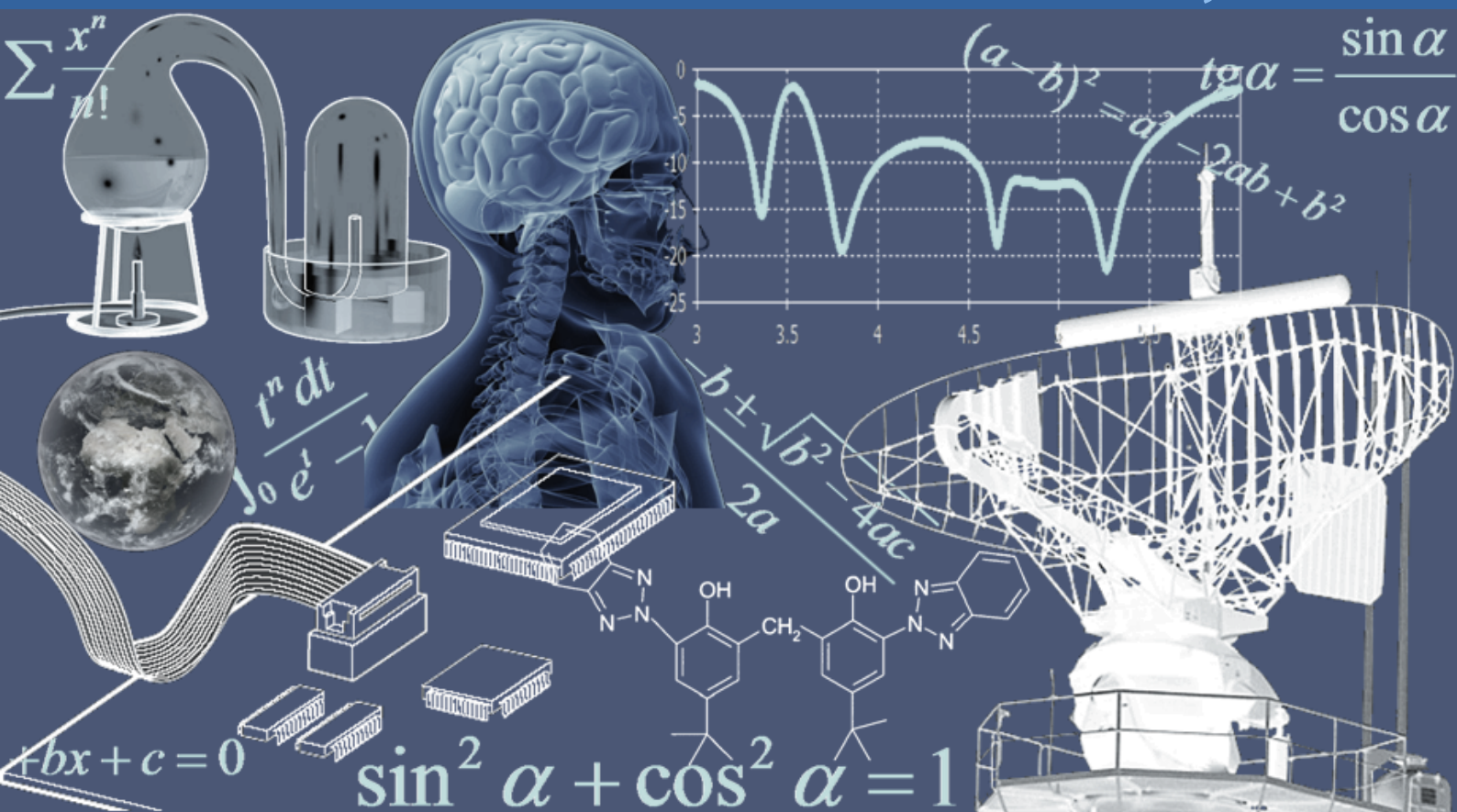


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 23 N. 3 June 2018



International Peer Reviewed Monthly Journal



International Journal of Innovation and Applied Studies

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

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

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

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

Editorial Advisory Board

Amir Samimi, Islamic Azad University, Iran
Mahsa Ja'fari, Department of Chemical Engineering, Abadan Faculty of Petroleum, Petroleum University of Technology, Abadan, Iran
Alin Velea, Paul Scherrer Institute, Switzerland
Kamyar Hasanzadeh, Aalto University, Finland
Ogbonnaya N. Chidibere, University of East Anglia, United Kingdom
Oumair Naseer, University of Warwick, United Kingdom
Wei Zheng, University of Texas Health Science Center at San Antonio, USA
Hu Zhao, University of Southern California, USA
Haijian Shi, Kal Krishnan Consulting Services, Inc, USA
Syed Ainul Abideen, University of Bergen, Norway
Fabio De Felice, University of Cassino and Southern Lazio, Italy
Giovanni Leonardi, Mediterranea University of Reggio Calabria, Italy
Siham El Gouzi, Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, Spain
Mohamed KOSSAÏ, European Business School EBS Paris, France
Mustafa Batuhan AYHAN, Marmara University, Turkey
Andrzej Klimczuk, Warsaw School of Economics, Poland
Corinthias P. M. Sianipar, Tokyo University of Science, Japan
Irfan Jamil, Sinohydro Engineering, China
Sukumar Senthilkumar, Chonbuk National University, South Korea
Bratu (Simionescu) Mihaela, Bucharest University of Economic Studies, Romania
Mirela Maria Codescu, National Institute for R&D in Electrical Engineering ICPE-CA, Romania
Milen Zamfirov, St. Kliment Ohridski Sofia University, Bulgaria
Svetoslava Saeva, Neofit Rilski South-West University, Bulgaria
Dimitris Kavroudakis, University of the Aegean, Greece
Vaitsa Giannouli, Aristotle University of Thessaloniki, Greece
Nataša Pomazalová, Mendel University in Brno, Czech Republic
Hazem M. Shaheen, Damanhour University, Egypt
Shalini Jain, Manipal University Jaipur, India
Amin Julia, National University of Malaysia, Malaysia
Mahdi Moharrampour, Islamic Azad University, Buin zahra Branch, Iran
Ricardo Rodriguez, Technological University of Ciudad Juarez, Mexico
Yuniel E. Proenza Arias, Universidad de las Ciencias Informáticas, Cuba
Elizabeth Bissell Miller, University of Missouri, Columbia
Bertin Désiré SOH FOTSING, University of Dschang, Cameroon
Antonella Petrillo, University of Cassino and Southern Lazio, Italy
Hong Zhao, The Pennsylvania State University, USA
Jianjun Chen, The University of Chicago, USA
Shaju George, Royal University for Women, Kingdom of Bahrain
Chandrasekaran Subramaniam, Kumaraguru College of Technology, India
Ilango Velchamy, New Horizon College of Engineering, India
M. Kumaresan, M.P.N.M.J. Engineering College, India
Mohammad Valipour, University of Tehran, Iran
Mohameden Sidi El Vally, King Khalid University, KSA
Mona Hedayat, Boston Children's Hospital, Harvard Medical School, USA
Suresh Kumar Alla, Advanced Medical Technologies, BD Technologies, USA
Ahmed Hashim Mohaisen Al-Yasari, Babylon University, Iraq
Aziz Ibrahim Abdulla, Tikrit University, Iraq
Khalid Mohammed Shaheen, Technical College of Mosul, Iraq
Baskaran Kasi, Kuala Lumpur Infrastructure University College, Malaysia
Nurul Fadly Habidin, Universiti Pendidikan Sultan Idris, Malaysia
Adnan Riaz, Allama Iqbal Open University, Pakistan
Syed Noor Ul Abideen, KPK Agricultural University, Pakistan
Arab Karim, M'Hammed Bougara University of Boumerdes, Algeria
Zoubir Dahmani, UMAB University of Mostaganem, Algeria
Mohsen Brahmi, Sfax University, Tunisia
Mongi Besbes, University of Carthage, Tunisia
Mai S. Mabrouk, Misr University for Science and Technology, Egypt
Olfat A Diab Kandil, Misr University for Science and Technology, Egypt
Munir Ahmed G. Timol, Veer Narmad South Gujarat University, India
Saravanan Vasudevan, Arunai Engineering College, India

Table of Contents

ANALYSE DES RESISTANCES DE PRISES DE TERRE DES RESEAUX ELECTRIQUES DE CERTAINES LOCALITES EN COTE D'IVOIRE	243-253
<i><u>Kadiolotien SORO, Aka TANOH, and Amidou BETIE</u></i>	
Carcinome mucineux pur : un aspect clinique inhabituel mimant un carcinome inflammatoire	254-258
<i><u>S. Mouffak, F. CHERRABI, Jaouad Kouach, and Driss Moussaoui</u></i>	
Endométriose ovarienne : A propos d'un cas avec revue de la littérature	259-263
<i><u>S. Mouffak, S. BENALI, Jaouad Kouach, and Driss Moussaoui</u></i>	
Effet de la jachère améliorée sur le rendement du manioc à l'Est de la République Démocratique du Congo	264-274
<i><u>Munganga wa Muhwandju Romain, Ugentho Ukany Henri, Oswald Koleramungu Cimanuka, Musungayi Mpongolo Eric, Bulambo Kllongo Pacifique, and Ntamwira Bagula Jules</u></i>	
The effects of different combinations of herbaceous and shrubs and microdose of fertilizer on bean and maize yields, soil proprieties and carbon sequestration on two degraded soils in the highland of South Kivu, Eastern of DR Congo	275-284
<i><u>Ntamwira Bagula Jules, Pyame Mwarabu Lolonga Dieudonne, Kanyenga Lubobo Antoine, and Dhed'a Djailo Benoit</u></i>	
Carcinome métaplasique du sein : A propos de deux cas	285-289
<i><u>Aida Abida, Dalal Kacimi, Mounia El Youssfi, and Samir Barqach</u></i>	
The Historical Development of Constitutional Islamic Religious Text of the legal status of non-Muslims in Islam	290-298
<i><u>Badre-Eddine EZZITI</u></i>	
Traitement par le procédé SBR (Sequencing Batch Reactor) des lixiviats de la décharge publique non contrôlée de la ville de Taza (Maroc)	299-309
<i><u>Abdelouahab Zalahhi, Fatima Lamchouri, Mohammed Merzouki, and Hamid TOUFIK</u></i>	
FISHERIES : A RECOMPOSITION TO THE ECONOMY OF PLANTING IN CRISIS IN THE REGION OF UPPER SASSANDRA (COTE D'IVOIRE)	310-323
<i><u>KOUADIO N'Guessan Olivier and Joseph P. ASSI-KAUDIHIS</u></i>	
METHODES ANALYTIQUES D'AMELIORATION DE LA CONVERGENCE DES SERIES NUMERIQUES REELLES	324-340
<i><u>Théodore Mapendo Wendo</u></i>	

ANALYSE DES RESISTANCES DE PRISES DE TERRE DES RESEAUX ELECTRIQUES DE CERTAINES LOCALITES EN COTE D'IVOIRE

[ANALYSIS OF THE RESISTANCES OF GROUNDING CONNECTORS OF THE ELECTRICITY NETWORKS IN SOME CITIES OF IVORY COAST]

Kadiolotien SORO¹, Aka TANO^{H2}, and Amidou BETIE²

¹Doctorant à l'Ecole Doctorale Polytechnique / UMRI Electricité et Electronique Appliquée BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

²Maitre de Conférence à Institut National Polytechnique Houphouët Boigny, BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This paper is about grounding resistances next to the grounding systems of electric pylons and transformation stations in several localities of Ivory Coast. The data of grounding resistances got next to CIE facilitated drawing of curves and their analysis. The low resistances values from 1Ω to 2Ω of ground in some localities show that the electricity network is safe, on the other hand the high values more than 10Ω in other area show that it is necessary to plan appropriate grounding systems to protect the high voltage electricity network. To solve problem, we suggest techniques of reduction of these grounding resistances. The relevance of this paper is to contribute to the improvement of the grounding systems to protect high voltage electricity networks.

