  which interpolates the points  $(x_{n-2}, y_{n-2}), (x_{n-1}, y_{n-1}), \dots, (x_{n+2}, y_{n+2})$ .

$$P_k(x) = \sum_{j=0}^k L_{k,j}(x) y(x_{n+1-j}) \quad (3.2)$$

where

$$L_{k,j}(x) = \prod_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^k \frac{(x - x_{n+1-i})}{(x_{n+1-j} - x_{n+1-i})} \text{ for each } j = 0, 1, \dots, k.$$

Define  $s = \frac{x - x_{n+1}}{h}$ . We replace  $f(x, y)$  in (3.1) by polynomial (3.2) gives

$$\begin{aligned} P(x_{n+1} + sh) &= \frac{(2r+1+s)(r+1+s)(1+s)s}{4(1+r)(2+r)} y_{n+2} \\ &+ \frac{(2r+1+s)(r+1+s)(1+s)(s-1)}{-(1+r)(1+2r)} y_{n+1} + \frac{(2r+1+s)(r+1+s)(s)(s-1)}{4r^2} y_n \\ &+ \frac{(2r+1+s)(1+s)(s)(s-1)}{-r^2(1+r)(2+r)} y_{n-1} + \frac{(r+1+s)(1+s)(s)(s-1)}{4r^2(1+r)(1+2r)} y_{n-2} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Differentiating (3.3) once with respect to  $s$  at the point  $x = x_{n+1}$  which give  $s = 0$ . Evaluating at gives the following

$$\begin{aligned} P'(x) = P'(x_{n+1}) &= hf_{n+1} = \frac{1+2r^2+3r}{4(1+r)(2+r)} y_{n+2} + \frac{2+3r}{(1+r)(1+2r)} y_{n+1} \\ &+ \frac{-1-2r^2-3r}{4r^2} y_n + \frac{1+2r}{r^2(1+r)(2+r)} y_{n-1} \\ &+ \frac{-1-r}{4r^2(1+3r+2r^2)} y_{n-2} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Similarly, differentiating (3.3) once with respect to  $s$  at the point  $x = x_{n+2}$  and substituting  $s = 1$ , we get

$$P'(x) = P'(x_{n+2}) = hf_{n+2} = \frac{20+6r^2+24r}{4(1+r)(2+r)} y_{n+2} - \frac{8+4r^2+12r}{(1+r)(1+2r)} y_{n+1}$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{4 + 2r^2 + 6r}{4r^2} y_n + \frac{-4 - 4r}{r^2(1+r)(2+r)} y_{n-1} \\
 & + \frac{4 + 2r}{4r^2(1 + 3r + 2r^2)} y_{n-2}
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

On substituting  $r = 1, 2,$  and  $r = 5/8$  into (3.4) and (3.5) gives the coefficients for the first and second point of the BBDF method. These values of  $r$  are considered to ensure zero stability and computational efficiency. The method will be unstable if  $r$  is greater than  $5/8$ .

(i) for  $r = 1$

$$\left. \begin{aligned}
 -\frac{1}{10} y_{n-2} + \frac{3}{5} y_{n-1} - \frac{9}{5} y_n + y_{n+1} + \frac{3}{10} y_{n+2} &= \frac{6}{5} h f_{n+1} \\
 \frac{3}{25} y_{n-2} - \frac{16}{25} y_{n-1} + \frac{36}{25} y_n - \frac{48}{25} y_{n+1} + y_{n+2} &= \frac{12}{25} h f_{n+2}
 \end{aligned} \right\} \tag{3.6}$$

(ii) for  $r = 2$

$$\left. \begin{aligned}
 -\frac{3}{128} y_{n-2} + \frac{25}{128} y_{n-1} - \frac{225}{128} y_n + y_{n+1} + \frac{75}{128} y_{n+2} &= \frac{15}{8} h f_{n+1} \\
 \frac{2}{115} y_{n-2} - \frac{3}{23} y_{n-1} + \frac{18}{23} y_n - \frac{192}{115} y_{n+1} + y_{n+2} &= \frac{12}{23} h f_{n+2}
 \end{aligned} \right\} \tag{3.7}$$

(iii) for  $r = 5/8$

$$\left. \begin{aligned}
 -\frac{208}{775} y_{n-2} + \frac{6912}{5425} y_{n-1} - \frac{13689}{6200} y_n + y_{n+1} + \frac{351}{1736} y_{n+2} &= \frac{117}{124} h f_{n+1} \\
 \frac{12544}{29875} y_{n-2} - \frac{53248}{29875} y_{n-1} + \frac{74529}{29875} y_n - \frac{2548}{1195} y_{n+1} + y_{n+2} &= \frac{546}{1195} h f_{n+2}
 \end{aligned} \right\} \tag{3.8}$$

Note that the above formula is in the form of a constant step size BDF. Therefore we do not have to calculate the differentiation coefficient at every step as happened in some current codes.

In the following sections, we construct the stability region of the BBDF methods.

#### 4. Stability of the BBDF Methods

In this section, the stability properties of the proposed methods are analyzed to demonstrate their relevance in solving stiff problems. For the method to be of practical importance in solving stiff problems it must possess at least almost  $A$ -stable property.

**Definition:** A numerical method is called  $A$ -stable if the whole of the left half plane,  $\{z : \text{Re}(z) \leq 0\}$  is contained in the region  $\{z : |R(z)| \leq 1\}$  where  $R(z)$  is called the stability polynomial of the method.

The linear stability properties of the methods are determined through application of the standard linear test problem

$$y' = \lambda y, \lambda < 0, \lambda \text{ complex.} \tag{4.1}$$

(i) Stability of 2-point BBDF method when  $r = 1$

Application of (3.6) to solve (4.1) where  $f(x, y) = \lambda y$ , then gives the following

$$\left. \begin{aligned}
 y_{n+1} &= \frac{1}{10} y_{n-2} - \frac{3}{5} y_{n-1} + \frac{9}{5} y_n - \frac{3}{10} y_{n+2} + \frac{6}{5} h \lambda y_{n+1} \\
 y_{n+2} &= -\frac{3}{25} y_{n-2} + \frac{16}{25} y_{n-1} - \frac{36}{25} y_n + \frac{48}{25} y_{n+1} + \frac{12}{25} h \lambda y_{n+2}
 \end{aligned} \right\} \tag{4.2}$$

The matrix formulation of (4.2) is given by

$$\begin{bmatrix} \left(1 - \frac{6}{5}h\lambda\right) & \frac{3}{10} \\ -\frac{48}{25} & \left(1 - \frac{12}{25}h\lambda\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{n+1} \\ y_{n+2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{3}{5} & \frac{9}{5} \\ \frac{16}{25} & -\frac{36}{25} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{n-1} \\ y_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{10} \\ 0 & -\frac{3}{25} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{n-3} \\ y_{n-2} \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

We now rewrite (4.3) in the manner where the stability equation can be discuss in a simpler way.

Let  $n = mr$  where  $m$  is the block number and  $r$  is the number of points in the block. In this case,  $r = 2$  then  $n = 2m$ . Therefore,

$$Y_m = [y_n, y_{n+1}, \dots, y_{n+r-1}]^T$$

$$Y_m = \begin{bmatrix} y_{2m+1} \\ y_{2m+2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{n+1} \\ y_{n+2} \end{bmatrix}, Y_{m-1} = \begin{bmatrix} y_{2(m-1)+1} \\ y_{2(m-1)+2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{n-1} \\ y_n \end{bmatrix}, Y_{m-2} = \begin{bmatrix} y_{2(m-2)+1} \\ y_{2(m-2)+2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{n-3} \\ y_{n-2} \end{bmatrix}$$

Equation (4.3) is equivalent to  $AY_m = BY_{m-1} + CY_{m-2}$  with the matrix coefficients specified as

$$A = \begin{bmatrix} \left(1 - \frac{6}{5}h\lambda\right) & \frac{3}{10} \\ -\frac{48}{25} & \left(1 - \frac{12}{25}h\lambda\right) \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} -\frac{3}{5} & \frac{9}{5} \\ \frac{16}{25} & -\frac{36}{25} \end{bmatrix} \text{ and } C = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{10} \\ 0 & -\frac{3}{25} \end{bmatrix}$$

The stability polynomial  $\pi(t, H)$  associated with the method of (4.3) is given by  $\det(At^2 - Bt - C)$ .

$$\begin{aligned} \pi(t, H) &= \det(At^2 - Bt - C) \\ &= \frac{1}{125}t - \frac{9}{25}t^2 - \frac{18}{125}Ht^2 - \frac{153}{125}t^3 - \frac{252}{125}Ht^3 + \frac{197}{125}t^4 - \frac{42}{25}Ht^4 + \frac{72}{125}H^2t^4 \end{aligned} \quad (4.4)$$

where  $H = h\lambda$ .

To determine for zero stable, we substitute  $H = h\lambda = 0$  to the equation (4.4). This would yield

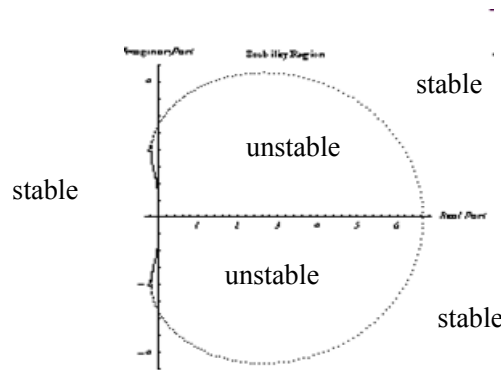
$$\pi(t, 0) = \frac{197}{125}t^4 - \frac{153}{125}t^3 - \frac{9}{25}t^2 + \frac{1}{125}t \quad (4.5)$$

Solving  $\frac{197}{125}t^4 - \frac{153}{125}t^3 - \frac{9}{25}t^2 + \frac{1}{125}t = 0$  yields the roots  $t = 0$ ,  $t = 1$ ,  $t = -0.244142$ , and  $t = 0.0207918$ .

Hence, the 2-point BBDF when  $r = 1$  is zero stable.

Next, consider the determination of the absolute stability region of the 2-point BBDF method in the  $h\lambda$  plane by solving  $\det(At^2 - Bt - C) = 0$ . The boundary of the stability region is given by the set of points determined by  $t = e^{i\theta}$ ,  $0 \leq \theta \leq 2\pi$ . In order to determine the boundary of the stability region, it is necessary to test the root condition of the stability polynomial at numerous grid points in the stability space. The stability region is obtained by finding the region for which  $|t| < 1$ . Below we present the stability region  $R$  which corresponds to the 2-point BBDF method when  $r = 1$  drawn in the  $h\lambda$  plane using Mathematica 5.1. The stability region which corresponds to the 2-point BBDF method when  $r = 1$  lies outside the close region and is shown in Figure 4.1.

**Figure 4.1:** Stability region for 2-point BBDF method when  $r = 1$



The BBDF method when  $r = 1$  is almost  $A$ -stable. Next, we consider the determination of the absolute stability region of the 2-point BBDF when  $r = 2$ .

(ii) Stability of 2-point BBDF method when  $r = 2$

On substituting (4.1) into (3.7) gives

$$\left. \begin{aligned} y_{n+1} &= \frac{3}{128}y_{n-2} - \frac{25}{128}y_{n-1} + \frac{225}{128}y_n - \frac{75}{128}y_{n+2} + \frac{15}{8}h\lambda y_{n+1} \\ y_{n+2} &= -\frac{2}{115}y_{n-2} + \frac{3}{23}y_{n-1} - \frac{18}{23}y_n + \frac{192}{115}y_{n+1} + \frac{12}{23}h\lambda y_{n+2} \end{aligned} \right\} \quad (4.6)$$

The matrix formulation of (4.6) is given by

$$\begin{bmatrix} \left(1 - \frac{15}{8}h\lambda\right) & \frac{75}{128} \\ -\frac{192}{115} & \left(1 - \frac{12}{23}h\lambda\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{n+1} \\ y_{n+2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{25}{128} & \frac{225}{128} \\ \frac{3}{23} & -\frac{18}{23} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{n-1} \\ y_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & \frac{3}{128} \\ 0 & -\frac{2}{115} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{n-3} \\ y_{n-2} \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

Equation (4.7) is equivalent to  $AY_m = BY_{m-1} + CY_{m-2}$  where

$$A = \begin{bmatrix} \left(1 - \frac{15}{8}h\lambda\right) & \frac{75}{128} \\ -\frac{192}{115} & \left(1 - \frac{12}{23}h\lambda\right) \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} -\frac{25}{128} & \frac{225}{128} \\ \frac{3}{23} & -\frac{18}{23} \end{bmatrix} \text{ dan } C = \begin{bmatrix} 0 & \frac{3}{128} \\ 0 & -\frac{2}{115} \end{bmatrix}.$$

The stability polynomial associated with the method of (3.7) is given by  $\det(At^2 - Bt - C)$ .

$$\begin{aligned} \pi(t, H) &= \det(At^2 - Bt - C) \\ &= \frac{t}{2944} - \frac{289t^2}{2944} - \frac{3Ht^2}{92} - \frac{173t^3}{92} - \frac{1155Ht^3}{736} + \frac{91t^4}{46} - \frac{441Ht^4}{184} + \frac{45H^2t^4}{46} \end{aligned} \quad (4.8)$$

where  $H = h\lambda$ . To determine for zero stable, substitute  $H = 0$  into (4.8).

$$\pi(t, 0) = \frac{1}{2944}t - \frac{289}{2944}t^2 - \frac{173}{92}t^3 + \frac{91}{46}t^4 \quad (4.9)$$

Solving (4.9) yields the roots  $t = 0$ ,  $t = 1$ ,  $t = -0.0527082$ , and  $t = 0.00325762$ .

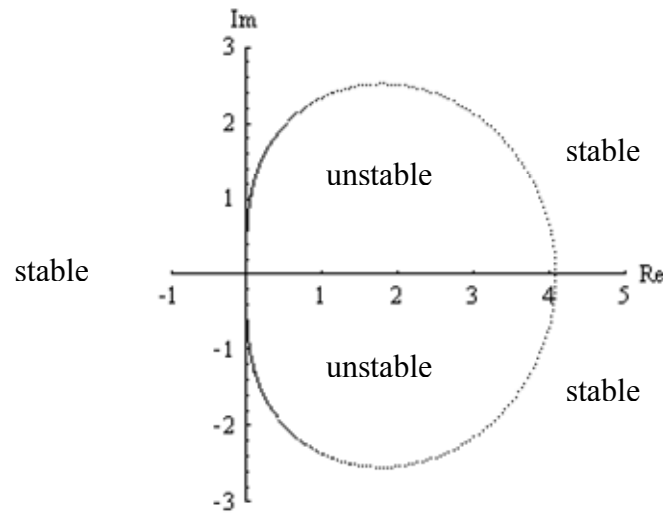
Therefore, the 2-point BBDF when  $r = 2$  is zero stable.

Next, we consider the determination of the absolute stability region of the 2-point BBDF by solving  $\det(At^2 - Bt - C)$

$$\frac{t}{2944} - \frac{289t^2}{2944} - \frac{3Ht^2}{92} - \frac{173t^3}{92} - \frac{1155Ht^3}{736} + \frac{91t^4}{46} - \frac{441Ht^4}{184} + \frac{45H^2t^4}{46} = 0 \quad (4.10)$$

The stability region  $R$  which corresponds to the 2-point BBDF when  $r = 2$  is given in Figure 4.2.

**Figure 4.2:** Stability region for 2-point BBDF method when  $r = 2$



The stability region which corresponds to the 2-point BBDF method when  $r = 2$  lies outside the close region. From the plot, the BBDF method when  $r = 2$  is  $A$ -stable. Next, the stability region of BBDF for  $r = 5/8$  is derived.