KEYWORDS: Grounding resistance, Earthing, Electricity network and High Voltage.

RÉSUMÉ: Cet article est une contribution dans l'étude des résistances de mises à la terre des pylônes électriques et des postes de transformation de plusieurs localités de la Côte d'Ivoire. Les données de résistances de terre recueillies auprès de la Compagnie Ivoirienne d'Electricité, nous ont permis de construire plusieurs courbes et de les analyser. Les faibles valeurs de résistances de terre entre 1Ω à 2Ω dans certaines localités montrent que le réseau électrique est en sécurité, par contre les valeurs élevées et supérieures à 10Ω dans d'autres zones montrent qu'il faut prévoir des systèmes de mises à la terre adéquats pour sécuriser le réseau électrique Haute Tension. Pour résoudre ce problème, nous avons proposé les techniques de réduction de résistances de terre. La pertinence de cet article après analyse, c'est de proposer des solutions pour améliorer les systèmes de mises à la terre en vue de protéger les réseaux électriques Haute Tension.

MOTS-CLEFS: Resistance de terre, Mise à la terre, Réseau électrique et Haute Tension.

1 INTRODUCTION

L'accès à l'électricité repose sur la production, le transport et la distribution de l'électricité. Ces deux derniers sont des maillons essentiels de la fourniture d'électricité. Ils exigent certaines normes de qualité et de sécurité. Pour garantir les meilleures conditions de transport et de distribution, il est très important de sécuriser le réseau électrique haute tension.

Pour sécuriser le réseau électrique haute tension, il est nécessaire de réduire les résistances de terre au niveau des prises de terre à des valeurs inférieures à 10Ω .

Il nous semble donc utile de nous intéresser aux valeurs de résistances de terre des prises de terres du réseau électrique haute tension dans plusieurs localités de Côte d'Ivoire en vue de les analyser.

A travers cet article, nous analyserons les résistances de terre aux niveaux des prises de terre ou des systèmes de mises à la terre dans plusieurs localités de Côte d'Ivoire.

L'article présente également la technique de mesure des résistances de terre. Enfin, nous aborderons les techniques de réduction des résistances de terre.

2 MATERIEL ET METHODE

2.1 MATÉRIEL

L'appareil de mesure utilisé est le **MEGGER DET4TD2**. Il permet de mesurer des résistances de terre à 2, 3 ou 4 piquets avec une précision de $2\% \pm 3$ digits. Dans notre cas, c'est la méthode de chute de potentiel basée sur 2 piquets qui sera privilégié.



Fig. 1. MEGGER DET4TD2 [Source Manuel Descriptif DET4TD2]

2.2 MÉTHODE

Il est important de rappeler que la mesure de terre de référence se fait avec 2 piquets. Cette mesure est référencée dans toutes les normes de contrôle d'une installation électrique et permet de réaliser une mesure fiable de la résistance de terre.

Le principe de mesure consiste à faire circuler à l'aide d'un générateur de courant **G**, un courant alternatif (*i*) à travers la prise auxiliaire H dite « prise d'injection courant », le retour se réalisant par la prise de terre E.

On mesure la tension **V** entre les prises E et le point du sol où le potentiel est nul au moyen d'une autre prise auxiliaire S dite « prise de potentiel 0 V ». Le quotient entre la tension ainsi mesurée et le courant constant injecté (*i*), donne la résistance

$$\text{recherchée. } R_E = \frac{U_{ES}}{I_{EH}}$$

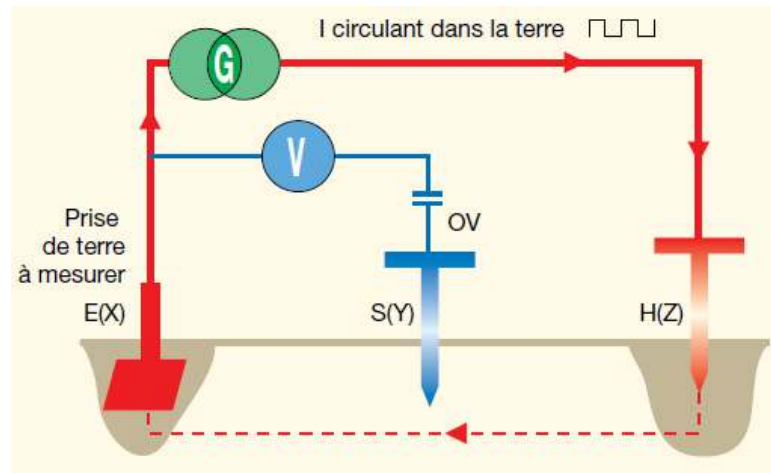


Fig. 2. Méthode de chute de potentiel [Source Manuel Chauvin Arnoux]

L'écoulement d'un courant de défaut se fait d'abord à travers les résistances de contact de la prise de terre. Plus on s'éloigne de la prise de terre, plus le nombre des résistances de contact en parallèle tend vers l'infini et constitue une résistance équivalente quasiment nulle.

À partir de cette limite, quel que soit le courant de défaut, le potentiel est nul. Il existe donc autour de chaque prise de terre, traversée par un courant, une zone d'influence dont on ignore la forme et l'étendue.

Lors des mesures, il faut s'appliquer à planter la prise auxiliaire S dite « prise de potentiel 0 V » à l'extérieur des zones d'influences des prises auxiliaires traversée par le courant (i).

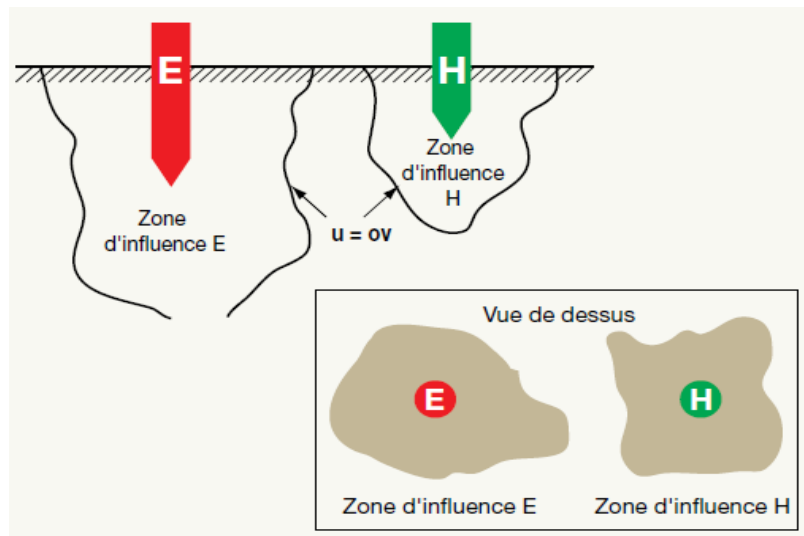


Fig. 3. Zone d'influence des prises de terre

3 RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 ANALYSES DES DONNÉES DE RÉSISTANCES DE TERRE

La collecte des données de résistances de terre de plusieurs zones de Côte d'Ivoire auprès de la CIE [1] nous a permis de construire les courbes suivantes.