(iii) Stability of 2-point BBDF method when  $r = \frac{5}{8}$

The stability polynomial  $\pi(t, H)$  of (3.8) is obtained in a similar manner. Equation (4.1) is substitute into equation (3.8) yields

$$\left. \begin{aligned} y_{n+1} &= \frac{208}{775}y_{n-2} - \frac{6912}{5425}y_{n-1} + \frac{13689}{6200}y_n - \frac{351}{1736}y_{n+2} + \frac{117}{124}h\lambda y_{n+1} \\ y_{n+2} &= -\frac{12544}{29875}y_{n-2} + \frac{53248}{29875}y_{n-1} - \frac{74529}{29875}y_n + \frac{2548}{1195}y_{n+1} + \frac{546}{1195}h\lambda y_{n+2} \end{aligned} \right\} \quad (4.11)$$

The matrix formulation of (4.11) is then given by

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} \left(1 - \frac{117}{124}h\lambda\right) & \frac{351}{1736} \\ -\frac{2548}{1195} & \left(1 - \frac{546}{1195}h\lambda\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{n+1} \\ y_{n+2} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} -\frac{6912}{5425} & \frac{13689}{6200} \\ \frac{53248}{29875} & -\frac{74529}{29875} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{n-1} \\ y_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & \frac{208}{775} \\ 0 & -\frac{12544}{29875} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{n-3} \\ y_{n-2} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (4.12)$$

Equation (4.12) is equivalent to  $AY_m = BY_{m-1} + CY_{m-2}$  where

$$A = \begin{bmatrix} \left(1 - \frac{117}{124}h\lambda\right) & \frac{351}{1736} \\ -\frac{2548}{1195} & \left(1 - \frac{546}{1195}h\lambda\right) \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} -\frac{6912}{5425} & \frac{13689}{6200} \\ \frac{53248}{29875} & -\frac{74529}{29875} \end{bmatrix}$$



and  $C = \begin{bmatrix} 0 & \frac{208}{775} \\ 0 & -\frac{12544}{29875} \end{bmatrix}$

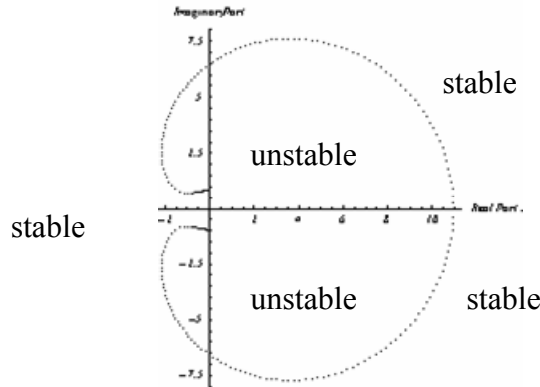
By solving  $\det(At^2 - Bt - C)$ , the following stability polynomial associated with the method of (3.8) is obtained

$$\begin{aligned} & \frac{262144}{4630625}t - \frac{4209984}{4630625}t^2 - \frac{366912}{926125}Ht^2 - \frac{34569}{59750}t^3 - \frac{10876437}{3704500}Ht^3 + \frac{106031}{74090}t^4 \\ & - \frac{207519}{148180}Ht^4 + \frac{31941}{74090}H^2t^4 \end{aligned} \tag{4.13}$$

Solving (4.13) when  $H = h\lambda = 0$  yields the roots  $t = 0$ ,  $t = 1$ ,  $t = -0.0602985$ , and  $t = 0.0656025$ .

Therefore, the 2-point BBDF when  $r = 5/8$  is zero stable. The stability region which corresponds to the 2-point BBDF method when  $r = 5/8$  lies outside the close region. The region is shown in Figure 4.3.

**Figure 4.3:** Stability region for 2-point BBDF method when  $r = 5/8$



Next, the implementation of the BBDF method with Newton iteration is presented.

### 5. Implementation of the BBDF method

In this section, the application of a Newton-type scheme for obtaining the calculation of  $y_{n+1}$ ,  $y_{n+2}$  to some stiff equations are described. The corrector formula (3.6), (3.7) and (3.8) can be written in general form as

$$\left. \begin{aligned} y_{n+1} &= \theta_1 y_{n+2} + \alpha_1 h f_{n+1} + \psi_1 \\ y_{n+2} &= \theta_2 y_{n+1} + \alpha_2 h f_{n+2} + \psi_2 \end{aligned} \right\} \tag{5.1}$$

with  $\psi_1$  and  $\psi_2$  are the backvalues.

Equation (5.1) in matrix-vector form is equivalent to

$$(I - A)Y_{n+1,n+2} = hBF_{n+1,n+2} + \xi_{n+1,n+2}$$

with

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, Y_{n+1,n+2} = \begin{bmatrix} y_{n+1} \\ y_{n+2} \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} 0 & \theta_1 \\ \theta_2 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} \alpha_1 & 0 \\ 0 & \alpha_2 \end{bmatrix},$$

$$F_{n+1,n+2} = \begin{bmatrix} f_{n+1} \\ f_{n+2} \end{bmatrix} \text{ and } \xi_{n+1,n+2} = \begin{bmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \end{bmatrix}.$$

$$\text{Let } \hat{F}_{n+1,n+2} = (I - A)Y_{n+1,n+2} - hBF_{n+1,n+2} - \xi_{n+1,n+2} = 0. \quad (5.2)$$

To approximate this solution, select  $Y_{n+1,n+2}^{(i)}$  and generate  $Y_{n+1,n+2}^{(i+1)}$  by applying Newton's Iteration to the system (5.2) to obtain

$$\begin{aligned} & Y_{n+1,n+2}^{(i+1)} - Y_{n+1,n+2}^{(i)} \\ &= - \left[ (I - A) - hB \frac{\partial F}{\partial Y} (Y_{n+1,n+2}^{(i)}) \right]^{-1} (I - A)Y_{n+1,n+2}^{(i)} - hBF(Y_{n+1,n+2}^{(i)}) - \xi_{n+1,n+2} \end{aligned} \quad (5.3)$$

where

$$J_{n+1,n+2} = \left( \frac{\partial F}{\partial Y} \right) (Y_{n+1,n+2}^{(i)}) \text{ is the Jacobian matrix of } F \text{ with respect to } Y.$$

$$\text{Let } E_{1,n+1;1,n+2}^{(i+1)} = Y_{n+1,n+2}^{(i+1)} - Y_{n+1,n+2}^{(i)}, \hat{A} = (I - A) - hB \frac{\partial F}{\partial Y} (Y_{n+1,n+2}^{(i)})$$

$$\text{and } \hat{B} = -(I - A)Y_{n+1,n+2}^{(i)} + hBF(Y_{n+1,n+2}^{(i)}) + \xi_{n+1,n+2}$$

We obtain an approximate solution to (1.1) using a two stage Newton type iteration. The two stage iteration process proceeds as follows:

- (i) solved  $E_{1,n+1;1,n+2}^{(i+1)}$  for the corresponding linear system which is  $\hat{A}E_{1,n+1;1,n+2}^{(i+1)} = \hat{B}$ .

In general,

$$\hat{A} = \begin{bmatrix} 1 - \alpha_1 h \left( \frac{\partial f_{n+1}}{\partial y_{n+1}} \right) & \theta_1 - \alpha_1 h \left( \frac{\partial f_{n+1}}{\partial y_{n+2}} \right) \\ \theta_2 - \alpha_2 h \left( \frac{\partial f_{n+2}}{\partial y_{n+1}} \right) & 1 - \alpha_2 h \left( \frac{\partial f_{n+2}}{\partial y_{n+2}} \right) \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

and

$$\hat{B} = \begin{bmatrix} -y_{n+1} - \theta_1 y_{n+2} + \alpha_1 h f_{n+1} + \psi_1 \\ \theta_2 y_{n+1} - y_{n+2} + \alpha_2 h f_{n+2} + \psi_2 \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

- (i) Compute the corrected value  $Y_{n+1,n+2}^{(i+1)}$  with  $E_{1,n+1;1,n+2}^{(i+1)}$ .

- (ii) Then compute  $\hat{A}E_{2,n+1;2,n+2}^{(i+1)} = \hat{B}$  for  $E_{2,n+1;2,n+2}^{(i+1)}$ .

- (iii) The final values of  $Y_{n+1,n+2}^{(i+1)}$  are obtained by substituting  $Y_{n+1,n+2}^{(i+1)}$  and  $E_{2,n+1;2,n+2}^{(i+1)}$ .

### Choosing the step size

Step size adjustment for 2-Point BBDF is limited to step ratio  $r$  is  $5/8$  to gain computation speed and if the next successful step size remain constant, then  $r$  is 1. On any given step, the user will provide an error tolerance limit, TOL. In the BBDF code, the values of  $x_{n+1}, x_{n+2}$  and  $y_{n+1}, y_{n+2}$  are accepted if the local truncation error, LTE is less than tolerance. The local error, LTE is obtained by taking

$$\text{LTE} = y_{n+2}^{(k+1)} - y_{n+2}^{(k)}$$

where  $y_{n+2}^{(k+1)}$  is the  $(k+1)$ th order method and  $y_{n+2}^{(k)}$  is the  $k$ th order method. If the error estimate is greater than the accepted tolerance limit, the value of  $y_{n+1}, y_{n+2}$  are rejected, then the step is repeated

with halving the current step size. In this case, the step ratio  $r$  is 2. After a successful step, the step size increment is given by

$$h_{new} = c \times h_{old} \times \left( \frac{\text{TOL}}{\text{LTE}} \right)^{\frac{1}{p}} \text{ and}$$

$$\text{if } h_{new} > 1.6 \times h_{old} \text{ then } h_{new} = 1.6 \times h_{old}$$

where  $c$  is the safety factor,  $p$  is the order of the method and  $h_{old}$  is the step size from previous block. In our case,  $c$  is 0.9.

## 6. Numerical Results

In this section, we tested the performance of the 2-point BBDF method on a set of stiff problems. The problems were solved with tolerances  $10^{-2}, 10^{-4}$  and  $10^{-6}$ . We will compare the numerical results obtained using 2-point BBDF method with the variable step variable order BDF method, VSVOBDF, see Suleiman [15] for the details of the code. This VSVOBDF method uses the BDF predictor-corrector pairs of formulas of orders one through six. Below are five of the problems tested.

**Problem 1:**  $y'(x) = \lambda(y - x) + 1, 0 \leq x \leq 10, y(0) = 1$

$$\text{with solution } y(x) = e^{\lambda x} + x, \lambda = -30, -50, -100$$

Source: Gear, [4].

**Problem 2:**  $y' = -1000y + 3000 - 2000e^{-x}, 0 \leq x \leq 20, y(0) = 0$

$$\text{with solution } y(x) = 3 - 0.998e^{-1000x} - 2.002e^{-x}.$$

**Problem 3:**  $y'_1 = -20y_1 - 19y_2, y_1(0) = 2$   
 $y'_2 = -19y_1 - 20y_2, y_2(0) = 0, 0 \leq x \leq 20$

$$\text{with solution } y_1(x) = e^{-39x} + e^{-x}$$

$$y_2(x) = e^{-39x} - e^{-x}.$$

Eigenvalues:  $\lambda_1 = -1, \lambda_2 = -39$

Source: Cheney & Kincaid, [2].

**Problem 4:**  $y'_1 = 998y_1 + 1998y_2, y_1(0) = 1$   
 $y'_2 = -999y_1 - 1999y_2, y_2(0) = 0, 0 \leq x \leq 20$

$$\text{with solution } y_1(x) = 2e^{-x} - e^{-1000x}$$

$$y_2(x) = -e^{-x} + e^{-1000x}.$$

Eigenvalues:  $\lambda_1 = -1, \lambda_2 = -1000$

Source: Gear, [4].

**Problem 5:**  $y'_1 = -1002y_1 + 1000y_2^2, y_1(0) = 1$   
 $y'_2 = y_1 - y_2(1 + y_2), y_2(0) = 1, 0 \leq x \leq 20$

$$\text{with solution } y_1(x) = e^{-2x}$$

$$y_2(x) = e^{-x}$$

Source: Kaps, [6].

The computer system used is a Sequent S30 running on DYNIX/ptx V4.4.5 operating system and are given in the following tables. The notations used in the tables take the following meaning:

STEPS	:	the total number of steps
TOL	:	the upper bound for the local error estimate
IFST	:	the total number of rejected steps (due to convergence failure or local error control)
IST	:	the total number of accepted steps
MAXE	:	maximum error
VSVOBDF	:	implementation of nonblock variable step variable order BDF
BBDF	:	implementation of variable step BBDF method with step $r = 1$ (constant step size), $r = 2$ (half the current step size) and $r = 5/8$ (1.6 times the current step size).
TIME	:	the execution time in microseconds

In the evaluation of the errors, they are defined as

$$(e_i)_t = \frac{(y_i)_t - (y(x_i))_t}{A + B(y(x_i))_t}, \quad (6.1)$$

where  $(y)_t$  denotes the  $t$ -th component of the approximate  $y$ ,  $y_i$  is the computed solution, and  $y(x_i)$  is the true solution at  $x_i$ . When  $A = 1, B = 0$ , (5.1) corresponds to the absolute error test, while  $A = 1, B = 1$  it corresponds to the mixed error test, and for  $A = 0, B = 1$  to the relative error test. The maximum error, MAXE is defined as follows:-

$$\text{MAXE} = \max_{1 \leq i \leq \text{IST}} \left( \max_{1 \leq t \leq N} (e_i)_t \right)$$

where  $N$  is the number of equations in the system and IST is the number of successful steps.

**Table 6.1:** Numerical result for Problem 1 for  $\lambda = -30$

TOL	MTD	IFST	IST	STEPS	MAXE	TIME
$10^{-2}$	VSVOBDF	7	32	39	4.7188e-002	16075
	BBDF	0	25	25	1.2017e-004	8287
$10^{-4}$	VSVOBDF	11	53	64	9.0525e-004	25919
	BBDF	0	39	39	2.0600e-006	9275
$10^{-6}$	VSVOBDF	16	89	105	1.3568e-005	28715
	BBDF	0	74	74	2.5285e-008	11655

**Table 6.2:** Numerical result for Problem 1 for  $\lambda = -50$

TOL	MTD	IFST	IST	STEPS	MAXE	TIME
$10^{-2}$	VSVOBDF	6	30	36	5.4862e-002	23214
	BBDF	0	26	26	2.3300e-004	8571
$10^{-4}$	VSVOBDF	10	53	63	6.1625e-004	25435
	BBDF	0	39	39	2.8412e-006	9311
$10^{-6}$	VSVOBDF	14	88	102	7.9504e-006	27589
	BBDF	0	75	75	1.9296e-008	11749

**Table 6.3:** Numerical result for Problem 1 for  $\lambda = -100$

TOL	MTD	IFST	IST	STEPS	MAXE	TIME
$10^{-2}$	VSVOBDF	6	30	36	2.4478e-002	23815
	BBDF	0	26	26	1.7978e-004	8561
$10^{-4}$	VSVOBDF	11	54	65	5.0758e-004	25834
	BBDF	0	40	40	2.4197e-006	9425
$10^{-6}$	VSVOBDF	16	88	104	5.0793e-006	28827
	BBDF	0	76	76	2.4604e-008	11863

**Table 6.4:** Numerical result for Problem 2

TOL	MTD	IFST	IST	STEPS	MAXE	TIME
$10^{-2}$	VSVOBDF	5	36	41	5.38298e-03	16643
	BBDF	0	30	30	1.98645e-04	9695
$10^{-4}$	VSVOBDF	8	74	82	1.97582e-04	21167
	BBDF	0	51	51	2.64614e-06	11168
$10^{-6}$	VSVOBDF	12	130	142	5.42660e-06	25460
	BBDF	0	109	109	1.00448e-06	15459

**Table 6.5:** Numerical result for Problem 3

TOL	MTD	IFST	IST	STEPS	MAXE	TIME
$10^{-2}$	VSVOBDF	8	45	53	3.2300e-002	16366
	BBDF	0	28	28	2.1781e-004	11071
$10^{-4}$	VSVOBDF	13	93	106	3.9902e-004	22130
	BBDF	0	48	48	2.6627e-006	15310
$10^{-6}$	VSVOBDF	15	152	167	5.1111e-006	29160
	BBDF	0	110	110	2.6949e-008	22910

**Table 6.6:** Numerical result for Problem 4

TOL	MTD	IFST	IST	STEPS	MAXE	TIME
$10^{-2}$	VSVOBDF	13	58	71	3.5277e-001	17475
	BBDF	0	31	31	2.5644e-004	12567
$10^{-4}$	VSVOBDF	18	101	119	1.1269e-003	22692
	BBDF	0	53	53	2.5308e-006	16326
$10^{-6}$	VSVOBDF	22	165	660	6.8001e-006	30318
	BBDF	0	122	122	2.9400e-008	24694

**Table 6.7:** Numerical result for Problem 5

TOL	MTD	IFST	IST	STEPS	MAXE	TIME
$10^{-2}$	VSVOBDF	8	48	56	1.3084e-001	23062
	BBDF	0	27	27	1.0739e-004	11547
$10^{-4}$	VSVOBDF	17	84	101	1.1900e-003	26540
	BBDF	0	47	47	5.4820e-006	14243
$10^{-6}$	VSVOBDF	20	123	143	6.5959e-006	30981
	BBDF	0	104	104	2.2494e-007	20902

## 7. Conclusions

Comparing the method 2-point BBDF and VSVOBDF, we find that the method BBDF outperform the VSVOBDF method within the required tolerance in all the measured parameters. For all the problems tested, the numerical results shows that the method BBDF gives better accuracy with reduction of total steps and lesser computational time. From the plots of the stability region, the BBDF method when  $r = 2$  is  $A$ -stable,  $r = 1$  and  $r = 5/8$  are almost  $A$ -stable. Hence, the 2-point BBDF method is suitable for solving stiff ODEs because of its almost  $A$  stable property.

## 8. Acknowledgment

This research was supported by Institute of Mathematical Research, Universiti Putra Malaysia under Fundamental Research Grant Scheme (FRGS) 01-01-07-111FR

## References

- [1] Birta, L.G. and Abou-Rabia, O. (1987), *Parallel Block Predictor Corrector Methods for ODEs*, IEEE Transactions on Computers, c-36(3):299-311.
- [2] Cheney, W. and Kincaid, D. (1999), *Numerical Mathematics and Computing*. Brooks/Cole Publishing Company.
- [3] Chu, M. & Hamilton, H. (1987), *Parallel solution of ODEs by multi-block methods*, SIAM J. Sci. Statist. Comput., 8, pp. 342-353.
- [4] Gear, C.W. (1971), *Numerical Initial Value Problems in Ordinary Differential Equations*, New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- [5] Houwen, P.J. & Sommeijer, B.P. (1989), *Block Runge-Kutta methods on parallel computers*, Report NM-R8906, Centre for Mathematics and Computer Science, Amsterdam.
- [6] Kaps, P. and Wanner, G. 1981. A Study of Rosenbrock-type methods of high order. *Numer. Math.*, 38:279-298.
- [7] Lambert, J.D. (1993), *Numerical methods for Ordinary Differential Equations: The Initial Value Problems*, John Wiley & Sons.
- [8] Majid, Z. (2004) *Parallel Block Methods For Solving Ordinary Differential Equations*, PhD Thesis, Universiti Putra Malaysia.
- [9] Omar, Z.B. (1999), *Developing Parallel Block Methods for Solving Higher Order ODEs Directly*, PhD Thesis, Universiti Putra Malaysia.
- [10] Shampine, L.F. and Watts, H.A. (1969), *Block Implicit One-Step Methods*, Math. Comp. 23:731-740.
- [11] Suleiman, M.B. (1979), *Generalised Multistep Adams and Backward Differentiation Methods for the Solution of Stiff and Non-stiff Ordinary Differential Equations*, PhD Thesis, University of Manchester.
- [12] Voss, D. and Abbas, S. (1997), *Block Predictor-Corrector Schemes for the Parallel Solution of ODEs*, Comp. Math.Applic. 33,65-72.
- [13] Watts, H.A. and Shampine, L.F. (1972), *A-Stable Block Implicit One-Step Methods*. BIT 12:252-266.

# Variable Step Variable Order Two Point Block Fully Implicit Method for Solving Ordinary Differential Equations

**Zanariah Abdul Majid**

*Mathematics Department, Faculty Science*

*Universiti Putra Malaysia, 43400 UPM Serdang, Selangor Darul Ehsan, Malaysia*

E-mail: [zanariah@science.upm.edu.my](mailto:zanariah@science.upm.edu.my)

**Mohamed Bin Suleiman**

*Institute of Mathematical Research*

*Universiti Putra Malaysia, 43400 UPM Serdang, Selangor Darul Ehsan, Malaysia*

## Abstract

The aim of this paper is to investigate the performance of the developed two point block methods of order 5, 7 and 9 for solving first order Ordinary Differential Equations (ODEs) using variable step size and order. The code will combine three proposed block methods i.e the 2-point one block fully implicit block method of order 5, the 2-point two block fully implicit block method of order 7 and the 2-point three block fully implicit block method of order 9. These methods will estimate the numerical solution at two equally spaced points simultaneously within a block. The existence multistep method involves the computations of the divided differences and integration coefficients when using the variable step size or variable step size and order. The block method developed will be presented in the simple form of the Adams Moulton type. The performances of the code will be compared in terms of maximum error, total number of steps and execution times with the existence non block method and 2-point block method of variable step size and order code.

**Keywords:** 2-point, block method, variable step and order, ordinary differential equations.

## 1. Introduction

This paper concerns with the development of the code for the numerical solution of IVPs for systems of ODEs of the form

$$y' = f(x, y), \quad y(x_0) = y_0, \quad x \in [a, b]. \quad (1)$$

Gear [3], Lambert [5], Shampine [8], Suleiman [9], and Omar [7] described the variable step and order technique for the multistep method. The current multistep method for variable step or variable step and order technique for solving the numerical solution of ODEs as described by the researchers above will involve tedious computations of divided difference and recurrence relation in computing the integration coefficients in the codes. Omar [7] has developed a block code for solving first and higher order ODEs using variable step size and order. The 2-point block method of variable step size and order code (2PBVSO) in Omar [7] involved tedious and repetitive computations of the divided differences and integration coefficients during the implementation of the code and this could be very costly.

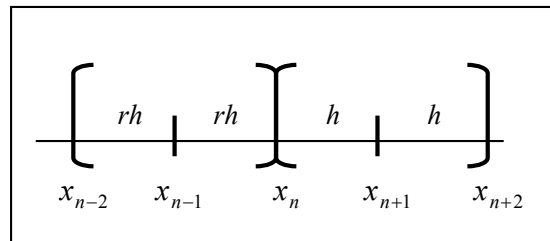
The idea in this paper is to develop a code based on the block methods presented as in the simple form of the Adams Moulton Method for solving (1) using variable step size and order. The code is a combination of predictors and correctors of 2-point one block fully implicit block method, 2-point two block fully implicit block method and 2-point three block fully implicit block method. In Majid and Suleiman [6], those methods were shown individually to be suitable for solving large systems of ODEs using variable step size on a parallel shared memory computer.

The idea of the developed method is to store all the coefficients involved in the code. Therefore, this strategy can avoid the lengthy computation of the coefficients that can be very costly during the implementation of the code as well as to improve the execution time. However because of the step size variations, many formulae need to be stored and may cause a high initial overhead. As the computational work increases for solving the ODEs the advantage of the method will be evident. The developed code is expected to achieve the execution time faster compared with the code 1PVSO and 2PBVSO in Omar [7].

## 2. Formulation of the Method

### 2.1. 2-point one block method

**Figure 1:** 2 point one block method



In Figure 1, the two values of  $y_{n+1}$  and  $y_{n+2}$  are simultaneously computed in a block using the same back values. The block has the step size  $h$  and the previous back block has the step size  $rh$ . The formulae of the 2-point one block fully implicit method were derived using the Lagrange interpolation polynomial and the interpolation points involved are  $(x_{n-2}, f_{n-2}), \dots, (x_{n+2}, f_{n+2})$ . The first point  $y_{n+1}$  will be derive by integrating (1) and therefore gives

$$\int_{x_n}^{x_{n+1}} y' dx = \int_{x_n}^{x_{n+1}} f(x, y) dx \tag{2}$$

which is equivalent to

$$y(x_{n+1}) = y(x_n) + \int_{x_n}^{x_{n+1}} f(x, y) dx \tag{3}$$

The function  $f(x, y)$  in (3) will be replaced by the Lagrange polynomial which interpolates at the set of points  $\{x_{n-2}, x_{n-1}, x_n, x_{n+1}, x_{n+2}\}$ . The procedure is by taking  $s = \frac{x - x_{n+2}}{h}$ ; replacing  $dx = h ds$  and changing the limit of integration from -1 to 0 in (3). Evaluating the integrals using **MAPLE** will gives the formula of the first point in terms of  $r$  as follows,



**The 1<sup>st</sup> point**

$$\begin{aligned}
y(x_{n+1}) = y(x_n) &+ \frac{h}{240(r+1)(r+2)(2r+1)r^2} \left( -(2r+1)r^2(3+15r+20r^2)f_{n+2} \right. \\
&+ 4r^2(r+2)(18+75r+80r^2)f_{n+1} + (r+1)(r+2)(2r+1)(7+45r+100r^2)f_n \\
&\left. - 4(2r+1)(7+30r)f_{n-1} - (r+2)(7+15r)f_{n-2} \right) +
\end{aligned} \quad (4)$$

Now taking  $x_{n+2} = x_n + 2h$  and integrating  $f$  in (3) from  $x_n$  to  $x_{n+2}$ . The interpolation points involved for the second point  $y_{n+2}$  are the same set points and the process is the same as the derivation of the first point. Evaluating the integrals using **MAPLE** gives the formula of the second point,

**The 2<sup>nd</sup> point**

$$\begin{aligned}
y(x_{n+2}) = y(x_n) &+ \frac{h}{15r^2(2r+1)(r+2)(r+1)} \left[ r^2(2r+1)(5r^2+15r+9)f_{n+2} \right. \\
&+ 4r^2(r+2)(10r^2+15r+6)f_{n+1} + (r+2)(r+1)(2r+1)(5r^2-1)f_n \\
&\left. + 4(2r+1)f_{n-1} - (r+2)f_{n-2} \right].
\end{aligned} \quad (5)$$

During the implementation of the method, the choices of the next step size will be restricted to half, double or the same as the previous step size and the successful step size will remain constant for at least two blocks before being considered for the step size to be doubled. This will minimize the number of formulae required to be stored. Therefore, when the next successful step size is doubled, the ratio  $r$  is 0.5 and if the next successful step size remain constant,  $r$  is 1. In case of step size failure,  $r$  is 2. If double step failure, the ratio  $r$  will be 4. Substituting the ratios of  $r$  into (4) and (5) will give the formulae for the 2-point one block method. For example, taking  $r = 2$  will produce the following first and second point of the corrector formulae for the 2-point one block fully implicit method:-

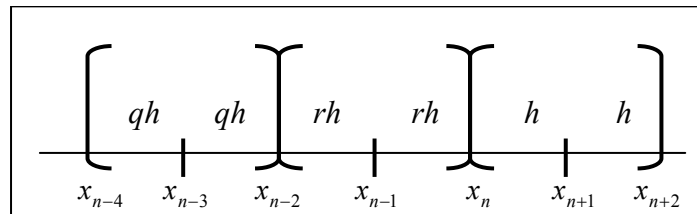
$r = 2$ ,

$$\begin{aligned}
y(x_{n+1}) &= y(x_n) + \frac{h}{14400} (-565f_{n+2} + 7808f_{n+1} + 7455f_n - 335f_{n-1} + 37f_{n-2}) \\
y(x_{n+2}) &= y(x_n) + \frac{h}{900} (295f_{n+2} + 1216f_{n+1} + 285f_n + 5f_{n-1} - f_{n-2})
\end{aligned} \quad (6)$$

The method is the combination of predictor of order 4 and the corrector of order 5. The predictor formulae were similarly derived where the interpolation points involved are  $(x_{n-3}, f_{n-3}), \dots, (x_n, f_n)$ .

**2.2. 2-point two block method**

**Figure 2:** 2-point two block method



In Figure 2, the 2-point two block method will compute two points simultaneously in a block by using two earlier blocks that have two steps in each block. The computed block has the step size  $2h$  but the previous back blocks have step sizes  $2rh$  and  $2qh$ . The formulae of the 2 point two block fully implicit method in Figure 2 were derived using Lagrange interpolation polynomial and the interpolation points involved are  $(x_{n-4}, f_{n-4}), \dots, (x_{n+2}, f_{n+2})$ . The two values of  $y_{n+1}$  and  $y_{n+2}$  can be

obtained by integrating (3) over the interval  $[x_n, x_{n+1}]$  and  $[x_n, x_{n+2}]$  respectively using **MAPLE** and the corrector formulae in terms of  $r$  and  $q$  can be obtained.

Using the same step size strategy, the step size ratio  $r$  and  $q$  vary. In case of successful step size, the possible ratios for the next constant step size are  $(r=1, q=1)$ ,  $(r=1, q=2)$  or  $(r=1, q=0.5)$ . Whenever the step size is double, the possible ratio is  $(r=0.5, q=0.5)$ . In case of step size failure, the possible values are  $(r=2, q=1)$  or  $(r=2, q=2)$ . Double step size failure is very rare where the ratios are  $(r=4, q=2)$  or  $(r=4, q=4)$ . Substituting the common ratios  $r$  and  $q$  will give the formulae for the 2-point two block method. For example, taking  $r = 1, q = 2$ , will produce the following first and second point of the corrector formulae:-

$$r = 1, q = 2,$$

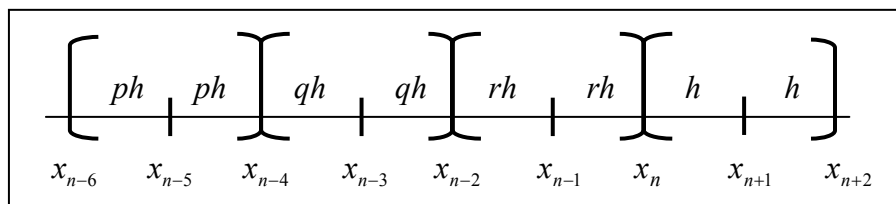
$$y(x_{n+1}) = y(x_n) + \frac{h}{846720} (-13909f_{n+2} + 364320f_{n+1} + 621306f_n - 169120f_{n-1} + 47376f_{n-2} - 3514f_{n-3} + 261f_{n-4}) \tag{7}$$

$$y(x_{n+2}) = y(x_n) + \frac{h}{3780} (16177f_{n+2} + 77376f_{n+1} + 5082f_n + 11200f_{n-1} - 4368f_{n-2} + 406f_{n-3} - 33f_{n-4})$$

The 2-point two block method is the combination of predictor of order 6 and the corrector of order 7. The predictor formulae were similarly derived where the interpolation points involved are  $(x_{n-5}, f_{n-5}), \dots, (x_n, f_n)$ .

### 2.3. 2-point three block method

**Figure 3:** 2-point three block method



The 2-point three block method in Figure 3 will calculate two points simultaneously in a block at the point  $x_{n+1}$  and  $x_{n+2}$  by using three previous blocks that have two steps in each block. The computed block has the step size  $2h$  but the previous back blocks have the step sizes  $2rh$ ,  $2qh$  and  $2ph$ . Since the derivation of the 2-point three block method is very tedious, so the **MAPLE** function is used to get the first and second point of the method.

Both points of the 2-point three block fully implicit method will use the **MAPLE** function such as **factor**, **interp** and **int**. The function **interp** will interpolate a polynomial through the points  $(x_{n-6}, f_{n-6}), \dots, (x_{n+2}, f_{n+2})$  and integrate over the interval  $[x_n, x_{n+1}]$  and  $[x_n, x_{n+2}]$  to obtain  $y_{n+1}$  and  $y_{n+2}$  respectively.

Using the same step size strategy, it helps to minimize the choices of  $r$ ,  $q$  and  $p$ . Those possible step size ratios have ten combinations. In case of successful step size, the choices during constant step size are  $(r=1, q=1, p=1)$ ,  $(r=1, q=2, p=2)$ ,  $(r=1, q=1, p=2)$ ,  $(r=1, q=0.5, p=0.5)$  or  $(r=1, q=1, p=0.5)$ . When the step size is double the possible ratios are  $(r=0.5, q=0.5, p=1)$ ,  $(r=0.5, q=0.5, p=0.25)$  or  $(r=0.5, q=0.5, p=0.5)$ . In case of step size failure the possible ratios are  $(r=2, q=2, p=1)$  or  $(r=2, q=2, p=2)$ .

The methods are the combination of predictor of order 8 and the corrector of order 9. The predictor formulae were similarly derived where the interpolation points involved are  $(x_{n-7}, f_{n-7}), \dots, (x_n, f_n)$ .

### 3. Implementation of the Step Size and Order Selection

Suppose that the integration step is accepted, the next step size and order have to be determined. The technique proposed by Hall and Watt [4] will be applied for selection of the step size and order. The strategy would be to choose the order for which the estimates step size on the next integration is the maximum. If the accepted integration step could have the maximum step size, which one of the methods of orders  $k-2$ ,  $k$  and  $k+2$  that could be used as the next order. The order will be remained constant, increased or decreased by 2 because the method that we used in the code is of order 5, 7 or 9. Let  $E_1, E_2$  and  $E_3$  denote the estimated error at the  $x_{n+2}$  as shown below:-

$$E_1 = |y_{n+2}(k-2) - y_{n+2}(k-3)| \quad (8)$$

$$E_2 = |y_{n+2}(k) - y_{n+2}(k-1)| \quad (9)$$

$$E_3 = |y_{n+2}(k+2) - y_{n+2}(k+1)| \quad (10)$$

Therefore, (8), (9) and (10) will be performed to control the error for the block method. For example, the local errors estimates in (10) can be obtain by comparing the absolute difference of the corrector formula derived of order  $k+2$  and a similar corrector formula of order  $k+1$ . The local error is potentially more accurate when using the corrector formulae. For example, the local error estimates  $E_3$  for the 2-point three block method when ( $r=1, q=2, p=2$ ) in the code is as follows:-

$$E_3 = \left| -\frac{119h}{16200} (f_{n+2} - 8f_{n+1} + 28f_n - 56f_{n-1} + 70f_{n-2} - 56f_{n-3} + 28f_{n-4} - 8f_{n-5} + f_{n-6}) \right| \quad (11)$$

Let  $\theta_{n+2} = A + B|y_{n+2}|$  with  $A=1, B=0$  gives the absolute error test,  $A=B=1$  a mixed error test and finally  $A=0, B=1$  a relative error test. Having available  $E_1, E_2$  and  $E_3$  the decision about the order must be taken and the estimates for the maximum step size are as follows:-

$$h_1 = h_{old} \times \left( \frac{TOL}{\theta_{n+2}|E_1|} \right)^{\frac{1}{k-3}}, h_2 = h_{old} \times \left( \frac{TOL}{\theta_{n+2}|E_2|} \right)^{\frac{1}{k-1}}, h_3 = h_{old} \times \left( \frac{TOL}{\theta_{n+2}|E_3|} \right)^{\frac{1}{k+1}} \quad (12)$$

where  $h_{old}$  is the step size from previous block. Let  $h_{max}$  be the maximum step size in (12) and the order which produces  $h_{max}$  will be the order on the new step.

In our code,  $h_{max}$  in (12) is not the final decision for the new step size for the next step. The final step size when the integration steps are successful is given by

$$h_{new} = C \times h_{max}$$

if

$$(h_{new} \geq 2 \times h_{old}) \text{ then } h_{new} = 2 \times h_{old} \text{ else } h_{new} = h_{old} \quad (13)$$

where  $C = 0.8$  is a safety factor. The purpose of having the safety factor is to avoid having too many rejected step. The algorithm when the step failure occurs is

$$h_{new} = \frac{1}{2} \times h_{old} \cdot \quad (14)$$

The test in (13) and (14) will allow the step size to vary only by constant, half or doubling. The predicted step size will perform only if the successful step size was remains constant for at least two blocks. To consider raising the order only can be done if

- (i) the step is successful;
- (ii) after using a constant step size; or
- (iii) after repeated the order at least twice

and do not consider raising the order after failure step. If the integration step failed, it will reduce the step size by half and therefore reduce the order.