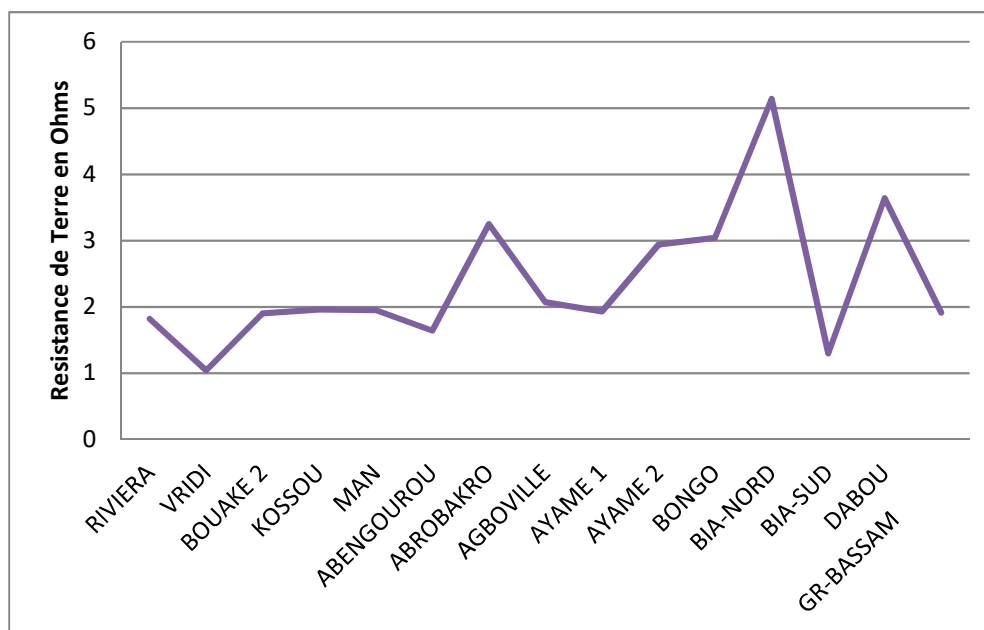


Fig. 4. Courbes des valeurs de résistance de terre des Postes HTB

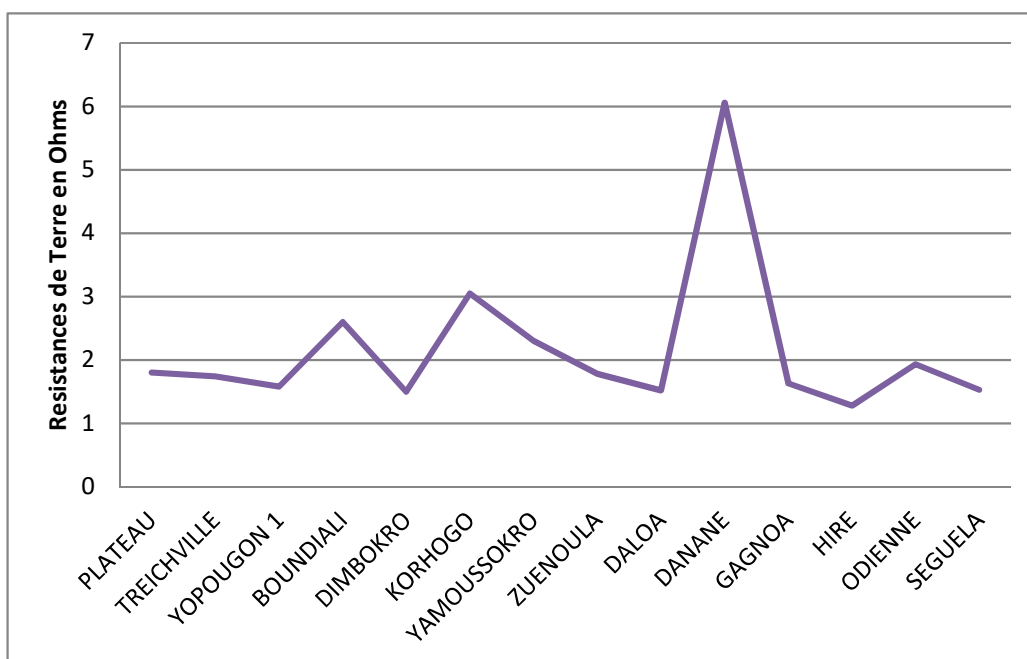


Fig. 5. Valeurs de résistance de terre des Postes HTB

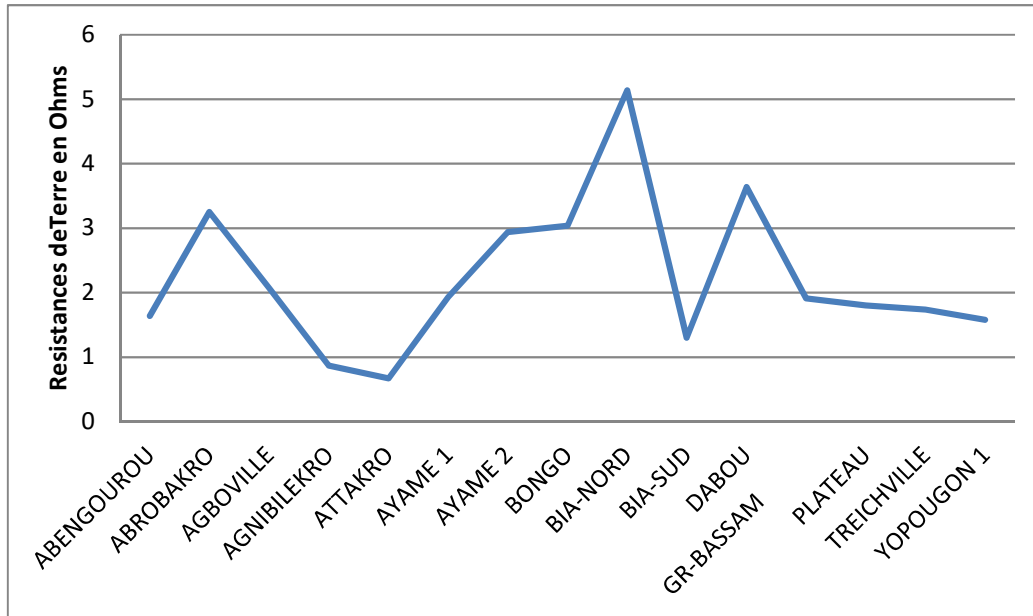


Fig. 6. Résistances du réseau de terre des postes de transformations 90kV

Sur la figure 6 dans la zone de Bia-Nord où $R_T=5,1\Omega$ et sur la figure 5 dans la zone de Danané où $R_T=6,1\Omega$ se trouvent les résistances de terre élevées. Elles traduisent le fait qu'un courant de foudre ou un courant extérieur au réseau va s'écouler plus lentement dans la terre au niveau des prises de terre que dans les autres zones.

La zone de Danané à l'ouest de la Côte d'Ivoire montre un pic de résistance de terre de 6Ω

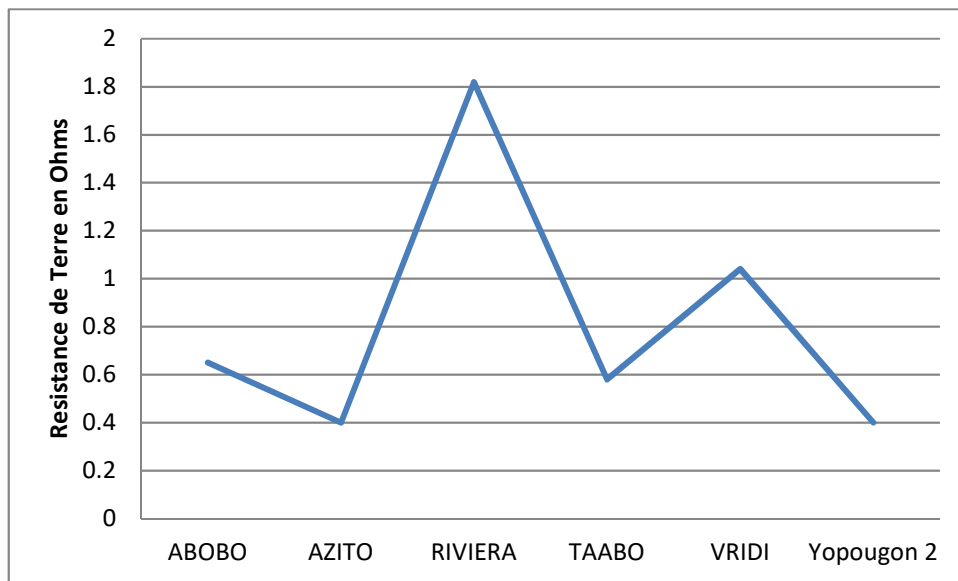


Fig. 7. Résistances du réseau de terre des postes de transformations 225kV

Dans la ville d'Abidjan, sur la figure 7 les résistance de terre sont faibles et varient entre $0,4\Omega$ à Azito et $1,8\Omega$ à Riviera.

Ces valeurs dans la ville d'abidjan sont bonnes pour la sécurité du réseaux électriques d'autant plus que les courants extérieurs aux réseaux électriques peuvent s'écouler facilement dans la terre.

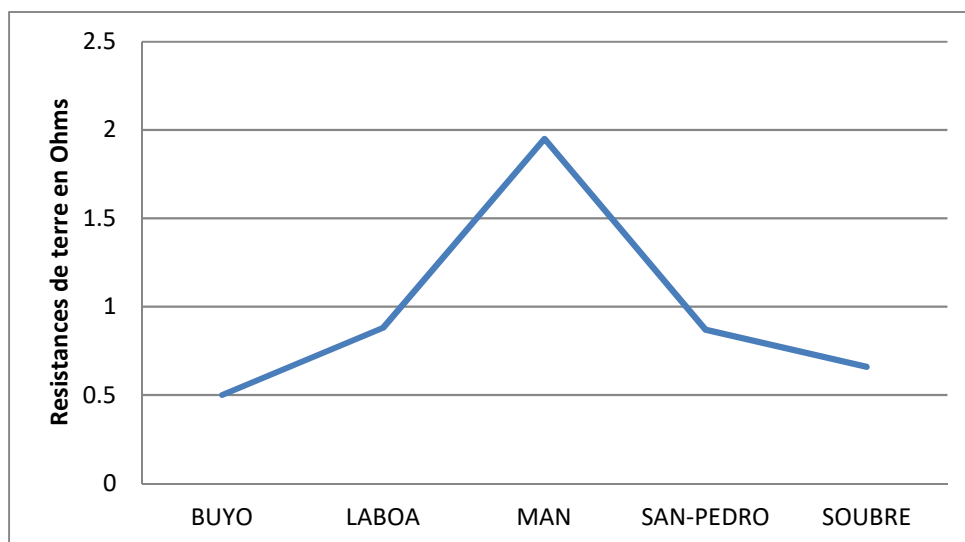


Fig. 8. Résistances du réseau de terre des postes de transformations 225kV DRTET

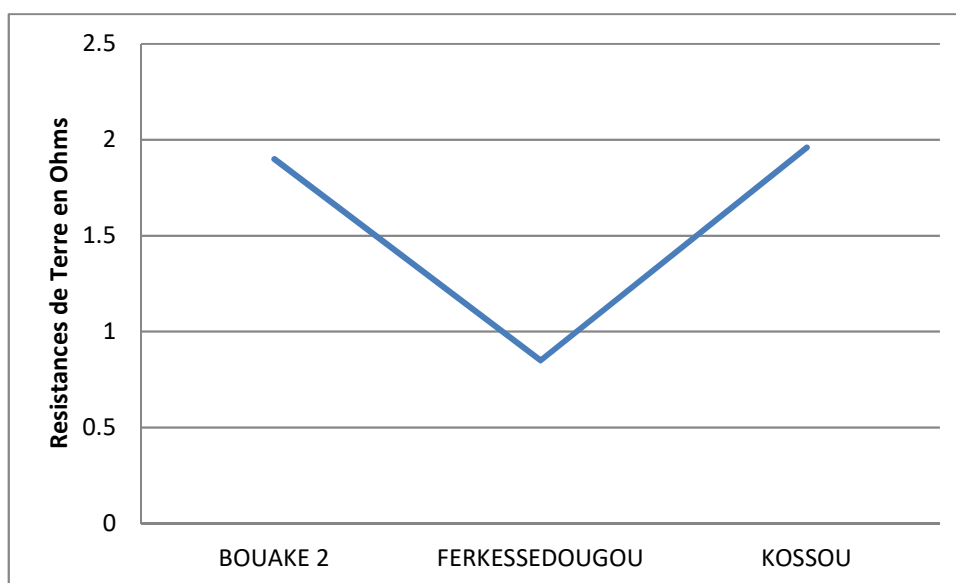


Fig. 9. Résistances du réseau de terre des postes de transformations 225kV DRTET Bouaké

Pour les postes de transformation 225kV DRTET Bouaké2, Ferkessédougou et Kossou à la figure 9, les valeurs sont bonnes pour la sécurité des postes de transformation.

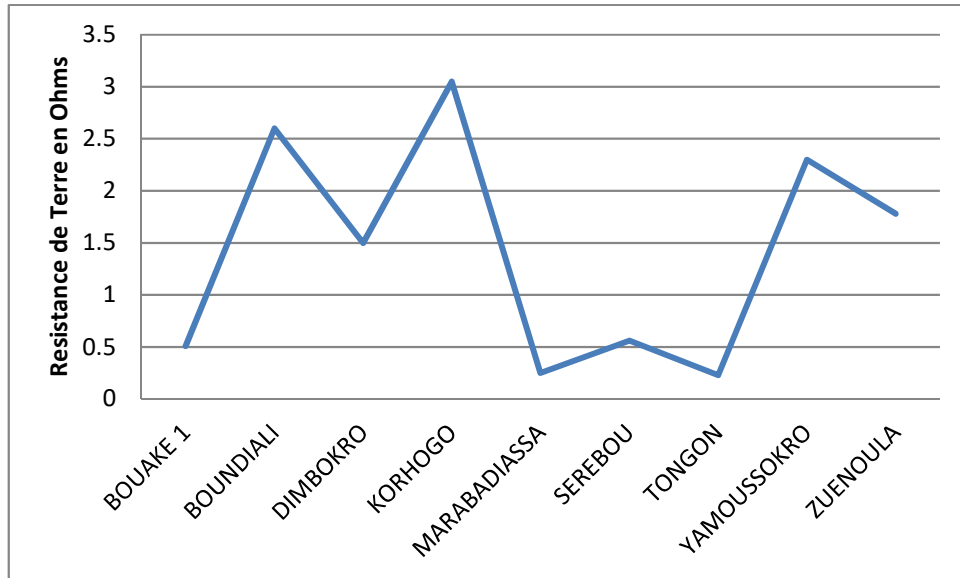


Fig. 10. Résistances du réseau de terre des postes de transformations 90kV DRTET

Au niveau des postes de transformation de Korhogo à la figure 10, la valeur la plus élevée de résistance de terre est 3Ω , donc très bonne pour la sécurité du réseau.