#### 4. Results and Discussion

In order to study the efficiency of the developed codes, we present some numerical experiments for the following problems:

**Problem 1:** Negative exponential problem. (Mildly stiff)

$$y_1' = -0.5y_1,$$

$$y_1(0) = 1, [0,20]$$

$$\text{Exact Solution: } y_1(x) = e^{-0.5x}$$

Source: Burden [1]

**Problem 2:** Nonlinear Krogh's problem (Non stiff)

$$y_i' = -\beta_i y_i + y_i^2, i = 1,2,3,4 \quad y_i(0) = -1, [0,20]$$

$$\beta_1 = 0.2, \beta_2 = 0.2, \beta_3 = 0.3, \beta_4 = 0.4$$

$$\text{Exact Solution: } y(x) = \frac{\beta_i}{1 + c_i e^{\beta_i x}}, c_i = -(1 + \beta_i)$$

Source: Johnson and Barney [5]

**Problem 3:** A two-body orbit problem (Mildly stiff)

$$y_1' = y_3, y_2' = y_4, y_3' = -\frac{y_1}{r^3}, y_4' = -\frac{y_2}{r^3}, r = \sqrt{y_1^2 + y_2^2}, [0,20]$$

$$y_1(0) = 1, y_2(0) = 0, y_3(0) = 0, y_4(0) = 1,$$

$$\text{Exact Solution: } y_1(x) = \cos x, y_2(x) = \sin x, y_3(x) = -\sin x, y_4(x) = \cos x.$$

Source: Hairer, et al. [4]

The notations are defined as follows:

TOL	Tolerances
MTD	Method employed
TS	Total number of steps
FS	Failure steps
FCN	Number of function evaluations
MAXE	Magnitude of the maximum error
TIME /ms	The execution time taken in microseconds
RSTEP	The ratio steps of 2PFVSO compared to 1PVSO and 2PBVSO
RTIME	The ratio times of 2PFVSO compared to 1PVSO and 2PBVSO
2PFVSO	Implementation of the method that has been derived in this paper
1PVSO	Implementation of the implicit non-block multistep method using variable step and order and the method compute the divided difference and integration coefficients in the code
2PBVSO	Implementation of the implicit two block multistep method using variable step and order and the method compute the divided difference and integration coefficients in the code

The errors calculated are defined as  $(e_i)_t = \left| \frac{(y_i)_t - (y(x_i))_t}{A + B(y(x_i))_t} \right|$  where  $(y)_t$  is the  $t$ -th component of

the approximate  $y$ .  $A=1, B=0$  correspond to the absolute error test.  $A=1, B=1$  correspond to the mixed test and finally  $A=0, B=1$  correspond to the relative error test. For Problems 2 and 3, the relative error test were used and mixed error test for Problem 1. The maximum error and average error are defined as follows:-

$$\text{MAXE} = \max_{1 \leq i \leq \text{SSTEP}} \left( \max_{1 \leq t \leq N} (e_i)_t \right) \quad (15)$$

where  $N$  is the number of equations in the system and  $SSTEP$  is the number of successful steps.

The performances of the codes were measured by implementing all the methods in C language and were supported by the Sequent C library. In the developed block method, we iterate the corrector to convergence. The convergence test employed were

$$\|y^{(s+1)}_{n+2} - y^{(s)}_{n+2}\| < 0.1 \times \text{TOL} \quad (16)$$

and  $s$  is the number of iteration. Table 1 - 3 show the numerical results for all the three tested problems.

**Table 1:** Numerical results of 1PVSO, 2PFVSO and 2PBVSO Methods for Solving Problem 1

TOL	MTD	TS	FS	FCN	MAXE	TIME
$10^{-2}$	1PVSO	21	0	64	1.7373e-3	851
	2PFVSO	29	0	161	1.4848e-4	430
	2PBVSO	18	0	55	1.0450e-3	901
$10^{-4}$	1PVSO	30	0	91	4.6561e-5	349
	2PFVSO	39	0	221	1.5151e-6	321
	2PBVSO	24	0	73	2.8361e-4	417
$10^{-6}$	1PVSO	55	0	166	2.0686e-7	482
	2PFVSO	50	0	293	7.6291e-8	406
	2PBVSO	40	0	121	8.7433e-7	560
$10^{-8}$	1PVSO	108	0	325	2.0533e-9	807
	2PFVSO	60	0	353	3.4235e-9	421
	2PBVSO	67	0	202	1.2274e-8	826
$10^{-10}$	1PVSO	262	0	787	1.1484e-11	1761
	2PFVSO	82	0	501	4.0197e-12	550
	2PBVSO	142	0	430	8.6425e-11	1611

**Table 2:** Numerical results of 1PVSO, 2PFVSO and 2PBVSO Methods for Solving Problem 2

TOL	MTD	TS	FS	FCN	MAXE	TIME
$10^{-2}$	1PVSO	31	0	94	2.5451e-3	1225
	2PFVSO	29	0	161	1.6936e-4	771
	2PBVSO	27	0	82	2.1467e-1	1574
$10^{-4}$	1PVSO	49	0	148	3.6125e-5	1008
	2PFVSO	41	0	257	8.1183e-6	798
	2PBVSO	36	0	109	1.5238e-4	1251
$10^{-6}$	1PVSO	86	0	259	1.4942e-7	1717
	2PFVSO	58	0	359	4.5051e-8	1158
	2PBVSO	53	0	160	8.4389e-7	1689
$10^{-8}$	1PVSO	213	0	640	2.6028e-9	3728
	2PFVSO	84	0	539	2.7144e-10	1570
	2PBVSO	118	0	355	1.8109e-8	3357
$10^{-10}$	1PVSO	505	0	1516	2.7386e-11	8671
	2PFVSO	114	0	753	7.4663e-12	2090
	2PBVSO	264	0	793	2.0152e-10	7387

**Table 3:** Numerical results of 1PVSO, 2PFVSO and 2PBVSO Methods for Solving Problem 3

TOL	MTD	TS	FS	FCN	MAXE	TIME
10 <sup>-2</sup>	1PVSO	44	0	133	9.9994e-1	1351
	2PFVSO	32	0	419	5.1742e-2	1350
	2PBVSO	28	0	85	9.9996e-1	1667
10 <sup>-4</sup>	1PVSO	83	0	250	5.1513e-3	1619
	2PFVSO	51	0	389	8.5782e-5	1357
	2PBVSO	52	0	157	5.0238e-2	1866
10 <sup>-6</sup>	1PVSO	181	0	544	1.3466e-3	3458
	2PFVSO	65	0	527	8.4365e-6	1764
	2PBVSO	102	0	307	3.5981e-3	3501
10 <sup>-8</sup>	1PVSO	435	0	1306	1.2342e-5	8081
	2PFVSO	113	0	765	3.3661e-8	2680
	2PBVSO	228	0	685	8.4769e-5	7697
10 <sup>-10</sup>	1PVSO	1044	0	3133	1.4101e-7	19327
	2PFVSO	138	0	1077	6.1153e-10	3477
	2PBVSO	537	0	1612	1.0615e-6	18059

In Table 1 – 3, it is obvious that the code 2PFVSO has better maximum error in all tested problems. The code is more superior than 1PVSO and 2PBVSO in terms of total steps i.e. in reducing the total number of steps to almost one half and greater at finer tolerances. At larger tolerances, the 2PFVSO is also better in terms of execution times compared to 1PVSO and 2PBVSO even though the total steps taken in 2PFVSO are larger than the steps taken by 2PBVSO and 1PVSO in the tested problems.

It is observed that the execution times of 2PFVSO for solving the given problems are faster than the 1PVSO and 2PBVSO at all tolerances. Therefore, we can conclude that the cost of computing the divided differences and integration coefficients in the 1PVSO and 2PBVSO is the major disadvantage when permitting random variations in the step size. The computational cost increases when the codes were implemented in variable step size and order.

**Table 4:** The ratios execution times and steps of the 1PVSO to the 2PFVSO for Solving Problem 1 to 3

TOL	PROB 1		PROB 2		PROB 3	
	RTIME	RSTEP	RTIME	RSTEP	RTIME	RSTEP
10 <sup>-2</sup>	1.98	0.72	1.59	1.07	1.00	1.38
10 <sup>-4</sup>	1.09	0.77	1.26	1.20	1.19	1.63
10 <sup>-6</sup>	1.19	1.10	1.48	1.48	1.96	2.78
10 <sup>-8</sup>	1.92	1.80	2.37	2.54	3.02	3.85
10 <sup>-10</sup>	3.20	3.20	4.15	4.43	5.56	7.57

**Table 5:** The ratios execution times and steps of the 2PBVSO to the 2PFVSO for Solving Problem 1 to 3

TOL	PROB 1		PROB 2		PROB 3	
	RTIME	RSTEP	RTIME	RSTEP	RTIME	RSTEP
10 <sup>-2</sup>	2.10	0.62	2.04	0.93	1.22	0.88
10 <sup>-4</sup>	1.30	0.62	1.57	0.88	1.38	1.02
10 <sup>-6</sup>	1.38	0.80	1.46	0.91	1.98	1.57
10 <sup>-8</sup>	1.96	1.12	2.14	1.40	2.87	2.02
10 <sup>-10</sup>	2.93	1.73	3.53	2.32	5.19	3.89

In Table 4 and 5, the ratios of steps (RSTEP) and ratio of times (RTIME) are greater than one shows that 2PFVSO is more efficient compared to 1PVSO and 2PBVSO. In fact, at smaller tolerances the ratios are greater than two, which indicates a clear advantage of method 2PFVSO over 1PVSO and 2PBVSO.

## 5. Conclusion

In this paper, we have shown the efficiency of the developed 2PFVSO code is suitable for solving systems of ODEs using variable step size and order. The method has shown the superiority in terms of total steps, execution times and maximum error over the code 1PVSO and 2PBVSO.

## References

- [1] Bronson, R. 1973. *Schaum's Outline of Modern Introductory Differential Equation*. USA: Mc Graw-Hill.
- [2] Char, B.W., Geddes, K.O., Gonnet, G.H., Leong, B.L., Monagan, M.B., and Watt, S.M. 1992. *First Leaves: A Tutorial Introduction to Maple V*. Springer-Verlag: Waterloo Maple Publishing
- [3] Gear, C.W. 1971. *Numerical Initial Value Problems in Ordinary Differential Equations*. New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- [4] Hall, G. and Watt, J.M. 1976. *Modern Numerical Methods For Ordinary Differential Equations*. London: Clarendon Press, Oxford.
- [5] Lambert, J.D. 1973. *Computational Methods in Ordinary Differential Equations*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [6] Majid, Z.A. and Suleiman, M.B. 2006. Parallel block codes for solving large systems of ordinary differential equations, *Int. J. Simulation and Process Modelling*, 2(1/2): 98-112.
- [7] Omar, Z. 1999. *Developing Parallel Block Methods For Solving Higher Order ODEs Directly*, Thesis, University Putra Malaysia, Malaysia.
- [8] Shampine, L.F and Gordon, M.K. 1975. *Computer Solution of Ordinary Differential Equations: The Initial Value Problem*, W. H. Freeman and company, San Francisco.
- [9] Suleiman, M.B. 1979. *Generalised Multistep Adams and Backward Differentiation Methods for the Solution of Stiff and Non-Stiff Ordinary Differential Equations*. PhD Thesis, University of Manchester.
- [10] Suleiman, M.B. 1989. Solving Higher Order ODEs Directly by the Direct Integration Method. *Applied Mathematics and Computation* 33(3): 197-219.

# The Architecture and Design of an Online Course Authoring Tool Using Learning Objects (OCATLO)

**Hassan Mathkour**

*Department of Computer Science, King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia*

E-mail: [binmathkour@yahoo.com](mailto:binmathkour@yahoo.com)

Tel: +966-1-4676575; Fax: +966-1-4675630

**Saleh Al-Hammami**

*Department of Computer Science, King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia*

## Abstract

This paper describes the architecture and design of an easy to use online course authoring tool and highlights the development of a set of computing courses according to a specific e-content development methodology. The design methodology of the tool includes two approaches: Learning Objective e-contents and Learning Object concepts. The tool is intended to help instructors to develop multimedia-based e-contents using a simple editor. The tool has been developed from experiences and insights gained over a stage content development training process involving university lecturers in computer science and engineering subjects.

**Keywords:** Learning objective, Learning object, LMS, Online course authoring tool, E-content structuring.

## 1. Introduction

E-learning is identified as one of the emerging areas (Brennan, 2003) and has proven useful for educational institutions as well as companies (Dietinger, 2003). Despite its popularity in recent years, it is impacted by various aspects including costs, political matters (Noble, 2001), available technologies, pedagogical principles, usability, true awareness and benefits as well as cultural impacts. In areas of the world, awareness, usability, realization of benefit, and acceptance of e-learning concepts are minimal. In a local survey conducted by the authors on a sample of students and training-seeking personnel, only a small percentage of participants showed true awareness of the concept and only a few have been involved in courses conducted through E-learning. Gunawardena et al (2004) indicate that a shift from technology to pedagogy-based research can be observed within the field of distance learning. Educators have become more interested in examining pedagogical themes and strategies within online courses instead of experimenting with new technologies (Gerhard 2002).

Developing e-learning courses can be seen as a complex process that is beyond systematically executing steps within an instructional design model (Noble 2001; Santos et al. 2004). Among a large number of critical aspects, McLeod (2003) suggests that instructors should consider principles of learning by means of historically grown learning theories. Thus, it is possible to reuse certain procedures, for instance pre-defined instructional components (Merrill, 2001; Rosmalen et al. 2006; Santos et al. 2004)). Modritscher (2006) examined and compared different e-learning methods. He pointed out that:



- E-learning courses implementing different pedagogical strategies may vary in the preparation, implementation, or concluding stage.
- Group tasks may be more effective and popular than tasks for individuals.

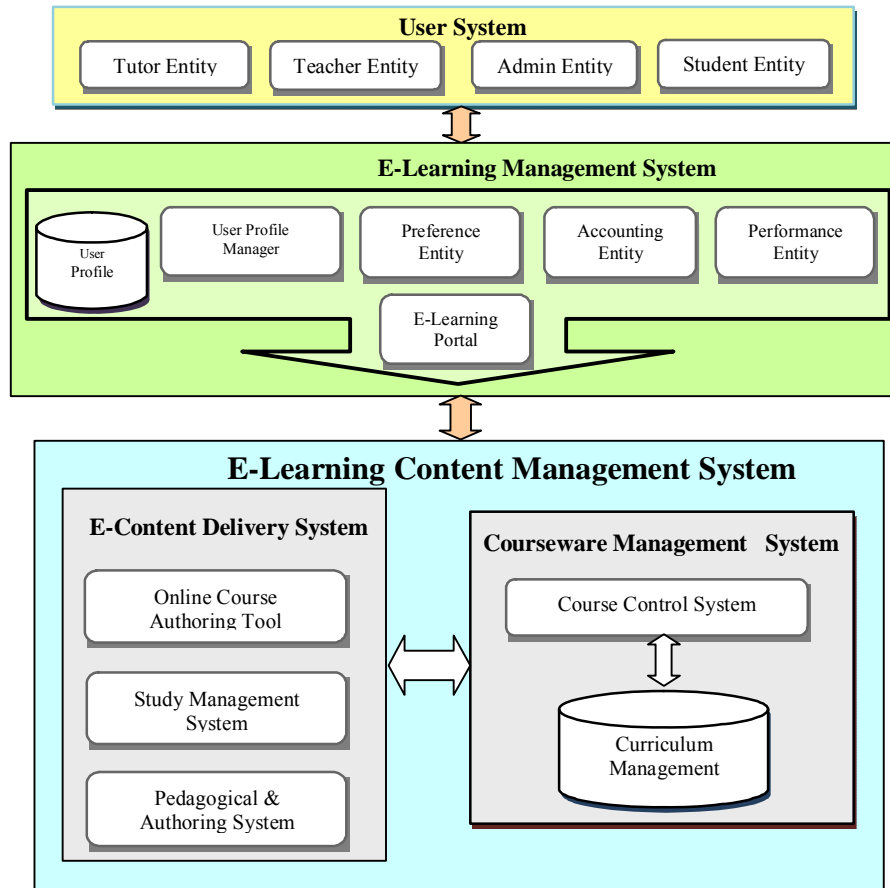
With this in mind and in an effort to further advocate the awareness and usage of e-content and to encourage the concepts of e-learning in our region of the world, we started a project to develop an e-learning system that takes into consideration the cultural aspects of local learners. The course content development methodology adopted is based on the concepts of learning objectives and learning objects. A focus is made on e-content reusability via the concept of learning objects and objectives.

A learning objective for an e-content is an iterative and intuitive approach to content structuring and sequencing. Each sequence can be defined as a learning object. The learning objects (LO) are considered as environments that define objects or collections of objects that can be associated with specific activities or acts to help learners achieve the learning objectives of that activity and the entire course (Alonso, 2006). An LO is also seen as a small-sized, reusable instructional component, designed for distribution over the Internet (Dietinger, 2003; Harris, 2002). It deals with a very specific item of knowledge. Content models (Griffiths, 2005) identify different kinds of learning objects and their components. They provide a more specific definition of what learning objects are and allow for identifying their components and repurposing them. There exist a number of learning object content models, for example the SCORM Content Aggregation Model and CISCO RLO/RIO Model (<http://www.scorm.com>; Griffiths, 2005), etc.