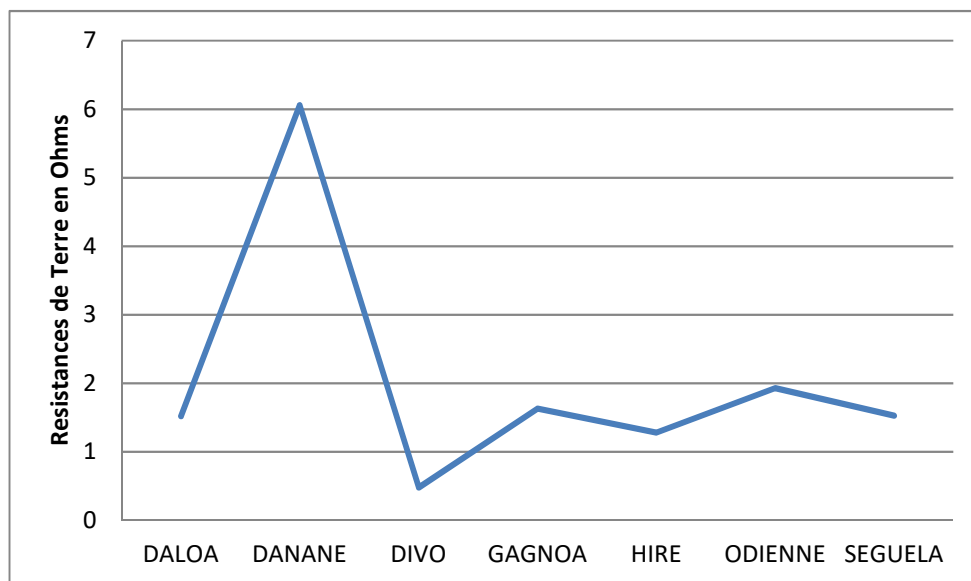


Fig. 11. Résistances du réseau de terre des postes de transformations 90kV

Au niveau de cette ligne des postes de transformation sur la figure 11, la valeur la plus élevée à Danané est 6Ω . Cette valeur reste relativement faible. Cependant elle pourrait retenir notre attention pour l'amélioration des systèmes de mises à la terre.

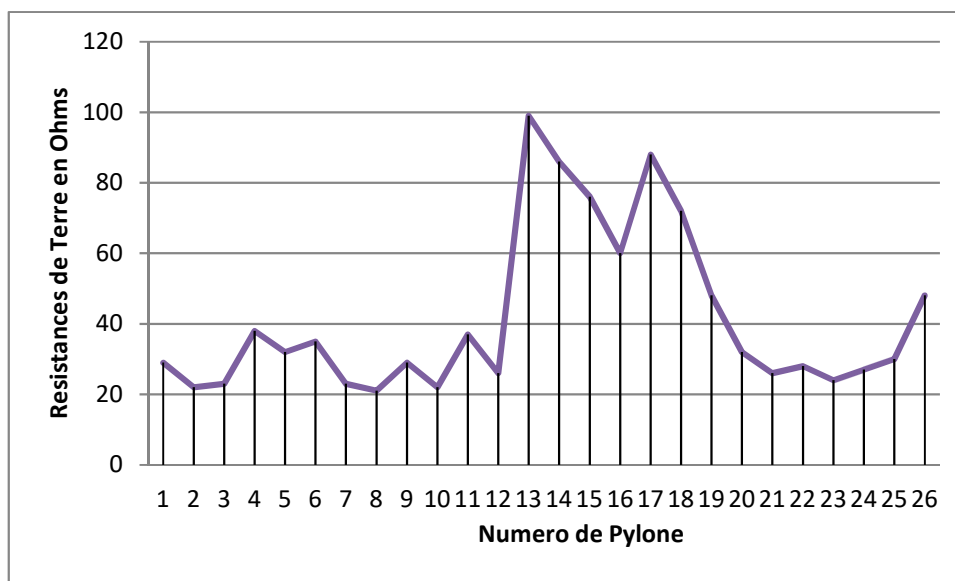


Fig. 12. Courbes de résistances de terre de 26 pylônes de la ligne 90kV Abobo-Dabou

Au niveau de cette ligne 90kV des localités d'Abobo à Dabou à la figure 12, les résistances de terre varient entre 22Ω et 100Ω. La plus faible des valeurs est 22Ω et la valeur la plus élevée est 100Ω. Les valeurs les plus élevées de résistances de terre sont entre 60Ω et 100Ω.

Aucune de ces valeurs ne se rapprochent de 10Ω, qui est selon certaines normes la valeur de référence de sécurité des résistances de mises à la terre à ne pas dépasser.

3.2 TECHNIQUE PRATIQUE DE RÉDUCTION DES RÉISTANCES DE PRISES DE TERRE

Cette technique permet d'entourer l'électrode de terre d'une couche de matière peu résistive, tel que présenté sur la figure ci-dessous.

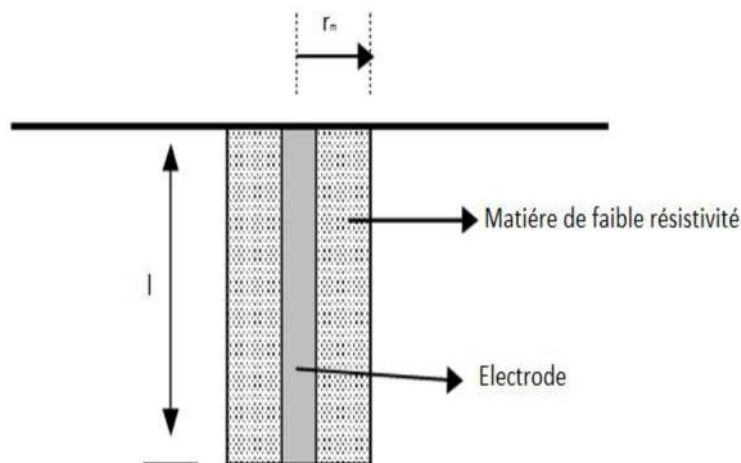


Fig. 13. Ajout d'une matière de faible résistivité autour de l'électrode

Cette matière ne devra pas causer une corrosion aux piquets. Plusieurs produits de faible résistivité sont utilisés, la bentonite par exemple, ou encore le charbon de bois dans les régions tropicales.

La figure 14 représente la variation de la résistance de terre en fonction de la longueur de l'électrode de terre sans et avec la couche de bentonite, cette courbe est tracée pour une électrode verticale en cuivre de 2 à 30 m de longueur et de rayon 0.015m, dans un sol de résistivité 1000 $\Omega \cdot m$. La résistivité de la matière entourant l'électrode étant de 10 $\Omega \cdot m$.

La réduction de résistance justifie l'intérêt de la bentonite. Une relation analytique ci-dessous, utilisée par Fagan et Lee a été donnée, pour évaluer la résistance d'une telle électrode verticale:

$$R_m = \frac{1}{2\pi l} \left[\rho_m \ln \left(\frac{r_m}{r} \right) + \rho \left(\ln \left(\frac{4l}{r_m} \right) - 1 \right) \right] \quad (1)$$

l est la longueur du piquet, ρ la résistivité du sol, ρ_m est la résistivité de la matière autour de l'électrode, $r=0.015m$ le rayon de l'électrode et $r_m=0.05m$ le rayon de la matière autour de l'électrode.

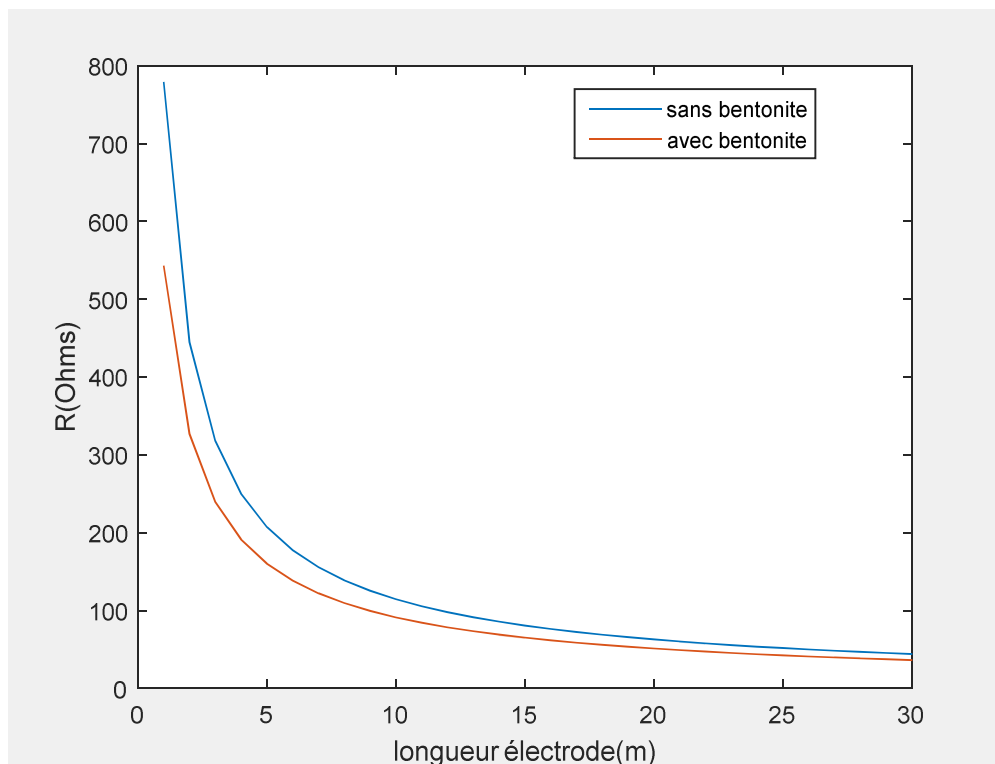


Fig. 14. Caractéristiques $R=f(l)$ sans et avec la couche de bentonite

La résistivité électrique du charbon de bois a été évaluée et plusieurs références en donnent des résultats. Lev Weiner indique que les mesures effectuées sur un échantillon de la poudre de charbon de bois avaient donné une résistivité assez faible de quelques ohmmètres, dépendant de l'espèce du bois utilisée pour fabriquer le charbon de bois. Il est donc intéressant de faire usage de la poudre de charbon de bois autour des piquets de terre car la résistivité diminue avec la diminution de la taille des grains. Qingbo Meng, Jinliang He et F. P. Dawalibi [2] proposent une nouvelle technique pour réduire la résistance de sol.