The remaining of the paper is organized as follows: Section 2 presents the architecture of our system. Section 3 details the E-Learning Content Management System, a main component of OCATLO. Section 4 highlights the design considerations accounted for in OCATLO. Section 5 concludes the paper and presents a feature-based comparison of our tool to some of the tools that we have considered.

## **2. An E-Learning Functional Model**

Different functional models (Ahmad et al. 2001; Ambjörn et al. 2005; Gerhard 2002; Xiaofei, 2003) are used to model the working and functionalities of an e-learning system. In our platform, we consider a 3-layer functional model as our conceptual model. It is depicted in Figure 1. The layers are: User System, E-Learning Management System (ELMS), and E-learning content management system (ELCMS). They are detailed below.

**Figure 1:** OCATLO Architecture

## 2.1 User System

Basically an e-learning platform should handle four kinds of users: students, teachers, tutors, and system administrators. The design of the e-learning platform depends on the different kinds of users. It is purposed to meet their requirements. The User System is supposed to version their learning assets for different online learning solutions in a re-usable and interoperable way. It consists of personal entities that are associated to users and that are aware of the users' characteristics. It coordinates the interactions of a set of specialized entities. The role of these specialized entities is to carry out the rich and diverse set of interactions that are activated to make people learn. Consequently, those entities are able to intervene much more effectively to support the different processes taking place in these environments.

## 2.2 E-Learning Management System

The E-Learning Management System (ELMS) provides architectural solutions for E-Learning at different levels, e.g. learning management systems, learning profile management systems, assessment systems, performance support systems, etc. E-learning systems typically keep information about the learners that use them. This information includes: personal data, learning plans (degree plan, for example), learning history, certifications and degrees, assessments of knowledge (skills and competencies), and the status of participation in active learning (registration, progress). Such information is called a user profile. The user profile manager makes user information available to other components and retrieves and updates user's information on the basis of data reported by other components.

The ELMS provides the user profile manager with the user preferences. The information collected is stored in the user profile. All information concerning time-related parameters and the user's behaviours are obtained through the performance entity and the accounting entity. The

preference entity perceives the interaction of the user with the User System and continually performs actions to manage student's preferences. The performance entity calculates the performance metrics when the student leaves the system and evaluates the student activities. The accounting entity perceives the interaction with the User System. It keeps track of the student activities, for example moving to another content page to perform an exercise or a test, etc.

The user profile manager is constantly waiting for the User System to ask to update the new information to be shown to the student and communicates with the performance entity to record the performance of the student in order to decide if s/he needs reinforcement. If the student needs reinforcement, the ECMS will elaborate a plan with the material that has to be shown to the student. In order to determine if the student needs reinforcement, the performance entity will have access to the ECMS. This is made through the e-content delivery system which gives access to the minimum requisites for each subject.

The communication between the ELMS and the ELCMS is insured by the E-Learning Portal. All contents within the E-Learning Portal are fed directly from the ELCMS. The E-Learning Portal supports all the features that are available in existing state-of-the-art e-Learning, e-Publishing and e-Knowledge tools. The ELCMS and its constituents are detailed in the next section.

### **3. E-Learning Content Management System**

An e-learning content management system is a multi-user environment where learning developers can create, store, reuse, manage, and deliver digital learning content from a content repository. The e-learning content management system includes two subsystems: e-content delivery system and the courseware management system. The e-content delivery system combines online course authoring tool (Figure 2), pedagogical and authoring system (Figure 3), and the study management system (figure 4). The courseware management system consists of the Course Control System and the Curriculum Management.

The e-content delivery system provides the learner with access to the learning contents and other components of a learning environment such as chat, email, quizzes, multimedia players, collaboration tools, application sharing, shared whiteboards, etc. In addition, the environment provides necessary tools for instructors.

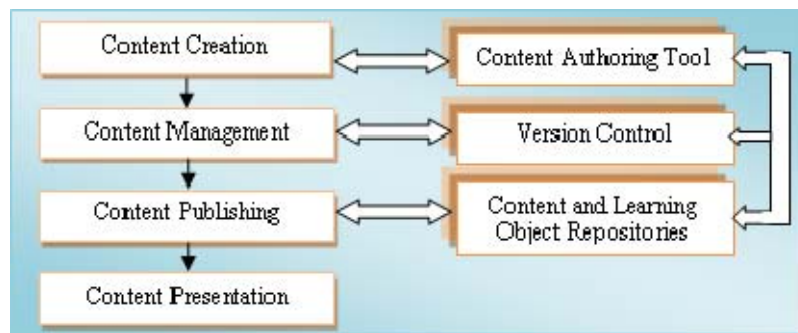
#### **3.1 The Online Course Authoring Tool**

The online course authoring tool observes the full life cycle of a content management system from initially creating the content to delivering it to end-users. It provides the following types of functionalities:

- *Content creation:* This functionality is required by the authors (content creators). It is made possible through content management component. This component provides the authors with a content authoring tool. The content authoring tool and associated services allow authors to create and modify learning content objects. It allows content authors to locate existing contents to reuse or repurpose them rather than recreate them. This make use of the content and learning object repositories which allow users to develop, index, find, and reuse learning objects.
- *Content management:* This involves the management of content workflow and the necessary customization to fit the authors' needs. It also manages the security and authorization issues to protect the integrity of the contents. The version control is used for legal accountability, backup and disaster recovery purposes.
- *Content publishing:* This component manages individual learning objects and generates the final pages using the content stored in the repository. This activity involves several requirements like styles sheets, page template, etc.

- *Content presentation:* This is component is responsible of presentation cosmetics such as ease of use, efficiency and accessibility.

**Figure 2:** Online Course Authoring Tool

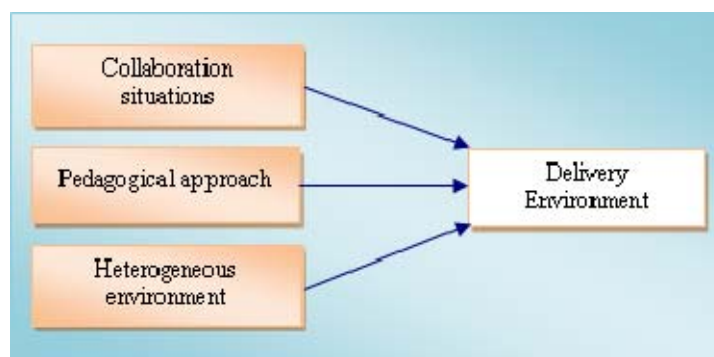


### 3.2. The Pedagogical and Authoring System

The pedagogical and authoring system (Figure 3) mirror the activities of the tutors to conduct the courses in heterogeneous environment, collaborative and synchronous situation.

- *Collaboration situations:* The collaboration is necessary among different users including students, teachers, tutors, and students. This collaboration may be synchronous and/or asynchronous. This component manages this collaboration between the different users to decide on the most suitable collaboration tool.
- *Pedagogical approach:* There are different pedagogical approaches that effect the evaluation of learning progress. The tutor can manage the learning process of the student by selecting the appropriate learning methods. These methods may be behaviour list, constructive list, activist, learning styles, active/passive learning, surface/deep learning...etc. Also the tutor can get the suitable teaching/tutoring method which can be experimental learning, project based learning and problem based learning. We have incorporated cultural flavour in our approach to attract local users. Consequently, students were surveyed to obtain their feedback in how the courses are best structured to be more understandable. In addition, we adopt the idea that the concept of e-learning and the use of the system is be complimentary to regular course conduct. This has been an effort from our side to attract more users to this learning endeavour.
- *Heterogeneous environment:* This component deals with aspects concerning social roles, culture issues and languages (native and second). These issues impact the content of the learning object to meet such requirements.

**Figure 3:** Pedagogical and Authoring System

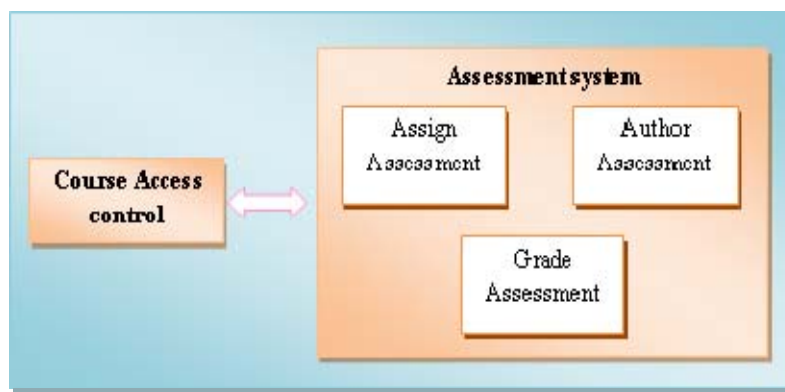


### 3.3. The Study Management System

Figure 4 shows the constituents of this component. It is to allow users to access the available courses through course access control. It also provides the assessment of the student in different courses as needed.

- *Assessment System:* The assessment system generates different types of tests then assigns this test to the student and finally grades this test to provide the student's performance in a given course.
- *Course Access System:* This system controls the access to available courses and provides information about the course such as course schedule, course objectives, course requirements, syllabus....etc.

Figure 4: Study Management System



The ELCM has been fully developed. It has been developed using object-oriented PHP language, HTML and JavaScript. The EWCM is web-based with client/server architecture. Its interface is user-friendly allowing the development of e-contents and the reusability of learning objects using the Arabic and English languages in the interface and in the course contents. Figures 5 and 6 are snapshots of the system screens representing the homepage and the admin page.

Figure 5: Home page



Figure 6: Admin page



#### 4. Design Issues of OCATLO

An aim of this tool is to provide a high level learning content services to help professors to upload to the platform a multimedia content, integrating text, images, video, animations, etc. by a simple editor without requiring HTML programming. Features of the authoring tool include simplicity and off-line authoring. We started with contents that instructors in our school have developed over time in their areas of expertise. Such contents are typically in text-based formats using different software systems such as word processor and presentation software. This makes the modification cumbersome as different files use different software systems. This was a starting point to the idea of this project: It has lead to the development of our Online Course Authoring Tool. The tool is intended to facilitate the process so that the teachers can prepare the course content in any software system (i.e., any format) and a developer converts the content to the tool format, or the teachers can develop the course in the tool format. In the latter case, the tool will guide the teacher to prepare the content via a simple interface. Making an account for the cultural aspect as an important element of concern, the tool is made to support both the Arabic and English languages.

Content generated by the Authoring Tool can be used inside any e-learning platform or self-contained web sites. The tool allows users to select teaching materials (objects) that are already in the courseware system or create their own materials like objectives, case studies, reading activities, etc.

Below, we will explain the methodology that is followed to analyze and design the Online Course Authoring Tool using Learning Object (OCATLO) (Figure 2). The content is structured on the basis of the concept of learning objective, defined as a set of learning objects that can be evaluated according to performance goals to develop coherent information structures that help to build knowledge schemata that are in the learner's mind.

Once the design of a course is commenced, the author uses Content Creation and Management components of the OCATLO to create, manage and maintain course(s), and assets. This component also allows previewing and publishing of courses that will be displayed to the students. The details of the methodology are illustrated in Figure 7.

The process of e-content structuring is governed by objectives. The author has to be aware in each of the course creation steps from analysis to evaluation what objective is required and what information on the learner is of relevance. At the beginning, the author lays down the global objective (GO) of the course that leads to a degree qualification or a certification. The GO is the highest stratum. Next, the course is broken up into a list of general objectives (GnO). Each GnO concerns a lesson (e.g., a chapter). Using the list of GnO, the author will create the course plan. Following, each GnO is

examined keeping in mind the specific knowledge that will contribute to attain the GnO. The specific knowledge constitutes a learning objective (LOb) like a section in a chapter. A LOb is the specific knowledge that the learner has to acquire about a concept or skill and the tasks to be performed. It may be the case that a learning objective includes several learning objects. A learning object deals with a very specific item of knowledge. In our case, Learning Objects (LO) are defined, as a sequence which represents one idea, and can be displayed in one web page. It is a short text, image, exercise, video, audio, etc. and can be equivalent to one hour in traditional learning. Finally, we can define each LOB by a set of interrelated sequences (or interrelated LO).

A prototype of OCATLO is now operational and has been experimented with in several computing courses in software engineering, communication and networking, database systems, E-commerce, project management, OO programming, and Java programming. Figures 8, 9, and 10 are the screens for the author, course management, and course preview of the prototype.

**Figure 8:** Author screen



Figure 7: Use case analysis of OCATLO

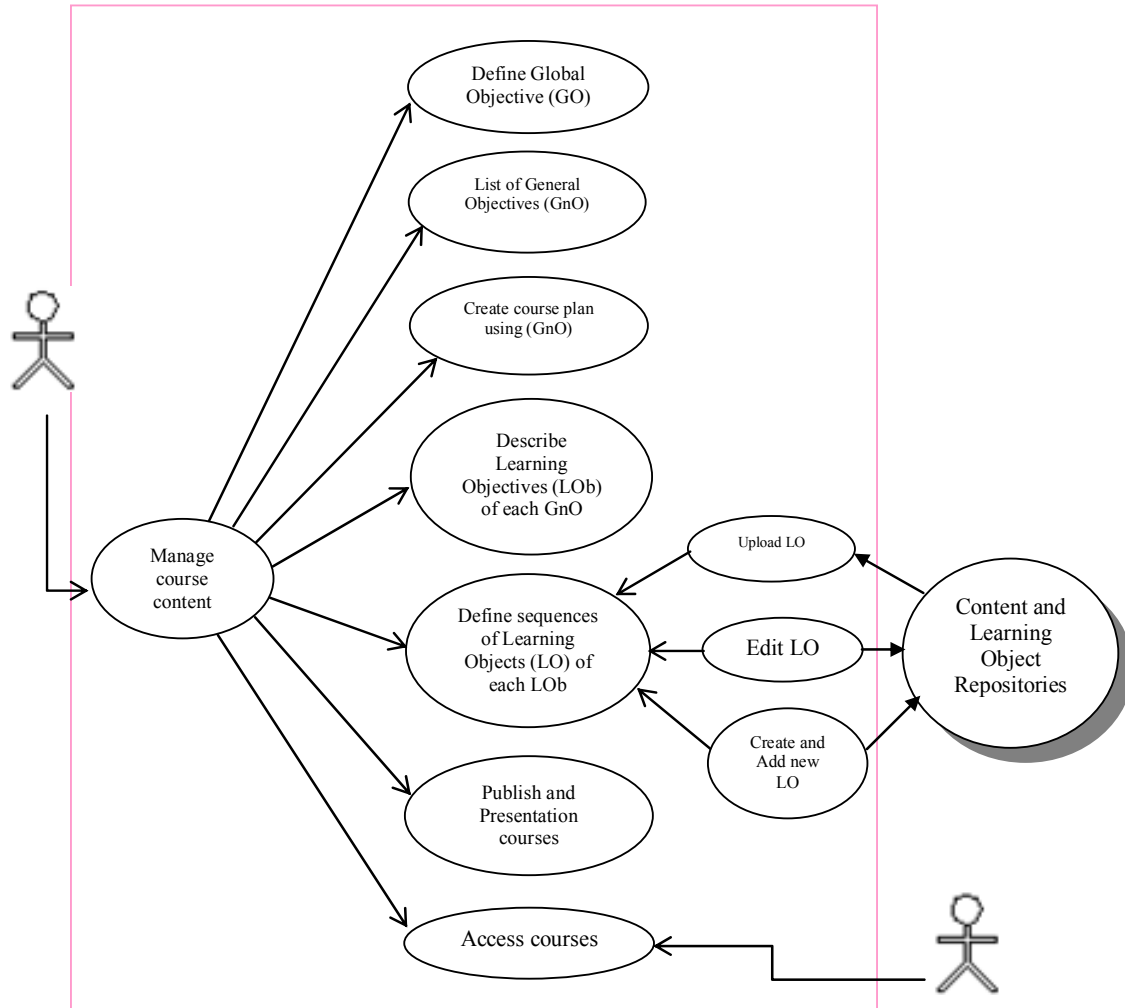


Figure 9: Managing a course





Figure 10: A course preview



## 5. Conclusion

We have presented a bilingual, e-content development tool that has been fully developed and used in a university setting. Feedback from users indicates satisfactory evaluation and acceptance of the tool. Comments included:

- richness of the functionality for the main system components,
- simple to use,
- uniform environment of the presentation of courses,

We believe that this endeavour has been a successful effort to advocate and encourage the implementation of e-learning concepts and ideas in our region. A feature-based comparison of OCATLO to Komposer (Koper et al 2005), Alphanet (Carrion et al 2004) and Flexauthoring (Flexauthoring 2006) is given in Table 1.

Table 1: A Feature-based Evaluation of OCATLO

Features of Authoring Tool	OCATLO	KOMPOSER	ALFANET	FLEXAUTHORING
Ease of Use	✓	✓	✓	✓
Ease of learning	✓	✓	✗	✗
Memorability	✓	✗	✗	✓
Efficiency of use	✓	✓	✗	✓
No programming experience	✓	✓	✓	✓
Resources Manager	✓	✓	✓	✓
Course Builder	✓	✓	✓	✓
Course Archive	✓	✓	✓	✓
Multimedia Capability	✓	✓	✓	✓
Downloading Content	✗	✓	✓	✓
Content structure and organization (Tree view)	✓	✓	✓	✓
Flexibility in course structure (Drag & Drop)	✗	✓	✗	✓
Content Sharing	✓	✓	✓	✓
Student self-assessment	✓	✓	✓	✓
Different types of self-assessment	✗	✓	✓	✗
Error messages	✓	✓	✓	✓
Text formatting	Basic	Advance	Basic	Basic
Registration	✓	✗	✗	✗
Instructor Management	✓	✗	✗	✗
Student Management	✓	✗	✗	✗
Student Presentation	✓	✗	✗	✗
Implementation of Web Standards	✓	✓	✓	✓
Web Based, Cross platform	✓	✓	✓	✓
Compliant with common web technology (fire fox, IE)	✓	✓	✓	✓

In an experiment involving over seven hundred students, fifty six percent of the students in four computing courses use the platform for learning-related activities in a voluntary basis. Courses adopting Arabic e-contents compared favorably to courses adopting English e-contents (Figure 11). The system provides a mix of Arabic and English e-contents. We are in the process of evaluating the

impact of the system on the performance of students who are using Arabic and English e-content separately as compared to that of mix e-content.

**Acknowledgement**

The authors wish to thank the research centre of the college of computers and information sciences, King Saud University for funding the project.

## References

- [1] Ahmad, H., Udin, Z.M., Yusoff, R.Z., 2001, "Integrated process design for e-learning: a case study", The Sixth International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design 2001, 488-491.
- [2] Ambjörn, N., Mikael, N., Matthias, P. and Fredrik, P., 2005 "Contributions to a public e-learning platform: infrastructure; architecture; frameworks; tools", Int. J. Learning Technology, Vol. 1, No. 3, 2005.
- [3] Alonso F., Couchet J., Manrique D. and Soriano F.J., 2006, "Learning Objectives for E-Learning Instruction", Current Developments in Technology-Assisted Education
- [4] Brennan, M., 2003, "U.S. Corporate and Government eLearning Forecast, 2002-2007", International Data Corporation.
- [5] Carrion J., Fuentes C., 2004, "General System Architecture and Design", AL-Fanet, SAGE, Madrid, <http://hdi.handle.net/1820/258>.
- [6] Dietinger, T., 2003, "Aspects of E-Learning Environments", dissertation, Graz University of Technology, Graz.
- [7] Flexauthoring 2006, <http://www.Flexauthoring.com>
- [8] Gerhard, J., Mayr, P., 2002, "Competing in the elearning environment-strategies for universities", Proceedings of the 35th Annual Hawaii International Conference on System Sciences 2002, 3270-3279.
- [9] Griffiths, D., et al., 2005, Learning Design Tools, in Learning Design: modelling and implementing network-based education & training, R. Koper and C. Tattersall, Editors, Springer Verlag. p. 109-135.
- [10] Gunawardena, C.N. and McIsaac, M.S., 2004, "Distance education." In Jonassen, D.H. (Ed.): "Handbook of Research on Educational Communications and Technology" (2nd ed.), Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, pp. 355-395.
- [11] Harris, Jeff, 2002, "An Introduction to Authoring Tools", ASTD's Learning Circuits online magazine, March 2002.
- [12] Koper, R., Tattersall C., 2005, Learning Design, Springer.
- [13] McLeod, G., 2003, "Learning Theory and Instructional Design", Learning Matters, 2, pp.35-43.
- [14] Merrill, M.D., 2001, "Components of Instruction Toward a Theoretical Tool for Instructional Design", Instructional Science, 29(4), pp. 291-310.
- [15] Modritscher F., 2006, "e-learning theories in practice: a comparison of three methods", J. of Universal Science and Technology of Learning, v. 0, no. 0, 3-18.
- [16] Noble, D., 2001, "Fool's gold: Digital diploma mills, Part V", <http://communication.ucsd.edu/>
- [17] Rosmalen, Peter Van, Vogten, Hubert, Van Es, René, Passier, Harrie, Poelmans, Patricia, and Koper, Rob, 2006. "Authoring a full life cycle model in standards-based, adaptive e-learning", Educational Technology & Society, 9 (1), 72-83.
- [18] Santos, O. C., Boticario, J. G., and Barrera, C., 2004, "A Machine Learning Multi-Agent architecture to provide adaptation in a standard-based Learning Management System", 8th WSEAS International Conference on Computers, July 12-15, 2004, Athens, Greece.
- [19] Xiaofei L., El Saddik A. and Georganas N.D., 2003, "An Implementable Architecture of an E-Learning System", CCECE – CCGEI 2003, Montreal.
- [20] <http://www.scorm.com>.

## **Protocols for Testing Polysomy of Chromosome 17 in Breast Cancer Tumors**

**Maika G. Mitchell**

*Columbia University Medical Center, New York, New York 10032*

E-mail: [mm3158@columbia.edu](mailto:mm3158@columbia.edu)

### **Abstract**

Polysomy is defined as an abnormal genetic condition in which all the chromosomes are present, and some but not all are present in greater than normal numbers. Several techniques are available to assess HER2 status: those that measure gene amplification (Southern blot analysis, polymerase chain reaction, and fluorescence in situ hybridization [FISH]), protein expression (Immunohistochemistry [IHC] and Western blot analysis), or mRNA levels (Northern blots).

The gold standard in recent years has become the Fluorescent in-situ hybridization or (FISH) method where probes tagged with a fluorescent label are incubated with the chromosomes. If the gene is amplified or has more copies, it will be identified by the probe.

**Keywords:** Polysomy, breast cancer, tumor, Southern blot analysis, polymerase chain reaction, and fluorescence in situ hybridization

### **Introduction**

#### **Clinical background Abnormality of Chromosome 17**

Gain of genetic material from chromosome arm 17q (17q21) is the most frequent cytogenetic abnormality and is associated with advanced disease. A novel chromosomal gain at 1q21-q25 has been found in 50% of advanced cases. (Yoshida et al., 1999) Amplification of N-myc is also a prominent genetic abnormality and suggests the involvement of IGF-IR in neuroblastoma pathogenesis. In some cases, N-myc amplification may be due to the formation of double minutes and loss of chromosome 11. Amplification of N-myc and telomerase activity is predictors of poor prognosis. A complex translocation of chromosome 17 has also been found to be associated with poor prognosis. (Letson et al., 2001).

Her-2/neu, a proto-oncogene located on chromosome 17, is an important biomarker in breast carcinoma (Lal et al., 2003). The genetic abnormality responsible for this conversion has been mapped to chromosome 17, suggesting the presence of a tumor suppressor gene on this chromosome.

#### **Clinical impact in terms of disease processes**

Prognosis HER-2 over expression, occurring in 25-30% of human breast cancers, is associated to shorter time to relapse and lower overall survival. Over expression of the erbB-2 gene, is associated with tumor aggressiveness, and with patient responsiveness to doxorubicin, cyclophosphamide, methotrexate, fluorouracil (CMF), and to paclitaxel, whereas tamoxifen was found to be ineffective and even detrimental in patients with HER2-positive tumors. In Paget's disease of breast, HER2 protein

over expression is caused by amplification of the erbB-2 gene. HER2 has a role in this disease of the breast, where the epidermis of the nipple is infiltrated by large neoplastic cells of glandular origin. It seems that binding of heregulin-alfa to the receptor complex on Paget cells results in chemotaxis of these breast cancer cells. Tumor Her2/*neu* is generally assessed as protein over expression by using immunohistochemistry (IHC).

### **Need for Genetic Testing**

To determine whether individuals who have a family history of a disease, but no current symptoms, have the gene mutation (presymptomatic testing); and to determine the probability that a healthy individual with or without a family history of a certain disease might develop that disease (predictive testing).

## **Experimental Design**

### **A. C.I.S.H. (Chromogenic *in situ* hybridization) PROCEDURE FOR FORMALIN-FIXED**

#### **Paraffin-Embedded Breast Cancer Tissue Samples**

Tissues 4–5  $\mu\text{m}$  thick were mounted on Histogrip-treated microscope slides, dried at 37°C, and baked for 2–4 hours at 60°C. The slides were deparaffinized for 15 min three times in xylene at room temperature (22–27°C) and washed for 2 min three times in 100% ethanol at room temperature. The slides were microwaved in SPOT-Light Tissue Heat Pretreatment Buffer for 10 min at 92°C and washed for 3 min twice in phosphate-buffered saline (PBS). They were covered with 100  $\mu\text{l}$  SPOT-Light Tissue Pretreatment Enzyme for 10 min at 37°C and washed for 2 min three times in PBS at room temperature. The slides were then dehydrated in 70%, 85%, 95%, and 100% ethanol for 2 min each, and then air-dried. Denatured probe (15  $\mu\text{l}$ ) was added to the center of each sample and covered with a 24 mm  $\times$  32 mm coverslip, the edges of which were sealed with thin layer of rubber cement to prevent the evaporation of probe solution during incubation. The slides were denatured at 94°C for 3 min and placed in a dark humidity box for 16–24 hours at 37°C. After removal of the rubber cement and coverslip, the slides were immersed in 0.5  $\times$  SCC buffer in a Coplin jar for 5 min at 75°C. They were then washed for 2 min three times in PBS-Tween 20 buffer at room temperature. The slides were submerged in peroxidase quenching solution and then washed for 2 min three times with PBS, after which endogenous biotin blocking was performed with Reagent A (100  $\mu\text{l}$  of CAS Block).

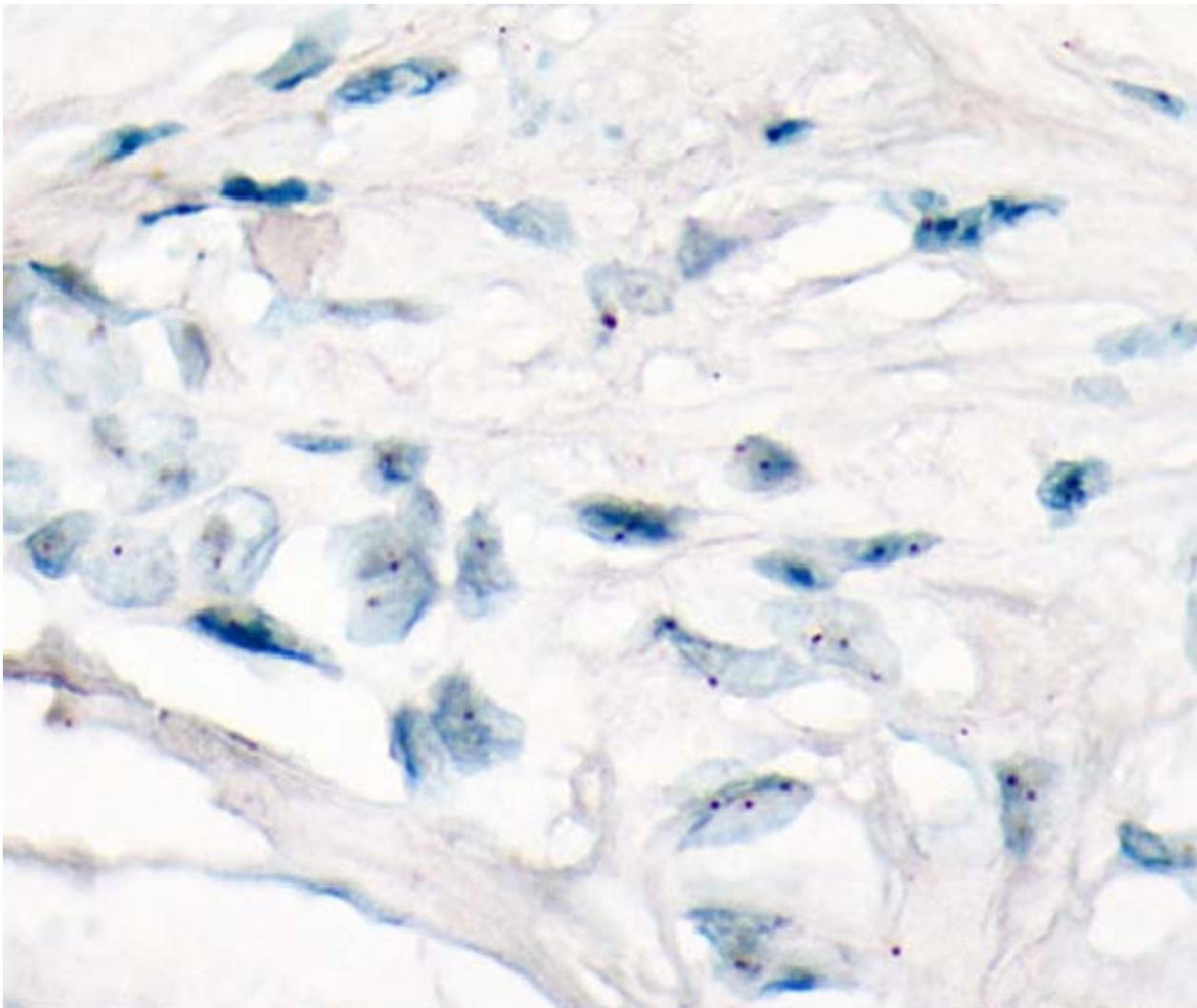
Using Zymed's SPOT-Light Detection Kit, 100  $\mu\text{l}$  each of fluorescein isothiocyanate-labelled sheep anti-digoxigenin, horseradish peroxidase-labeled goat anti-fluorescein isothiocyanate, and diaminobenzidine chromogen were sequentially added to the slides, with three 2 min rinses with PBS-Tween between the additions of reagents. The slides were counterstained with 150  $\mu\text{l}$  of Gill-2 hematoxylin and incubated for 3 min. They were then dehydrated with a graded series of alcohol, cleared in xylene, and mounted with a coverslip.

### **B. C.I.S.H (Chromogenic *in situ* hybridization) REVISED PROTOCOL**

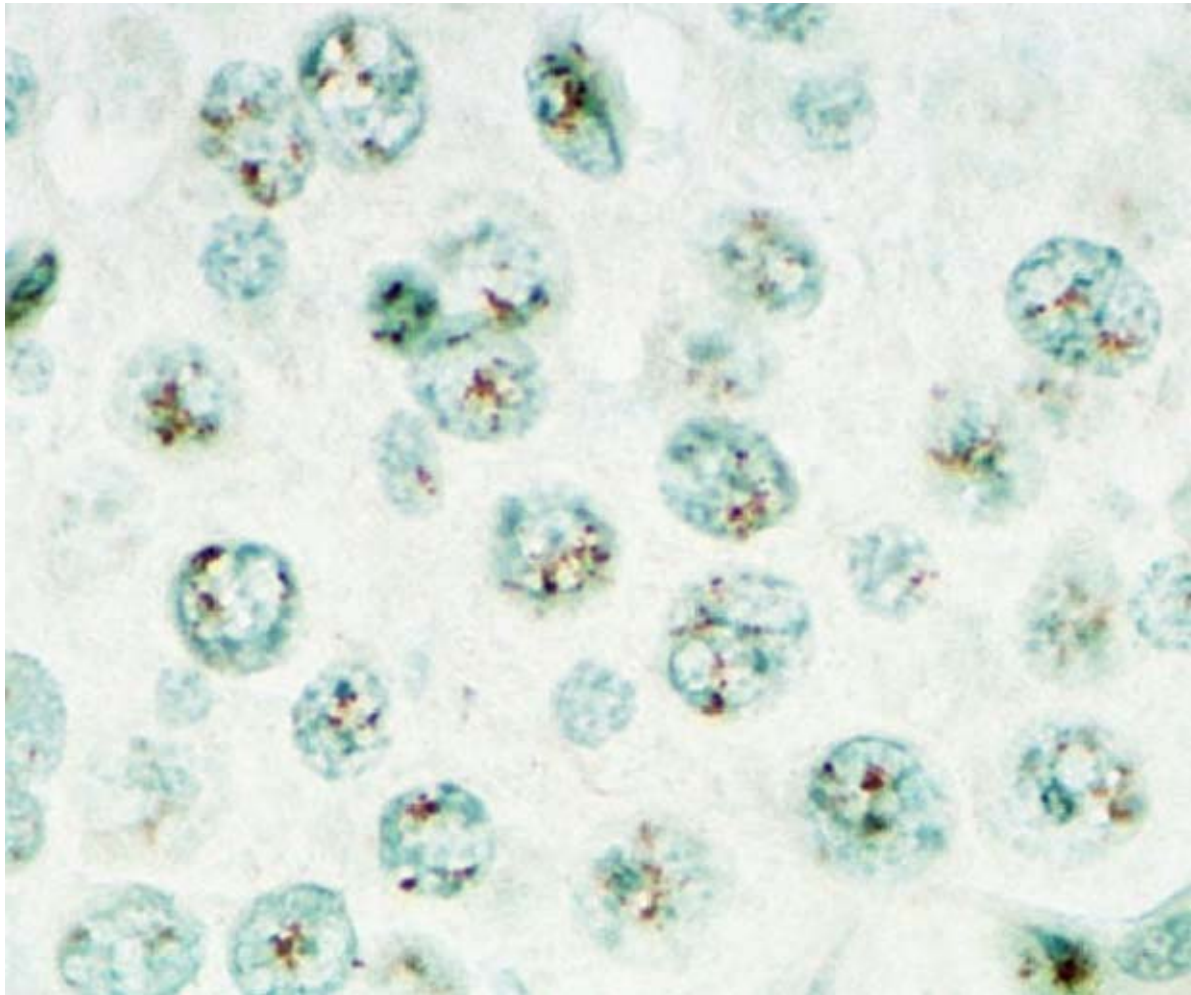
- (1) Prepare tissues or cells using standard fixation and embedding techniques. Dewax and rehydrate slides according to standard procedures.
- (2) Follow standard non-radioactive *in situ* hybridization techniques. Include tissue permeabilization (if needed) and quenching of endogenous peroxidase activity (if needed). Probe hybridization (with digoxigenin, biotin, or fluorescein-labeled probes) should be done using concentration determined in optimization studies (see p. 9) followed by post-hybridization stringency washes.
- (3) Incubate slides with 100-300  $\mu\text{L}$  of TNB Buffer in a humidified chamber for 30 minutes at room temperature.