Cette méthode nécessite trois étapes:

- faire des trous profonds dans le sol;
- faire des fissures dans le sol à l'aide des explosifs dans les trous;
- remplir les trous avec des matériaux de faible résistivité sous pression

3.3 EVALUATION ANALYTIQUE DES RÉSISTANCES DE MISES À LA TERRE DES ÉLECTRODES CYLINDRIQUES

Cette méthode peut être utile dans le cadre de l'optimisation des résistances de mises à la terre.

Pour un sol de résistivité $\rho=1000\Omega.m$ et de rayon $r=0.015m$, les courbes ci-dessous montrent comment varient les résistances de mises à la terre en fonction de la longueur des électrodes.

Les courbes sont obtenues par simulation des formules suivantes.

$$\text{Rudenberg : } R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln\left(\frac{2l}{r}\right) \quad (2)$$

$$\text{Dwight Sunde : } R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln\left(\frac{4l}{r}\right) - 1 \right) \quad (3)$$

$$\text{Liew Darveniza : } R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln\left(\frac{r+l}{r}\right) \quad (4)$$

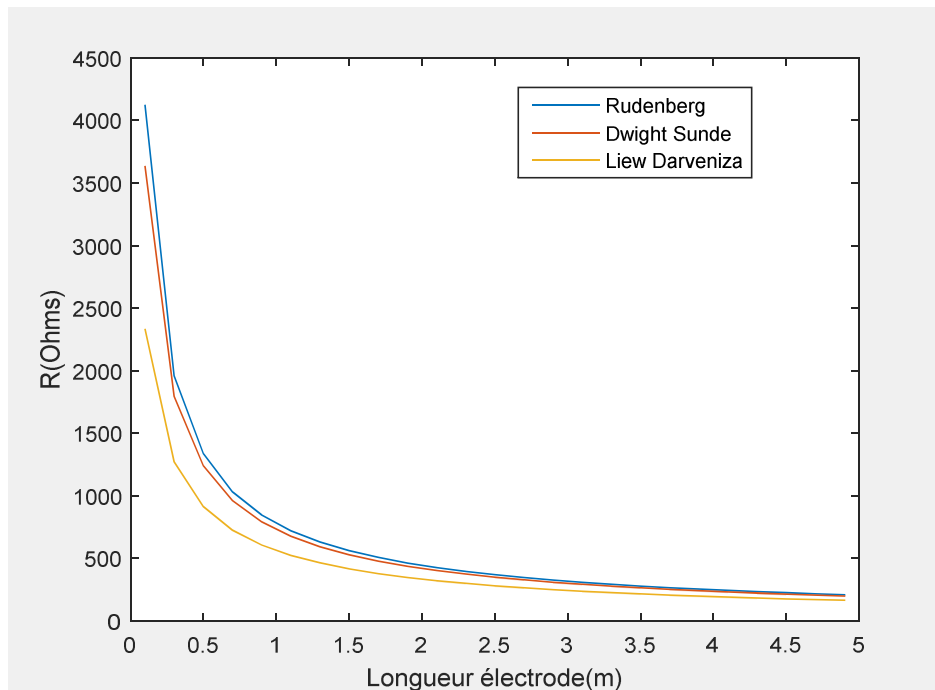


Fig. 15. Résistance de mises à la terre en fonction de la longueur de l'électrode verticale

Cette méthode permet de voir à travers ces 3 formules [2], celle qui réduit mieux les résistances de mises à la terre. A partir de ces trois courbes, la formule qui permet de mieux optimiser les résistances de mises à la terre est celle de Liew Darveniza.

4 CONCLUSION

Tout au long de cet article, nous avons évalué et analysé les résistances de mises à la terre obtenues auprès de la CIE. Dans plusieurs localités de Côte d'Ivoire, les résistances de mises à la terre sont inférieures à 10Ω . Ce qui est rassurant pour la sécurité des réseaux électriques haute tension car la valeur ne pas dépasser selon certaines normes est 10Ω .

Cependant, nous observons des valeurs un peu élevé à l'ouest dans la localité de Danané. Ces valeurs de résistance de terre sont encore plus élevées au niveau de la ligne 90kV Abobo-Dabou.

Pour résoudre les problèmes d'optimisation des résistances de terre, nous avons proposé la technique de l'utilisation de matière de faible résistivité autour des prises de terre telle que la bentonite ou le charbon de bois afin d'atteindre nos objectifs pour protéger le réseau électrique haute tension

En plus de cette solution, nous proposons aussi à travers une méthode analytique l'optimisation des résistances de terre à travers la formule Liew Darveniza qui montre clairement que les prises de terre doivent être enterré à une profondeur de plus de 5 mètres pour sécuriser le réseau électrique Haute Tension.

REMERCIEMENTS

Nous remercions la Compagnie Ivoirienne d'Electricité pour sa collaboration et pour la mise à disposition des données de résistances de terre. Les remarques de Professeur Aka TANOH et de Docteur Amidou BETIE nous ont été utiles tout au long de ce travail. Nous tenons à les remercier également pour leur contribution.

RÉFÉRENCES

- [1] CIE, "Base de données des résistances des terres", Abidjan (2014)
- [2] J. P. NZURU NSEKERE, "Contribution à l'analyse et à la réalisation des mises à la terre des installations électriques dans les régions tropicales", Thèse de Doctorat Université de Liège, Belgique, (Février 2009)
- [3] X. LEGRAND, "Modélisation des systèmes de mise à la terre des lignes électriques soumis à des transitoires de foudre", Thèse de Doctorat Ecole Doctorale Electronique, Electrotechnique, Automatique de Lyon, (Décembre 2007)
- [4] Z. A. ZIDANE, "Modélisation et simulation des prises de terre dans les systèmes électriques", Magister Université Ferhat Abbas / Setif Ufas Algérie, (Mai 2012)

Carcinome mucineux pur : un aspect clinique inhabituel mimant un carcinome inflammatoire

S. MOUFFAK¹, F. CHERRABI², J. KOUACH², and D. MOUSSAOUI²

HOPITAL MILITAIRE D'INSTRUCTION MOHAMED V, RABAT, MAROC

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This observation represents an unusual clinical aspect of a rare breast cancer, mucinous carcinoma which represents 1% of all breast cancers, with its two pure and mixed forms whose treatment and prognosis are not identical. The pure form has a good prognosis despite the exceptional clinical presentation of this type of breast cancer hence the interest of this case study, Mrs. L, a 70 year-old without risk factors admitted for mastitis of the left breast with rapid installation over 2 months, suspected of malignancy, yet the couple mammography / ultrasound did not manifest this malignancy, it shows an aspect of opacity well circumscribed of sharp contours. After the needle biopsy, the diagnosis of mucinous carcinoma was made which determined a suitable management is a neoadjuvant chemotherapy followed by a radical treatment, the hormonotherapy was continued in front of the expression of the hormonal receptors. Post-treatment surveillance did not report distant recurrence or metastasis.

KEYWORDS: postmenopausal, inflammatory breast, mucinous, MR imaging, pure form.

RÉSUMÉ: Cette observation représente un aspect clinique inhabituel d'un cancer rare du sein, le carcinome mucineux qui représente 1% de tous les cancers du sein, avec ses deux formes pures et mixte dont le traitement et le pronostic ne sont pas identiques. La forme pure étant de bon pronostic s'oppose avec une présentation clinique exceptionnelle pour ce type de cancer du sein, d'où l'intérêt de ce cas étudié, de Mme L. âgée de 70 ans sans facteurs de risque admise dans un tableau de mastite du sein gauche d'installation rapide sur 2 mois, suspecte de malignité pourtant la traduction radiologique par le couple mammographie/échographie n'ayant pas manifester cette malignité devant un aspect d'opacité bien circonscrite de contours nets. Après la micropsie le diagnostic de carcinome mucineux pur de bas grade a été porté ce qui a déterminé une prise en charge adapté soit une chimiothérapie néoadjuvante suivie d'un traitement radical, l'hormonothérapie a été poursuivie devant l'expression des récepteurs hormonaux. La surveillance post thérapeutique n'a pas signalé de récurrence ni de métastase à distance.

MOTS-CLEFS: postménopause, sein inflammatoire, mucineux, IRM, forme pure.

1 INTRODUCTION

Le carcinome mucineux du sein, également appelé colloïde ou mucoïde, est une entité histologique rare de cancer du sein dont la fréquence est estimée entre 1 % et (4 à 7 %) selon les auteurs [1][2][3][4], de l'ensemble des cancers du sein. Cette fréquence dépend de l'âge, elle est plus importante chez les femmes de 70 ans et plus. [3]

Il semble toucher les femmes à un âge plus avancé que dans les autres cas de carcinomes. Il atteint les femmes de plus de 60 ans, avec 7 % d'incidence au-delà de 75 ans et 1 % avant 35 ans [1]

Il n'y a pas de consensus thérapeutique particulier pour les carcinomes colloïdes ; la chirurgie est toujours indiquée. [1]

Le carcinome mucineux pur du sein constitue 0,5 % de tous les cancers du sein et se caractérise par un pronostic favorable. Cette étude de ce cas clinique visait à déterminer ses aspects épidémiologiques, cliniques, biologiques, thérapeutiques ainsi que pronostiques. [2]

2 CAS CLINIQUE

C'est une femme de 70ans, mère de 8 enfants, ménopausée depuis 20ans, sans aucune prise de contraception ni de traitement hormonal substitutif, ayant allaité ses enfants pendant un an pour chacun, qui consulte pour une mastodynie gauche depuis 2mois au para avant avec apparition secondaire d'un empâtement et d'écoulement mamelonnaire sanguinolent unipore, l'examen retrouve une asymétrie manifeste des 2 seins avec un sein gauche augmenté de volume siège d'ecchymoses prenant tout le sein débordant sur le creux axillaire avec rétraction du mamelon, cette ecchymose correspond à la palpation à une induration prenant tout le sein gauche douloureuse fixe par rapport au deux plans (figure 1), l'examen du creux axillaire retrouve plusieurs adénopathies homolatérales.



Figure 1 : aspect inflammatoire de la masse mammaire avec rétraction du mamelon

La mammographie fait apparaître une opacité bien circonscrite de 12x10cm occupant presque la totalité du sein gauche, de contours nets mais finement irréguliers (figure 2).

A l'échographie mammaire, l'image sus décrite se traduit par une formation tissulaire hypoéchogène du sein gauche de contours nets mais irréguliers associé à des adénopathies axillaires homolatérales.



Figure 2 : cliché de mammographie montrant le surcroît d'opacité de contours nets et régulière

La micro biopsie réalisé aussitôt a objectivé un carcinome mucineux, il a été décidé de réaliser un bilan d'extension et pré chimiothérapie. Devant l'absence des localisations à distance, et la taille tumorale ainsi que l'aspect clinique inflammatoire de la masse, une chimiothérapie néoadjuvante suivi d'une mastectomie avec curage ganglionnaire ont été réalisés, l'examen anatomopathologique avait confirmé qu'il s'agissait bien d'un carcinome mucineux pur de grade 1 de SBR (3+1+1) modifié sur une masse de 14 cm de grand axe sans maladie de Paget associé, avec des limites saines sans métastase ganglionnaire (19N-/19N) Récepteurs hormonaux fortement marqué (70% pour les RE et les RP), HER négatif. Patiente alors mise sous anti aromatase. Le suivi au bout des 2 premières années n'a pas révélé de récurrence.

3 DISCUSSION

Décrit initialement en 1826, le carcinome mucineux du sein est défini selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS) par la présence de cellules tumorales malignes muco sécrétantes qui flottent dans le mucus avec ses deux formes histologiques à distinguer impérativement (pure ou mixte) par la présence ou non d'un tissu tumoral complètement entouré de mucus extracellulaire abondant constituant une véritable barrière mécanique, ce qui atténue l'invasion cellulaire et confère à la forme pure un caractère moins agressif et donc un pronostic plus favorable . [4]

Certains auteurs précisent que le carcinome mucineux représente 7 % de l'ensemble des tumeurs malignes du sein après l'âge de 75 ans et 1 % avant 35 ans. [2] [4]

Les facteurs de risque classiques des cancers du sein sont généralement retrouvés, sans facteur de risque spécifique au carcinome mucineux [1]. Malgré sa nature invasive, ce cancer est souvent décrit dans la littérature comme un nodule bénin, aussi bien cliniquement qu'à l'imagerie. [1][2][3] SUR LA PLAN CLINIQUE : le nodule mammaire est le signe révélateur le plus fréquent, retrouvé dans plus de 80 % des cas [2, 3], habituellement dans le quadrant supéro-externe [1][4], la taille de la tumeur varie de 1 à 20 cm [3].

Le caractère bilatéral est rarement décrit dans la littérature [7], [1] Quant à l'aspect multifocale ou multicentrique reste exceptionnel. [1]

L'aspect inflammatoire (comme le cas pour notre patiente) ou de poussée évolutive n'a pas été retrouvé dans la littérature. Les adénopathies axillaires sont rarement retrouvées (25 % des cas). [1]

L'IMAGERIE, POUVAIT ELLE PRÉDIRE L'ÉTIOLOGIE MUCINEUSE ?

MAMMOGRAPHIE ET ECHOGRAPHIE :

La mammographie peut être normale dans 5 à 15 % des cas. [5]

Certains signes morphologiques peuvent être faussement rassurants surtout quand il s'agit de la forme pure. La mammographie peut montrer alors une masse arrondie ou ovalaire, dense, bien circonscrite et de contours réguliers ou plus souvent polycycliques dans 54,5 % [9].

Tandis que le carcinome colloïde mixte apparaît sous la forme d'une masse de contours irréguliers avec des limites mal définies, voire spiculées due à la présence de fibrose et de l'inflammation. Le nombre de spicules est inversement proportionnel à la quantité du mucus [9].

La présence de microcalcifications est exceptionnelle cela peut être expliqué par la composante mucineuse extra cellulaire donc peu ou pas de cellules canalaire, qui sont le siège habituel des microcalcifications [3].

La présence d'un renforcement postérieur à l'échographie ne doit pas faire conclure à tort à un kyste remanié. En cas de doute, l'élastographie et l'IRM peuvent aider au diagnostic [3].

L'aspect radiologique de notre patiente était trompeur tandis que l'aspect clinique était plus évocateur de malignité.

IRM

La caractéristique principale qui émane des études est un hypersignal T2 plus intense que dans les autres cancers mammaires, avec à une cinétique de rehaussement suspecte (de type II ou III), Il peut s'agir d'un rehaussement progressif selon Monzawa et al ou persistant pour Okafuji et al cela est probablement dû à la spécificité de la composante mucineuse. [3]

Par ailleurs, Woodhams et al ont comparé 15 carcinomes mucineux à 204 autres tumeurs bénignes ou malignes du sein, ils ont conclu que le coefficient apparent de diffusion était statistiquement plus élevé pour les carcinomes mucineux que pour les autres tumeurs bénignes ou malignes. [6]

Enfin, Ces éléments d'orientation peuvent être utiles pour évoquer cette étiologie. [3]

L'histologie permet un diagnostic de confirmation ; le carcinome mucineux est caractérisé par la présence d'îlots de cellules épithéliales régulières avec des lacs extensifs de mucus extracellulaire, séparés par des cloisons fibreuses grêles. [1] La distinction des 2 formes du carcinome mucineux est primordial en histologie puisqu'elle impliquera secondairement et la prise en charge et le pronostic. Cette distinction se fait grâce à la mise en évidence d'une composante canalaire et de son étendue :

- Cette composante est absente ou <10% dans la forme pure et > 10% dans la forme mixte.

Les carcinomes colloïdes purs du sein sont dans la majorité des cas de bas grade (selon le score de Scarf bloom et Richardson) [7][4], comme c'était le cas pour notre patiente.

L'envahissement ganglionnaire semble être corrélé à la taille tumorale (supérieur à 2,7cm comme l'a montré Barkley et al. à travers sa série de 111 cas [6], cependant Di Saverio et al Sur 11400 cas n'ont pas retrouvé cette corrélation. [4]. Pourtant pour notre patiente la taille tumorale était à 14cm mais sans envahissement ganglionnaires.

L'incidence des métastases ganglionnaires reste faible soit à 2 à 14 % pour Le carcinome mucineux pur contre 45 à 64 % dans les formes mixtes [7].

Traitement : Il n'y a pas de consensus thérapeutique particulier pour les carcinomes colloïdes ; la chirurgie est toujours indiquée et doit répondre aux critères carcinologiques avec une tendance d'un traitement conservateur pour la forme pure et un traitement radical pour la forme mixte, le curage ganglionnaires est de plus en plus remplacé chez plusieurs équipes par la technique du ganglion sentinelle particulièrement en cas d'âge jeune de la patiente. [8]

Les autres piliers thérapeutiques comme la chimiothérapie, radiothérapie et hormonothérapie gardent les mêmes indications que les autres types de cancers mammaires. [4]

PRONOSTIC :

Parmi les facteurs pronostic évoqué dans la littérature on retrouve : Le caractère mixte ou non de la tumeur et l'envahissement ganglionnaire qui reste un facteur déterminant de survie, suivie par l'âge jeune, la taille tumorale, et l'expression des récepteurs hormonaux. [7]

La survie à dix ans est estimée à 91% pour les formes pures contre 46 % dans les formes mixtes qui rejoint celui des autres tumeurs mammaires. [7]

4 CONCLUSION

Le carcinome mucineux du sein est une variété rare qui affecte généralement la femme âgée en période de post-ménopausique, il est primordial de dissocier ses deux formes histologiques car cela va impliquer la prise en charge thérapeutique ainsi que le pronostic qui reste plus favorable pour la forme pure, néanmoins le caractère inflammatoire reste exceptionnel pour les deux formes.

REFERENCES

- [1] J. Kouach, M. El hassani, H. El fazzazi, R. Hafidi, O. Quamouss, D. Rahali Moussaoui, M. Dehayni, Carcinome mucineux multifocal du sein, *Imagerie de la Femme* 19 (2009) 59–62.
- [2] N. Naqos*, A. Taleb, H. Jouhadi, Carcinome mucineux purs du sein : profil biologique, clinique et évolutif, à propos de 15 cas, *Posters / Cancer/Radiothérapie* 17 (2013) 585–633.
- [3] Antoine Georges*, Joëlle Lacroix, Véronique Boute, Carcinome mucineux : une tumeur maligne rare du sein, mise au point *Imagerie de la Femme* (2016) modèle+ femme- 277; No. of Pages 13.
- [4] N. Naqos*, A. Naim, H. Jouhadi Carcinome mucineux du sein : profil clinique, biologique et évolutif Article original ; *Cancer/Radiothérapie* 20 (2016) 801–804.
- [5] E. DAOUD, A. JAOUA, D. SAHNOUN Le Carcinome colloïde du sein : qu'attendons-nous de l'écho mammographie, Service d'imagerie médicale, CHU HABIB. BOURGUIBA SFAX. TUNISIE.
- [6] Woodhams R, Kakita S, Hata H. Diffusion-weighted imaging of mucinous carcinoma of the breast: evaluation of apparent diffusion coefficient and signal intensity in correlation with histologic findings. *AJR Am J Roentgenol* 2009;193(1):260—6, <http://dx.doi.org/10.2214/AJR.08.1670>.
- [7] Anan K, Mitsuyama S, Toyoshima S. Pathologic features of mucinous carcinoma of the breast are favorable for breast conserving therapy. *Eur J Surg Oncol* 2001; 27:459–63.
- [8] N. Cherif Idrissi El Ganouni, K. Dami Aspect particulier d'un carcinome mucineux pur du sein. *Imagerie de la Femme* 2007;17:46-48
- [9] Memis A, Ozdemir N, Erhan Y. Mucinous (colloid) breast cancer: Mammographic and US features with histologic correlation. *Eur J Radiol* 2000;35:39-43.

Endométriose ovarienne : A propos d'un cas avec revue de la littérature

S. MOUFFAK, S. BENALI, J. KOUACH, and D. MOUSSAOUI

HOPITAL MILITAIRE D'INSTRUCTION MOHAMED V, RABAT-MAROC

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Endometriosis is classically defined by the ectopic presence of tissues possessing the morphological and functional characteristics of the endometrium. Ovarian endometriosis is one of the most common locations. Its pathogenesis remains unclear, but a multifactorial origin has been proposed. The symptomatology is dominated by pain and infertility. The clinical examination is often poor. The suprapubic pelvic ultrasound, and especially the endovaginal ultrasound, remains the examination of first intention. Laparoscopy is the only test to affirm with certainty; biopsies, classify it into stages and choose the most appropriate therapeutic strategy. The treatment of the first intention remains surgical, the medical treatments being in the majority of the cases only palliatives. The therapeutic success depends on the radicality of the surgical excision.

We report the case of a postmenopausal patient with ovarian endometriosis simulating ovarian neoplastic pathology with review of the literature.

KEYWORDS: pain, menopause, ovarian endometriosis, ovarian neoplastic.

RÉSUMÉ: L'endométriose est classiquement définie par la présence ectopique de tissus possédant les caractères morphologiques et fonctionnels de l'endomètre. L'endométriose ovarienne est l'une des localisations les plus fréquentes. Sa pathogénie reste mal élucidée, mais une origine multifactorielle a été proposée. La symptomatologie est dominée par la douleur et l'infertilité. L'examen clinique est souvent pauvre. L'échographie pelvienne sus-pubienne et surtout endovaginale demeure l'examen de première intention. La coelioscopie est le seul examen permettant d'affirmer avec certitude ; grâce aux biopsies ; la présence de cette affection, de la classer en stades et de choisir la stratégie thérapeutique la mieux adaptée. Le traitement de première intention reste chirurgical, les traitements médicaux n'étant dans la majorité des cas que palliatifs. Le succès thérapeutique dépend de la radicalité de l'exérèse chirurgicale. Nous rapportons le cas d'une patiente ménopausée porteuse d'une endométriose ovarienne simulant une pathologie néoplasique ovarienne avec revue de la littérature.