- (4) Incubate slides for 30 minutes at room temperature in a humidified chamber with appropriate HRP labeled reagent using Fluorescein labeled probes: 100-300  $\mu\text{L}$  of anti-fluorescein-HRP (Cat. # NEF710) diluted 1:250 in TNB Buffer.
- (5) Wash the slides 3X for 5 minutes each in TNT Buffer at room temperature with agitation.
- (6) Pipet 100-300  $\mu\text{L}$  of the **DNP Amplification Reagent Working Solution** (p. 11) onto each slide. Incubate the slides at room temperature for 3 to 10 minutes.
- (7) Wash the slides 3X for 5 minutes each in TNT Buffer at room temperature with agitation.
- (8) Add 100-300  $\mu\text{L}$  of **anti-DNP-AP** (provided in kit) diluted 1:100 in TNB Buffer to each slide. Incubate the slides in a humidified chamber at room temperature for 30 minutes.
- (9) Wash the slides 3X for 5 minutes each in TNT Buffer at room temperature with agitation.
- (10) Visualize with 100-300  $\mu\text{L}$  standard alkaline phosphatase chromogenic substrates such as BCIP/NBT (5-bromo-4-chloro-indolyl phosphate/ nitroblue tetrazolium). Incubate slides 10 minutes in the dark. Examine slides for signal strength. If a darker signal is desired, incubate slides an additional 10-30 minutes.

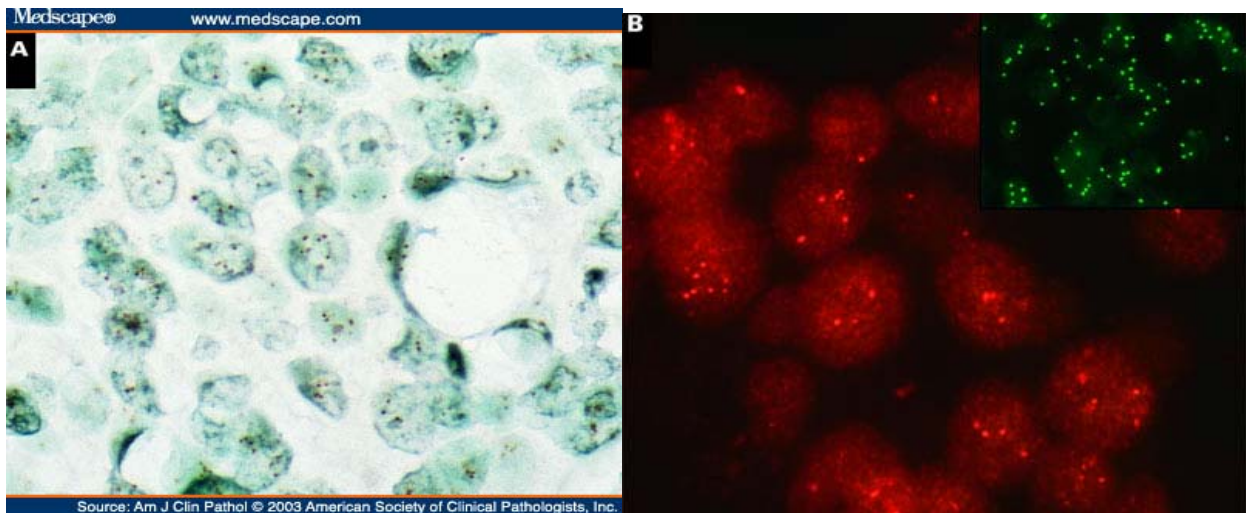
**Negative Control:** Non-amplified tumor. Chromogenic in situ hybridization showing 1 to 4 clearly defined dots in each nucleus (X 1,000).



**Positive Tissue Control:** Amplification of *HER-2/neu* by chromogenic in situ hybridization, seen as large copy gene clusters in the majority of the nuclei (X 1,000).



**Figure 1:** **A**, Tumor nuclei with more than 5 discrete brown dots consistent with low-level amplification by chromogenic in situ hybridization (X 1,000). **B**, Same case showing no amplification of *HER-2/neu* (i.e., 2-4 copies per nucleus) and polysomy for chromosome 17 (inset) by fluorescence in situ hybridization (X 1,000).



**REAGENTS in Zymed's SPOT-Light Detection Kit**

- Reagent A. One dropper bottle (4 mL) of ready-to-use CAS-Block™.
- Reagent B. One dropper bottle (3 mL) of ready-to-use AP-Sheep anti-Digoxigenin.
- Reagent C. One dropper bottle (3 mL) of ready-to-use HRPStreptavidin.
- Reagent D1. One dropper bottle (1 mL) of concentrated substrate buffer (20x).
- Reagent D2. One dropper bottle (1 mL) of concentrated chromogen solution, DAB (20x).
- Reagent D3. One dropper bottle (1 mL) of 0.6% hydrogen peroxide (20x)
- Reagent E1. 5 Fast Red Chromogen tablets (1 tablet each)
- Reagent E2. 2 bottles (15 mL each) of ready-to-use AP Substrate/Buffer
- Reagent F. One bottle (8 mL) of Clearmount™

**Reagents and Materials not Provided in Zymed's Spot-Light Detection Kit**

- 10 mM phosphate-buffered saline (PBS), pH 7.4
- 10 mM PBS with 0.025% Tween 20.
- 0.45 µM filter.
- 5 mL syringe
- PAP Pen (Zymed Cat. No 00-8888)
- Mayer Hematoxylin (Zymed Cat. No 00-8011)
- Histomount™ (Zymed Cat. No 00-8030)

**References**

- [1] Lal, Priti, Salazar, Paulo A., Ladanyi, Marc, Chen, Beiyun **Impact of Polysomy 17 on HER-2/neu Immunohistochemistry in Breast Carcinomas without HER-2/neu Gene Amplification** J Mol Diagn 2003 5: 155-159
- [2] G. Douglas Letson, MD, and Carlos A. Muro-Cacho, MD, PhD **Genetic and Molecular Abnormalities in Tumors of the Bone and Soft Tissues** Cancer Control 8(3):239-251, 2001.
- [3] Hirai M, Yoshida S, Kashiwagi H, et al. **1q23 gain is associated with progressive neuroblastoma resistant to aggressive treatment.** Genes Chromosomes Cancer. 1999;25:261-269.



**Figure 1:** ERBB2 (HER-2/*NEU*) Sequence from Chromosome 17 Nucleic Acid Sequence Including Polymorphic Sites

1 GGAGGAGGTG GAGGAGGAGG GCTGCTTGAG GAAGTATAAG AATGAAGTTG TGAAGCTGAG  
 61 ATTCCCCTCC ATTGGGACCG GAGAAACCAG GGGAGCCCC CGGGCAGCCG CGCGCCCCTT  
 121 CCCACGGGGC CCTTTACTGC GCCGCGCGCC CGGCCCCAC CCCTCGCAGC ACCCCGCGCC  
 181 CCGCGCCCTC CCAGCCGGGT CCAGCCGGAG CCATGGGGCC GGAGCCGCAG TGAGCACCAT  
 241 GGAGCTGGCG GCCTTG TGCC GCTGGGGGCT CCTCCTCGCC CTCTTGCCCC CCGGAGCCGC  
 301 GAGCACCCAA GTGTGCACCG GCACAGACAT GAAGCTGCGG CTCCTGCCA GTCCCGAGAC  
 361 CCACCTGGAC ATGCTCCGCC ACCTTACCA GGGCTGCCAG GTGGTGCAGG GAAACCTGGA  
 421 ACTCACCTAC CTGCCCACCA ATGCCAGCCT GTCCTTCTG CAGGATATCC AGGAGGTGCA  
 481 GGGCTACGTG CTCATCGCTC ACAACCAAGT GAGGCAGGTC CCACTGCAGA GGCTGCGGAT  
 541 TGTGCGAGGC ACCCAGCTCT TTGAGGACAA CTATGCCCTG GCCGTGCTAG ACAATGGAGA  
 601 CCCGCTGAAC AATACCACCC CTGATC/GACAGG GGCCTCCCCA GGAGGCCTGC  
 GGGATG/CCTGCA  
 661 GCTTCGAAGC CTCACAGAGA TCTTGAAGG AGGGGTCTTG ATCCAGCGGA ACCCCAGCT  
 721 CTGCTACCAG GACACGATTT TGTGGAAGGA CATCTTCCAC AAGAACAACC AGCTGGCTCT  
 781 CACACTGATA GACACCAACC GCTCTCGGC CTGCCACCCC TGTTTCCGA TGTGTAAGGG  
 841 CTCCCGCTGC TGGGGAGAGA GTTCTGAGGA TTGTCAGAGC CTGACGCGCA CTGTCTGTGC  
 901 CGGTGGCTGT GCCCGCTGCA AGGGGCCACT GCCACTGAC TGCTGCCATG AGCAGTGTGC  
 961 TGCCGGCTGC ACGGGCCCCA AGCACTCTGA CTGCCTGGCC TGCCTCCACT TCAACCACAG  
 1021 TGGCATCTGT GAGCTGCACT GCCCAGCCCT GGTCACCTAC AACACAGACA CGTTTGAGTC  
 1081 CATGCCCAAT CCCGAGGGCC GGTATACATT CGGCGCCAGC TGTGTGACTG CCTGTCCCTA  
 1141 CAACTACCTT TCTACGGACG TGGGATCCTG CACCCTCGTC TGCCCCCTGC ACAACCAAGA  
 1201 GGTGACAGCA GAGGATGGAA CACAGCGGTG TGAGAAGTGC AGCAAGCCCT GTGCCCGAGT  
 1261 GTGCTATGGT CTGGGCATGG AGCACTTGGC AGAGGTGAGG GCAGTTACCA GTGCCAATAT  
 1321 CCAGGATTTT GCTGGCTGCA AGAAGATCTT TGGGAGCCTG GCATTTCTGC CGAGAGCTT  
 1381 TGATGGGGAC CCAGCTCCA ACATGCCCC GCTCCAGCCA GAGCAGTCC AAGTGTGTA  
 1441 GACTCTGGAA GAGATCACAG GTTACCTATA CATCTCAGCA TGGCCGGACA GCCTGCCTGA  
 1501 CCTCAGCGTC TTCCAGAACC TGCAAGTAAT CCGGGGACGA ATTCTGCACA ATGGCGCCTA  
 1561 CTCGCTGACC CTGCAAGGGC TGGGCATCAG CTGGCTGGGG CTGCGCTCAC TGAGGGA  
 1621 GGGCAGTGGA CTGGCCCTCA TCCACCATAA CACCACCTC TGCTTCGTGC ACACGGTGCC  
 1681 CTGGGACCAG CTCTTTCGGA ACCCGCACCA AGCTCTGCTC CACTGCCA ACCGGCCAGA  
 1741 GGACGAGTGT GTGGGCGAGG GCCTGGCCTG CCACCAGCTG TGCGCCCGAG GGCCTGCTG  
 1801 GGGTCCAGGG CCCACCCAGT GTGTCAACTG CAGCCAGTTC CTTCGGGGCC AGGAGTGCCT  
 1861 GGAGGAATGC CGAGTACTGC AGGGGCTCCC CAGGGAGTAT GTGAATGCCA GGCCTGTTT  
 1921 GCCGTGCCAC CTTGAGTGTG AGCCCCAGAA TGGCTCAGTG ACCTGTTTTG GACCGGAGGC  
 1981 TGACCAGTGT GTGGCCTGTG CCCACTATAA GGACCCTCCC TTCTGCGTGG CCCGCTGCC  
 2041 CAGCGGTGTG AAACCTGACC TCTCCTACAT GCCCATCTGG AAGTTTCCAG ATGAGGAGGG  
 2101 CGCATGCCAG CTTGCCCCA TCAACTGCAC CCACTCCTGT GTGGACCTGG ATGACAAGGG  
 2161 CTGCCCCGCC GAGCAGAGAG CCAGCCCTCT GACGTCCATC ATCTCTGCGG TGTTGGCAT  
 2221 TCTGCTGGTC GTGGTCTTGG GGGTGGTCTT TGGGATCCTC ATCAAGCGAC GGCAGCAGAA  
 2281 GATCCGGAAG TACACGATGC GGAGACTGCT GCAGGAAACG GAGCTGGTGG AGCCGCTGAC  
 2341 ACCTAGCGGA GCGATGCCA ACCAGGCGCA GATGCGGATC CTGAAAGAGA CGGAGCTGAG  
 2401 GAAGGTGAAG GTGCTTGGAT CTGGCGCTTT TGGCACAGTC TACAAGGGCA TCTGGATCCC  
 2461 TGATGGGGAG AATGTGAAAA TTCCAGTGGC CATCAAAGTG TTGAGGGAAA ACACATCCCC  
 2521 CAAAGCCAAC AAAGAAATCT TAGACGAAGC ATACGTGATG GCTGGTGTGG GCTCCCCATA  
 2581 TGTCTCCCGC CTTCTGGGCA TCTGCCTGAC ATCCACGGTG CAGCTGGTGA CACAGCTTAT  
 2641 GCCCTATGGC TGCCTCTTAG ACCATGTCCG GGAACCCTGC GGACGCCTGG GCTCCCAGGA  
 2701 CTTGCTGAAC TGGTGTATGC AGATTGCCA GGGGATGAGC TACCTGGAGG ATGTGCGGCT  
 2761 CGTACACAGG GACTTGGCCG CTCGGAACGT GCTGGTCAAG AGTCCCAACC ATGTCAAAT  
 2821 TACAGACTTC GGGCTGGCTC GGCTGTGGA CATTGACGAG ACAGTAGTACC ATGCAGATGG  
 2881 GGGCAAGGTG CCCATCAAGT GGATGGCGCT GGAGTCCATT CTCCGCCGGC GGTTACCCA  
 2941 CCAGAGTGAT GTGTGGAGTT ATGGTGTGAC TGTGTGGGAG CTGATGACTT TTGGGGCCAA  
 3001 ACCTTACGAT GGGATCCCAG CCCGGGAGAT CCCTGACCTG CTGGAAAAGG GGGAGCGCT  
 3061 GCCCCAGCCC CCCATCTGCA CCATTGATGT CTACATGATC ATGGTCAAAT GTTGGATGAT  
 3121 TGACTCTGAA TGTCGGCCAA GATTCCGGGA GTTGGTGTCT GAATTCTCCC GCATGGCCAG  
 3181 GGACCCCGAG CGCTTTGTGG TCATCCAGAA TGAGGACTTG GGCCAGCCA GTCCCTTGA  
 3241 CAGCACCTTC TACCGCTCAC TGCTGGAGGA CGATGACATG GGGGACCTGG TGGATGCTGA  
 3301 GGAGTATCTG GTACCCAGC AGGGCTTCTT CTGTCCAGAC CCTGCCCCGG GCGCTGGGG  
 3361 CATGGTCCAC CACAGGCACC GCAGCTCATC TACCAGGAGT GGCGGTGGGG ACCTGACACT

3421 AGGGCTGGAG CCCTCTGAAG AGGAGGCCCC CAGGTCTCCA CTGGCACCCCT CCGAAGGGGC  
3481 TGGCTCCGAT GTATTTGATG GTGACCTGGG AATGGGGGCA GCCAAGGGGC TGCAAAGCCT  
3541 CCCACACAT GACCCCAGCC CTCTACAGCG GTACAGTGAG GACCCCACAG TACCCCTGCC  
3601 CTCTGAGACT GATGGCTACG TTGCCCCCT GACCTGCAGC CCCAGCCTG AATATGTGAA  
3661 CCAGCCAGAT GTTCGGCCCC AGCCCCCTC GCCCCGAGAG GGCCCTCTGC CTGCTGCCCC  
3721 ACCTGCTGGT GCCACTCTGG AAAGGCCCAA GACTCTCTCC CCAGGGAAGA ATGGGGTCGT  
3781 CAAAGACGTT TTTGCCTTTG GGGGTGCCGT GGAGAACCCC GAGTACTTGA CACCCCAGGG  
3841 AGGAGCTGCC CCTCAGCCCC ACCCTCCTCC TGCCTTCAGC CCAGCCTTCG ACAACCTCTA  
3901 TTACTGGGAC CAGGACCCAC CAGAGCGGGG GGCTCCACCC AGCACTTCA AAGGGACACC  
3961 TACGGCAGAG AACCCAGAGT ACCTGGGTCT GGACGTGCCA GTGTGAACCA GAAGGCCAAG  
4021 TCCGCAGAAG CCCTGATGTG TCCTCAGGGA GCAGGGAAGG CCTGACTTCT GCTGGCATCA  
4081 AGAGGTGGGA GGGCCCTCCG ACCACTTCCA GGGGAACCTG CCATGCCAGG AACCTGTCCT  
4141 AAGGAACCTT CCTTCTGCT TGAGTTCCA GATGGCTGGA AGGGGTCCAG CCTCGTTGGA  
4201 AGAGGAACAG CACTGGGGAG TCTTTGTGGA TTCTGAGGCC CTGCCAATG AGACTCTAGG  
4261 GTCCAGTGGA TGCCACAGCC CAGCTTGGCC CTTTCCTTCC AGATCCTGGG TACTGAAAGC  
4321 CTTAGGGAAG CTGGCCTGAG AGGGGAAGCG GCCCTAAGGG AGTGTCTAAG AACAAAAGCG  
4381 ACCATTCTAG AGACTGTCCC TGAACCTAG TACTGCCCC CATGAGGAAG GAACAGCAAT  
4441 GGTGTCAGTA TCCAGGCTTT GTACAGAGTG CTTTCTGTT TAGTTTTTAC TTTTTTTGTT  
4501 TTGTTTTTTT AAAGATGAAA TAAAGACCCA GGGGGAGAAT GGGTGTTGTA TGGGGAGGCA  
4561 AGTGTGGGGG GTCCTTCTCC ACACCCACTT TGTCCATTG CAAATATATT TTGGAAAACA  
4621 GCTA