MOTS-CLEFS: douleur, ménopause, endométriose ovarienne, néoplasie ovarienne.

1 INTRODUCTION

L'endométriose est une maladie gynécologique fréquente responsable principalement de douleurs pelviennes chroniques et d'infertilité. Elle est diagnostiquée dans 30 % des cas d'infertilité et 10 à 70 % des cas d'algies pelviennes [1]. Sa prévalence est de 5 à 15 % chez les femmes en âge de procréer et de seulement 3 à 5 % chez les femmes ménopausées [2].

2 OBSERVATION

Patiente âgée de 67 ans, G8 P7 7EV, sans antécédents parthologiques notables, ménopausée depuis 13ans, sans traitement hormonal substitutif, a présenté un épisode d'algies pelviennes aiguës avec un épisode de métrorragies minimes noirâtres post-ménopausiques. Le tout évoluant dans un contexte d'amaigrissement chiffré à 21kg.

L'examen physique a trouvé une patiente en assez bon état général avec un abdomen souple, un col utérin aspiré, un utérus de taille normale, avec absence de masse latéro-utérine au toucher vaginal.

Une échographie pelvienne a objectivé un utérus de taille normale avec endomètre fin et annexe droite siège d'une image kystique hétérogène, multi-cloisonnée, grossièrement ovalaire faisant 6,5/5,7cm, ovaire gauche non vu et absence d'épanchement. Une IRM pelvienne a été demandée objectivant la présence d'un processus lésionnel ovarien droit mesurant 10/5,6cm, manifestement tumoral, présentant un contact intime avec la paroi latérale droite de l'utérus. Présence d'adénopathies infra-centimétriques iliaques internes bilatérales (Figure 1,2).

Bilan d'extension sans particularités et dosage des marqueurs tumoraux normal.

A noter un frottis cervico-vaginal a été demandé revenu inflammatoire.

La patiente a été programmée pour une laparotomie exploratrice réalisée sous anesthésie générale avec à l'exploration :

Présence d'un agglomérat appendiculaire prenant l'ovaire et la trompe droite, et adhérent à la paroi utérine latérale droite et au sigmoïde en arrière. Une tentative d'adhésiolyse a engendré l'issue de pus d'où un lavage péritonéal abondant au sérum physiologique. Réalisation d'une hystérectomie totale avec annexectomie bilatérale, avec résection d'un tissu ovarien friable adressé à l'étude anatomopathologique. Réalisation d'une appendicectomie également.

Patiente mise sous biantibiothérapie par voie orale et sous traitement anticoagulant prophylactique avec bonne évolution post-opératoire.

Le résultat de l'étude histologique est revenu en faveur d'une endométriose ovarienne sans signes de malignité.



Fig. 1. Coupe axiale d'IRM pelvienne montrant processus lésionnel ovarien droit mesurant 10/5,6cm



Fig. 2. Coupe sagittale d'IRM avec aspect du processus présentant un contact intime avec la paroi latérale droite de l'utérus

3 DISCUSSION

L'endométriose est une maladie complexe dont la symptomatologie est variable, dysménorrhée, dyspareunie, infertilité, sans parallélisme anatomo-clinique. Les récurrences douloureuses peuvent atteindre 75 % des patientes à cinq ans [3]. La prévalence de l'endométriose est de l'ordre de 6 à 10 % dans la population générale. Chez les patientes présentant des douleurs, une infécondité, ou les deux symptômes, la fréquence de l'endométriose oscille entre 35 à 50 % [4,5]. plurielle, complexe, hétérogène, plurifactorielle, hormono-dépendante et polygénique. Aucune théorie n'explique à elle seule toutes les présentations cliniques : il n'y a pas une endométriose mais des endométrioses [6,7].

La plus reconnue et validée est celle de Sampson, formulée en 1927, dite de la régurgitation ou reflux tubaire et de l'implantation [8]. Elle consiste en ce que le liquide menstruel régurgite ou reflue par les trompes, transportant des cellules endométriales viables, qui ensuite s'attachent ou s'implantent à la surface du péritoine et/ou d'un organe et se développent par le biais d'une neuro-angiogénèse. Ce reflux et cette implantation prédominent dans les régions déclives, postérieures et gauches du pelvis rendant ainsi compte de la prééminence notamment de l'atteinte ovarienne et du ligament utéro-sacré à gauche. Il faut cependant savoir que ce reflux tubaire est physiologique dans près de 90 % des cas [9], les cellules endométriales étant usuellement détruites par le système de défense immunitaire. Cela implique donc également comme conditions au développement de l'endométriose d'autres facteurs tels que l'altération du système immunitaire, génétiques et/ou exogènes de type toxiques environnementaux ou perturbateurs endocriniens.

Certains déficits moléculaires ont été observés au sein des lésions d'endométriose. Ils aboutissent notamment à une expression anormale de l'aromatase responsable d'une biosynthèse intralésionnelle d'estrogènes. Les estrogènes produits, ainsi que les prostaglandines dont ils stimulent la synthèse, favorisent la prolifération, la migration, l'angiogénèse, la résistance à l'apoptose et l'invasion des cellules endométriosiques [10–11].

Les traitements habituels visent à stopper la synthèse ovarienne des estrogènes (E2). Ils ne permettent cependant pas le contrôle des autres sites de biosynthèse des estrogènes. L'aromatase est une enzyme permettant la transformation des androgènes d'origine niveau des cellules ovariennes de la granulosa ainsi que dans de nombreux autres tissus tels que les tissus adipeux, cutané, osseux, cérébral et hépatique. Elle est normalement absente du tissu endométrial. Elle a cependant été retrouvée à un taux élevé au niveau des lésions endométriosiques et de l'endomètre de patientes présentant une endométriose.

La transformation maligne d'une endométriose est rare. Peu d'études ont été consacrées à cette évolution et la littérature comprend principalement des cas rapportés. Etant donné que l'endométriose est une pathologie relativement fréquente, il est souvent difficile de déterminer si la tumeur s'est développée à partir des lésions d'endométriose ou si la tumeur et les lésions d'endométriose coexistaient simplement. Les trois critères d'identification pour considérer un cancer d'origine endométriosique ont été établis par Sampson qui a été le premier à décrire le cas d'une transformation maligne d'une endométriose en 1925 [12]. Ils regroupent l'association d'un contingent endométriosique et néoplasique au sein de la tumeur, le type histologique de la lésion compatible avec une origine endométriale et l'absence d'autres origines tumorales potentielles. Initialement adaptés aux dégénérescences endométriosiques gonadiques, ces critères se sont étendus aux localisations extraovariennes. Un quatrième critère a été proposé par Scott [13] qui ajoute la notion de transition histologique entre l'endométriose bénigne et le carcinome, mais cette notion reste discutée.

La survenue d'une endométriose après la ménopause est inhabituelle et il s'agit le plus souvent d'une endométriose quiescente. La transformation maligne d'une endométriose après la ménopause est encore plus rare. Dans l'étude de Modesitt et al., la majorité des patientes (65 %) présentant une transformation maligne (ovarienne ou extra-ovarienne) associée à une endométriose n'était pas encore ménopausée mais les tumeurs extra-gonadiques d'origine endométriosique ont été retrouvées plus fréquemment chez les femmes ménopausées, et ce, de façon significative [14]. La ménopause serait donc, selon ces auteurs, un facteur intervenant dans la transformation maligne d'une endométriose extra-gonadique.

4 CONCLUSION

L'endométriose est une entité plurielle, complexe, hétérogène, plurifactorielle. Sa physiopathologie reste méconnue, l'aspect anatomopathologique, macroscopique et histologique, n'est pas toujours spécifique, soulignant d'autant plus l'importance du contexte clinique et de l'imagerie.

DÉCLARATION D'INTÉRÊTS

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts en relation avec cet article.

REFERENCES

- [1] Lapp T. ACOG issues recommendations for the management of endometriosis. American College of Obstetricians and Gynecologists. Am Fam Physician 2000;62:1431–4.
- [2] Stenchever MA, Droegemueller W, Herbst AL, Mishell DR. Comprehensive gynecology, 4th ed., St Louis: Mosby; 2001.
- [3] Surrey ES, Hornstein MD. Prolonged GnRH agonist and add-back therapy for symptomatic endometriosis: long-term follow-up. Obstet Gynecol 2002; 99:709–19.
- [4] Houston DE, Noller KL, Melton 3rd LJ, Selwyn BJ. The epidemiology of pelvic endometriosis. Clin Obstet Gynecol 1988; 31(4):787–800.
- [5] Eskenazi B, Warner ML. Epidemiology of endometriosis. Obstet Gynecol Clin North Am 1997; 24:235–58.
- [6] Giudice LC, Evers JLH, Healy DL. Endometriosis: science and practice. Chichester: Wiley-Blackwell; 2012.
- [7] Gupta S, Harlev A, Agarwal A. Endometriosis: a comprehensive update. Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, Londres: Springer; 2015.
- [8] Sampson JA. Peritoneal endometriosis due to the menstrual dissemination of endometrial tissue into the peritoneal cavity. Am J Obstet Gynecol 1927;14:422–69.
- [9] Halme J, Hammond MG, Hulka JF, Raj SG, Talbert LM. Retrograde menstruation in healthy women and in patients with endometriosis. Obstet Gynecol 1984;64:151–4.
- [10] Ebert AD, Bartley J, David M. Aromatase inhibitors and cyclooxygenase-2 (COX-2) inhibitors in endometriosis: new questions—old answers? Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol 2005;122(2):144–50.

- [11] Takayama K, Zeitoun K, Gunby RT, Sasano H, Carr BR, Bulun SE. Treatment of severe postmenopausal endometriosis with an aromatase inhibitor. *Fertil Steril* 1998;69:709–
- [12] Sampson JA. Endometrial carcinoma of the ovary arising in endometrial tissue in that organ. *Arch Surg* 1925;10:1–72.
- [13] Scott RB. Malignant changes in endometriosis. *Obstet Gynecol* 1953;2: 283–9.
- [14] Modesitt SC, Tortolero-Luna G, Robinson JB, Gershenson DM, Wolf JK. Ovarian and extraovarian endometriosis-associated cancer. *Obstet Gyne- col* 2002;100(4):788–95.

Effet de la jachère améliorée sur le rendement du manioc à l'Est de la République Démocratique du Congo

[Effect of improved fallow on cassava yield in the Eastern of Democratic Republic of Congo]

Munganga wa Muhwandju Romain¹, Ugentho Ukany Henri¹, Koleramungu Cimanuka Oswald¹, Musungayi Mpongolo Eric¹,
Bulambo Kllongo Pacifique¹, and Ntamwira Bagula Jules¹⁻²

¹Institut National pour l'Etude et la Recherche Agronomiques, BP 2037 Kinshasa 1, Centre de Recherche de Mulungu,
RD Congo

²Faculté de Gestion des Ressources Renouvelables, Université de Kisangani, BP 2012 Kisangani, RD Congo

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate five species of green manure as improved fallow on cassava yield. The trial design was a complete randomized block with three repetitions. The treatments consisted of different species of green manure and one control. Two cassava varieties Mayombe and Sawasawa were used. The yield was significantly enhanced by *Tithonia diversifolia* up to 343.02% for Mayombe variety compared to the control, ie 44.17 t/ha against 9.97 t/ha for the control. Also, the yield of Sawasawa variety, was high in the order of 390.4%, i.e. 38.4 t/ha against 7.83 t/ha for the control with no fertilizer. In addition, *Lab lab* species enhanced also the yield to 309.2% or 40.80 t/ha for the Mayombe variety against 9.97 t/ha for the control, as for Sawasawa variety, the yield was improved by 119.6% or 17.2 t/ha against 7.83 t/ha for the control. Other species, including *Mucuna preta*, *Crotalaria grahamiana* and *Crotalaria ochroleuca*, improved yield of the Mayombe variety in the order of 137.7%, 129.3% and 62.7%, respectively. For Sawasawa variety, only *Crotalaria grahamiana* improved its yield by 106.5% compared to the control.