**Name:** Her-2/*neu* (erbb2)

**Conformation:** linear

**Enzymes:** PstI

**Figure 2:** Annotation of enzyme cutting sites

Name	Sequence	Site Length	Overhang	Frequency	Cut Positions
PstI	CTGCAG	6	three_prime	7	462, 528, 660, 1832, 1881, 2313, 3638

Length	5' Enzyme	5' Base	3' Enzyme	3' Base	Sequence
1325	PstI	2314	PstI	3638	GGAAACGGAG CTGGTGGAGC CGCTGACACC TAGCGGAGCG ATGCCCAACC AGGCGCAGAT GCGGATCCTG AAAGAGACGG AGCTGAGGAA GGTGAAGGTG CTTGGATCTG GCGCTTTTGG CACAGTCTAC AAGGGCATCT GGATCCCTGA TGGGAGAAT GTGAAAATTC CAGTGGCCAT CAAAGTGTG AGGAAAACA CATCCCCAA AGCCAACAAA GAAATCTTAG ACGAAGCATA CGTGATGGCT GGTGTGGGCT CCCCATATGT CTCCGCCTT CTGGGCATCT GCCTGACATC CACGGTGCAG CTGGTGCAC AGCTTATGCC CTATGGCTGC CTCTTAGACC ATGTCCGGGA AAACCGCGGA CGCCTGGGCT CCCAGGACCT GCTGAAGTGG TGTATGCAGA TTGCCAAGGG GATGAGCTAC CTGGAGGATG TGCGGCTCGT ACACAGGGAC TTGGCCGCTC GGAACGTGCT GGTC AAGAGT CCCAACCATG TCAAAATTAC AGACTTCGGG CTGGCTCGGC TGCTGGACAT TGACGAGACA GAGTACCATG CAGATGGGG CAAGGTGCC ATCAAGTGG TGGCGCTGGA GTCCATTCTC CGCCGCGGT TCACCCACCA GAGTGATGTG TGGAGTTATG GTGTGACTGT GTGGGAGCTG ATGACTTTTG GGGCCAAACC TTACGATGGG ATCCAGCCC GGGAGATCCC TGACCTGCTG GAAAAGGGGG AGCGGCTGCC CCAGCCCC ATCTGCACCA TTGATGTCTA CATGATCATG GTCAAATGTT GGATGATTGA CTCTGAATGT CGCCAAGAT TCCGGGAGTT GGTGTCTGAA TTCTCCGCA TGGCCAGGGA CCCCAGCGC TTTGTGGTCA TCCAGAATGA GGAAGTGGG CCAGCCAGTC CCTTGGACAG CACCTTCTAC CGTCACTGC TGGAGACGA TGACATGGGG GACCTGGTGG ATGCTGAGGA GTATCTGGTA CCCCAGCAGG GCTTCTTCTG TCCAGACCT GCCCCGGGCG CTGGGGGCAT GGTCCACCAC AGGCACCGCA GCTCATCTAC CAGGAGTGGC GGTGGGGACC TGACACTAGG GCTGGAGCCC TCTGAAGAGG AGGCCCCCAG GTCTCCACTG GCACCTCCG AAGGGGCTGG CTCCGATGTA TTTGATGGTG ACCTGGGAAT GGGGCAGCC AAGGGGCTGC AAAGCCTCCC CACACATGAC CCCAGCCCTC TACAGCGTA CAGTGAGGAC CCCACAGTAC CCCTGCCCTC TGAGACTGAT GGCTACGTTG CCCCCTGAC CTGCA

1172	PstI	661	PstI	1832	GCTTCGAAGC CTCACAGAGA TCTTGAAAGG AGGGGTCTTG ATCCAGCGGA
					ACCCCCAGCT CTGCTACCAG GACACGATTT TGTGGAAGGA CATCTTCCAC
					AAGAACAACC AGCTGGCTCT CACACTGATA GACACCAACC GCTCTCGGGC
					CTGCCACCCC TGTTCTCCGA TGTGTAAGGG CTCCCGCTGC TGGGGAGAGA
					GTTCTGAGGA TTGTCAGAGC CTGACGCGCA CTGTCTGTGC CGGTGGCTGT
					GCCCGCTGCA AGGGGCCACT GCCCACTGAC TGCTGCCATG AGCAGTGTGC
					TGCCGGCTGC ACGGGCCCCA AGCACTCTGA CTGCCTGGCC TGCCTCCACT
					TCAACCACAG TGGCATCTGT GAGCTGCACT GCCCAGCCCT GGTCACCTAC
					AACACAGACA CGTTTGAGTC CATGCCCAAT CCCGAGGGCC GGTATACATT
					CGGCGCCAGC TGTGTGACTG CCTGTCCCTA CAACTACCTT TCTACGGACG
					TGGGATCCTG CACCCTCGTC TGCCCCCTGC ACAACCAAGA GGTGACAGCA
					GAGGATGGAA CACAGCGGTG TGAGAAGTGC AGCAAGCCCT GTGCCCGAGT
					GTGCTATGGT CTGGGCATGG AGCACTTGCG AGAGGTGAGG GCAGTTACCA
					GTGCCAATAT CCAGGAGTTT GCTGGCTGCA AGAAGATCTT TGGGAGCCTG
					GCATTCTGC CGGAGAGCTT TGATGGGGAC CCAGCCTCCA ACACTGCCCC
					GCTCCAGCCA GAGCAGCTCC AAGTGTTTGA GACTCTGGAA GAGATCACAG
					GTTACCTATA CATCTCAGCA TGGCCGGACA GCCTGCCTGA CCTCAGCGTC
					TTCCAGAACC TGCAAGTAAT CCGGGGACGA ATTCTGCACA ATGGCGCCTA
					CTCGTGACC CTGCAAGGGC TGGGCATCAG CTGGCTGGGG CTGCGCTCAC
					TGAGGGAAct GGGCAGTGGA CTGGCCCTCA TCCACCATAA CACCCACCTC
					TGCTTCGTGC ACACGGTGCC CTGGGACCAG CTCTTTCGGA ACCCGCACCA
					AGCTCTGCTC CACTGCCA ACCGGCCAGA GGACGAGTGT GTGGGCGAGG
					GCCTGGCCTG CCACCAGCTG TGCGCCGAG GGCAGTCTG GGTCCAGGG
					CCCACCCAGT GTGTCAACTG CA
985	PstI	3639	none	4624	GCCCCAGCC TGAATATGTG AACCAGCCAG ATGTTCGGCC CCAGCCCCCT
					TCGCCCCGAG AGGGCCCTCT GCCTGCTGCC CGACCTGCTG GTGCCACTCT
					GGAAAGGCC AAGACTCTCT CCCAGGGAA GAATGGGGTC GTCAAAGACG
					TTTTTGCCTT TGGGGTGCC GTGGAGAACC CCGAGTACTT GACACCCAG
					GGAGGAGCTG CCCCTCAGCC CCACCCTCCT CCTGCCTCA GCCAGCCTT
					CGACAACCTC TATTACTGGG ACCAGGACCC ACCAGAGCGG GGGCTCCAC
					CCAGCACCTT CAAAGGGACA CCTACGGCAG AGAACCCAGA GTACCTGGGT
					CTGGACGTGC CAGTGTGAAC CAGAAGGCCA AGTCCGCAGA AGCCCTGATG
					TGTCTCAGG GAGCAGGGAA GGCCTGACTT CTGCTGGCAT CAAGAGGTGG
					GAGGGCCCTC CGACCACTTC CAGGGGAACC TGCCATGCCA

					GGAACCTGTC CTAAGGAACC TTCCTTCTG CTTGAGTCC CAGATGGCTG GAAGGGGTCC AGCCTCGTTG GAAGAGGAAC AGCACTGGGG AGTCTTTGTG GATTCTGAGG CCCTGCCCAA TGAGACTCTA GGGTCCAGTG GATGCCACAG CCCAGCTTGG CCCTTCCCTT CCAGATCCTG GGTACTGAAA GCCTTAGGGA AGCTGGCCTG AGAGGGGAAG CGGCCCTAAG GGAGTGTCTA AGAACAAAAG CGACCCATTC AGAGACTGTC CTGAAACCT AGTACTGCCC CCCATGAGGA AGGAACAGCA ATGGTGTGAG TATCCAGGCT TTGTACAGAG TGCTTTTCTG TTAGTTTTT ACTTTTTTTG TTTGTTTTT TAAAGATGA AATAAAGACC CAGGGGGAGA ATGGGTGTTG TATGGGGAGG CAAGTGTGGG GGGTCTTCT CCACACCCAC TTGTCCATT TGCAAATATA TTTGGAAAA CAGCTA
462	none	1	PstI	462	GGAGGAGGTG GAGGAGGAG GCTGCTTGG GAAGTATAAG AATGAAGTTG TGAAGCTGAG ATTCCCCTCC ATTGGGACCG GAGAAACCAG GGGAGCCCC CGGGCAGCCG CGCGCCCCTT CCCACGGGGC CCTTACTGC GCCGCGCGCC CGGCCCCAC CCCTCGCAGC ACCCCGCGCC CCGCGCCCTC CCAGCCGGGT CCAGCCGAG CCATGGGGCC GGAGCCGAG TGAGACCAT GGAGCTGGCG GCCTTGTGCC GCTGGGGGCT CCTCCTCGCC CTCTTGCCCC CCGGAGCCGC GAGCACCAA GTGTGCACCG GCACAGACAT GAAGCTGCGG CTCCCTGCCA GTCCCGAGAC CCACCTGGAC ATGCTCCGCC ACCTTACCA GGGCTGCCAG GTGGTGCAGG GAAACCTGGA ACTCACCTAC CTGCCACCA ATGCCAGCCT GTCCTCCTG CA
432	PstI	1882	PstI	2313	GGGGTCCCC AGGGAGTATG TGAATGCCAG GCACTGTTT CCGTGCCACC CTGAGTGTCA GCCCAGAAT GGCTCAGTGA CCTGTTTTGG ACCGGAGGCT GACCAGTGTG TGGCCTGTGC CCACTATAAG GACCCTCCCT TCTGCGTGGC CCGCTGCCCC AGCGGTGTGA AACCTGACCT CTCCTACATG CCCATCTGGA AGTTTCCAGA TGAGGAGGGC GCATGCCAGC CTTGCCCCAT CAACTGCACC CACTCCTGTG TGGACCTGGA TGACAAGGGC TGCCCCGCCG AGCAGAGAGC CAGCCCTCTG ACGTCCATCA TCTTGCGGT GGTTGGCATT CTGCTGGTCG TGGTCTTGGG GGTGGTCTTT GGGATCCTCA TCAAGCGACG GCAGCAGAAG ATCCGGAAGT ACACGATGCG GAGACTGCTG CA
132	PstI	529	PstI	660	GAGGCTGCGG ATTGTGCGAG GCACCCAGCT CTTGAGGAC AACTATGCC TGGCCGTGCT AGACAATGGA GACCCGCTGA ACAATACCAC CCCTGTCACA GGGGCTCCC CAGGAGGCCT GCGGGAGCTG CA
66	PstI	463	PstI	528	GGATATCCAG GAGGTGCAGG GCTACGTGCT CATCGCTCAC AACCAAGTGA GGCAGGTCCC ACTGCA
49	PstI	1833	PstI	1881	GCCAGTTCCT TCGGGGCCAG GAGTGCCTGG AGGAATGCCG AGTACTGCA

## Her-2/neu (ERBB2; erythroblastic leukemia viral oncogene homolog 2)

Polymorphisms: allelic variations at amino acid positions 654 and 655 of isoform (a) (positions 624 and 625 of isoform (b)) have been reported, with the most common Allele B1 (Ile-654/Ile-655); allele B2 (Ile-654/Val-655); allele B3 (Val-654/Val-655). This nucleotide polymorphism could be associated with development of gastric carcinoma and with breast cancer risk, particularly among younger women

**Figure 3:** Annotation of location of primers & probes are located on the sequence

Primer Set 1 (Position 1) 624					
Primer	Id	Sequence	Bp	Tm, °C	%GC
← PCR	F1	AGACAATGGAGACCCGCTGAA	21	73.2	52.4
→ PCR	R1	GGGGTTCGCTGGATCAA	18	73.3	61.1
→ Sequencing	S1	TGAACAATACCACCCT	17	53.6	47.1
Target Polymorphisms Sequence to Analyze	Position1 GA/TC/GACA GGGCCTCCC CAGGAGGCT G				

Sequence with marked primers
<pre> AGACAATGGA GACCCGCTGA A                         TGA ACAATACCAC CCCT                       589 AGACAATGGA GACCCGCTGA ACAATACCAC CCCTGWSACA GGGCCTCCC CAGGAGGCT GCGGGWSCTG CAGCTTCGAA GCCTCACAGA 679 GATCTTGAAA GGAGGGTCT TGATCCAGCG GAACCC 716                               A ACTAGGTTCG CTTGGGG </pre>

Sequence with marked primers	POSITION 2; 625
<pre> ACTGCAGAGG CTGCGGATT                  529 ACTGCAGAGG CTGCGGATTG TCGAGGAC CCAAGCTCTT GAGGACAAC ATGCCCTGGC CGTGCTAGAC AATGGAGACC CGCTGAACAA  TACCACCCT         619 TACCACCCT GWSACAGGG CCTCCCCAGG AGGCCTGCG GWSCTGCAGC TTCGAAGCCT CACAGAGATC TTGAAAGGAG GGGTCTTGAT  709 CCAGCGGAAC CCC 715             GGTCGCCTTG GGG </pre>	<pre> TGAACAA         </pre>

Primer Set 1(Position 3)654					
Primer	Id	Sequence	Bp	Tm, °C	%GC
← PCR	F1	CGTGCTAGACAATGGAGACCC	21	70.9	57.1
→ PCR	R1	GGGTTCGCTGGATCAAG	18	70.6	61.1
→ Sequencing	S1	CCCAGGAGGCTGCG	15	64.9	80.0
Target Polymorphisms Sequence to Analyze	Position3 GGA/TG/CCT GCAGCTTCGA AGCCTCACAG AG				

Sequence with marked primers	POSITION3; 654
<pre> CGTGCTAGAC AATGGAGACC C                    583 CGTGCTAGAC AATGGAGACC CGCTGAACAA TACCACCCT GWSACAGGG CCTCCCCAGG AGGCCTGCG GWSCTGCAGC TTCGAAGCCT  673 CACAGAGATC TTGAAAGGAG GGGTCTTGAT CCAGCGGAAC CC 715                    GAACTA GGTGCCTTG GG </pre>	<pre> CCCAGG AGGCCTGCG               </pre>

Primer Set 1(Position 4) 655					
Primer	Id	Sequence	Bp	Tm, °C	%GC
➡ PCR	F1	CAGAGGCTGCGGATTGTG	18	70.6	61.1
⚡ PCR	R1	CTGGATCAAGACCCCTCCTTT	21	70.6	52.4
← Sequencing	S1	AGGCTTCGAAGCTGC	15	55.2	60.0
Target Polymorphisms Sequence to Analyze	Position4	AGC/GA/TCC CGCAGGCCTC CTGGGGAGGC CC			

Figure 3: Annotation of location of primers & probes are located on the sequence

```

Sequence with marked primers POSITION4 ; 655
CAGAGGCTGC GGATTGTG
| | | | | | | | | | | | | | |
527 CAGAGGCTGC GGATTGTGCG AGGCACCCAG CTCTTTGAGG ACAACTATGC CCTGGCCGTG CTAGACAATG GAGACCCGCT GAACAATACC

617 ACCCCTGWSA CAGGGGCCTC CCCAGGAGGC CTGCGGGWSC TGCAGCTTCG AAGCCTCACG GAGATCTTGA AAGGAGGGGT CTTGATCCAG 707
| | | | | | | | | | |
CGTCGAAGC TTCGGA
| | | | | | | | | | | | | | |
T TTCCTCCCCA GAACTAGGTC
    
```