KEYWORDS: Green manure, Cassa varieties, Improved fallow, soil fertility, Yield.

RESUME: L'objectif de cette étude était d'évaluer Cinq espèces d'engrais verts comme jachère améliorée sur l'amélioration du rendement du manioc. L'essai était conduit dans un dispositif en blocs aléatoires complets randomisés à trois répétitions. Les traitements étaient constitués de différentes espèces d'engrais verts plus un témoin et deux variétés de manioc dont Mayombe et Sawasawa. Le rendement a été plus significativement augmenté par le *Tithonia diversifolia* jusqu'à 343.02% pour la variété Mayombe par rapport au témoin, soit 44.17 t/ha contre 9.97 t/ha pour le témoin. Quant à la variété Sawasawa, le rendement a été aussi amélioré de l'ordre de 390.4%, soit 38.4 t/ha contre 7.83 t/ha pour le témoin. L'espèce *Lab lab* a amélioré le rendement de l'ordre de 309.2% soit 40.80 t/ha pour la variété Mayombe contre 9.97 t/ha pour le témoin, quant à la variété Sawasawa, le rendement a été supérieur de 119.6% soit 17.2 t/ha contre 7.83 t/ha pour le témoin. Les autres espèces dont *Mucuna preta*, *Crotalaria grahamiana* et *Crotalaria ochroleuca*, ont amélioré le rendement de la variété Mayombe de l'ordre respectif de 137.7%, 129.3% et 62.7%. La variété Sawasawa, seul *Crotalaria grahamiana* a amélioré son rendement de l'ordre de 106.5% par rapport au témoin.

MOTS-CLEFS: Engrais verts, variétés de Cassava, Fertilité du sol, Jachère améliorée, Rendement.

1 INTRODUCTION

Le manioc (*Manihot Esculanta* Crantz) constitue une source énergétique importante des pays tropicaux, il est ensuite à la fois la principale culture et denrée de base la plus répandue ainsi que source de revenus pour environ 70% de la population sur l'ensemble du territoire de la République Démocratique du Congo[1]. La consommation du manioc en RDC est plus accentuée et plus répandue et elle dépasse plus de 80% par rapport aux autres cultures vivrières. Les racines du manioc fournissent plus de 60% des calories à plus de 70% de la population congolaise totale[2],[1] tandis que les feuilles, qui sont riches en protéines de bonne qualité, sont la légume la plus importante et la plus populaire constituant une source des vitamines et sels minéraux[1]. Elles sont aussi une source très importante des revenus pour les producteurs et les petits détaillants. Le manioc en RDC est consommé sous différentes formes telles que la chikwangue, le fufu aussi appelé ugali (swahili) ou bidia (tshiluba) ou aussi sous forme de manioc bouilli [3], [1], le manioc est alors une plante à multiples usages ; il est utilisé dans l'alimentation humaine et animale, et peut servir de matière première dans différents types d'industries [3], [1]. La RD Congo est compté parmi les pays où sont enregistrés les rendements les plus importants au monde (FAO, 1985), après le Nigéria, la RDC est classée deuxième des grands producteurs du manioc en Afrique et au cinquième rang mondial [1].

L'économie des territoires du Sud-Kivu en général et du territoire de Kabare en particulier dépend énormément de l'agriculture, celle-ci(agriculture) affecte le bien-être des populations en termes de revenus au niveau des ménages, de la sécurité alimentaire et même en terme d'économie globale de la province [4].

Le manioc, l'une des cultures importantes en territoire de Kabare constitue l'aliment de base pour une population nombreuse estimée à 740.280 habitants avec une forte densité de 250 habitants au km² et constitué à 95 % des paysans agriculteurs [5].

Mais bien que le manioc constitue l'aliment de base pour une population nombreuse, son rendement demeure toujours faible et n'a jamais dépassé la moyenne de 10 tonnes par hectare [4]. Cette situation de faible productivité rend la culture du manioc moins attractive aux producteurs commerciaux, en outre, la RDC en général a connu une réduction sensible de la production du manioc aux cours des années 1990[1]. Les données sur la production du manioc en République Démocratique du Congo pour la période 1985 à 2010 illustrent deux tendances dans les valeurs observées ; de 1985 à 1995, les valeurs ont accusé une hausse avec une moyenne annuelle de 19.169.835, 5 tonnes de manioc frais. Pour la période de 1995 à 2010, la production du manioc a connu une chute régulière avec des valeurs moyennes de 15.598.943, 7 tonnes, soit 47.7% de pertes. En dépit de cette importance, la production du manioc est menacée par plusieurs contraintes parmi lesquelles les maladies et ravageurs, qui occasionnent une réduction considérable du rendement estimée à plus de 50% et réduisent la production des feuilles et le contenu en matières sèches des racines tubéreuses conduisant à la réduction de leur qualité, et érodé la diversité génétique en éliminant les variétés locales très sensibles aux maladies et ravageurs [1]. Aussi la baisse de la fertilité du sol due aux carences en Azote, en phosphore et en cations échangeables (Calcium, Magnésium, potassium et Sodium) aussi bien que l'acidité des sols accompagné de la toxicité en Aluminium et en Manganèse [6] détrousse les variétés dites améliorées de ses potentialités productives dans toutes les contrées productrices, d'où le faible niveau de fertilité du sol constitue un problème réel et vécu par les agriculteurs de Kabare.

Par ailleurs, jusqu'à ces jours la fertilisation par les engrais chimiques constitue la base de la production agricole, malheureusement les engrais chimiques ne sont pas accessibles à tout cultivateur et encore moins au petit fermier. Ensuite, la jachère naturelle considérée comme une alternative pour reposer le sol en vue de lui restituer sa productivité, requiert une longue durée de temps, il serait donc utopique de la recommander aux agriculteurs de Kabare qui n'ont pas assez d'espaces cultivables [7], [8] car la superficie moyenne de l'exploitation agro-pastorale par ménage est de moins de 0,5 ha [9] ne pouvant pas ainsi leur permettre de laisser une portion de leurs terrains en repos prolongé. Il ya donc nécessité d'identifier les méthodes accessibles à tous les producteurs du manioc pouvant rendre au sol sa fertilité dans un temps cours (réduit) ; ceci permettrait non seulement de réduire le temps de jachère (de 5ans à moins d'une année) mais aussi de mieux gérer la fertilité du sol pour les producteurs n'ayant pas accès aux engrais chimiques et n'ayant pas non plus assez de terres cultivables

En rapport à ce qui précède, il est évident que les technologies pouvant favoriser l'amélioration de la production soient disponibles chez les agriculteurs, ainsi l'utilisation des différents types d'engrais verts disponibles dans le milieu , tels que le *Tithonia diversifolia*, le *Lab lab*, le *Mucunapreta*, le *Crotalaria grahamiana* et le *Crotalaria ochroleuca*, pour restaurer la fertilité et améliorer le rendement du manioc en pratiquant la jachère améliorée pouvant aussi réduire le temps de jachère de 5 ans à moins d'une année (7mois), soient ainsi recommandées aux agriculteurs du manioc afin d'augmenter le rendement de cette culture.

L'objectif de l'étude est d'utiliser différentes espèces d'engrais verts comme jachère afin de connaître leurs capacités d'amélioration du niveau de fertilité du sol : identifier la (les) meilleure(s) espèce(s) d'engrais verts c'est-à-dire celui qui aura

un effet positif dans leur utilisation comme fertilisant organique sous forme d'engrais verts et évaluer le rendement par hectare du manioc sous l'influence de l'application des engrais verts comme jachère améliorée.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 LES CARACTERISTIQUES AGRO-ECOLOGIQUES DU SITE D'ESSAI

L'essai était conduit en 2 saisons culturales du manioc (2011-2012 et 2012-2013) à Mulungu, site de CIRUMBI en territoire de KABARE, province du Sud-Kivu, Est de la RD-Congo.

La zone appartient au climat tropical humide à 2 saisons (AW3 de Koppen 1936) avec une température moyenne de 19°C. Elle est tempérée par l'altitude, la durée de la saison pluvieuse est de 9 mois (Septembre-Mai) et 3 mois de saison sèche (Juin-Aout).

La pluviosité de moyenne annuelle est de 1750mm, tandis que la moyenne annuelle de température est de 18 à 20°C et l'humidité relative varie de 70 à 80%.

Le sol de la région est un ferrisol à très faible teneur en matière organique et le C/N est aussi faible, il est souvent acide à teneur élevée en Aluminium échangeable.

Tableau 1. Attributs caractéristiques du site de l'essai à Mulungu

Caractéristiques	Valeurs
Altitude(m)	1750
Pluie moyenne annuelle (mm)	1650
Température moyenne annuelle	19°C
Humidité relative	74
Types de sol	SMAG
pH (eau) moyen	5,3

Source : Centre de Recherche INERA-MULUNGU, station pédoclimatique de Mulungu

Légende : SMAG, sols marais à argile gonflante

2.2 MATERIELS

2.2.1 VARIETES DE MANIOC

Deux variétés de manioc ont été utilisées à savoir : SAWASAWA et MAYOMBE, qui sont toutes deux issues de la sélection à l'INERA. La variété Sawasawa est du type érigé, résistante aux maladies et ravageurs, de cycle végétatif de 12 à 16 mois, teneur en acide cyanhydrique faible, teneur en matière sèche 30-35%, qualité de la farine très appréciée, couleur de la chair : blanche, rendement en racines tubéreuses 30 tonnes par hectare en milieu contrôlé et 15-17 tonnes par hectare en milieu paysan, rendement en feuilles moyen.

La variété Mayombe est du type ramifié, résistante aux maladies et ravageurs, cycle végétatif 12 à 18 mois, teneur en acide cyanhydrique faible, couleur de la chair : jaune, teneur en matière sèche 25-30%, rendement en racines tubéreuses : 32 tonnes par hectare en milieu contrôlé et 15-18 tonnes par hectare en milieu paysan. Les deux variétés sont très bonnes pour le fufu, chikwange, manioc de bouche et très bonnes pour les feuilles utilisées comme légumes.

2.2.2 TYPES DE JACHERE AMELIOREE APPLIQUEE

La jachère améliorée a été faite en utilisant cinq espèces d'engrais verts à savoir : *Tithonia diversifolia*, *Lablab*, *Mucunapreta*, *Crotalaria Grahamiana*, *Crotalaria ochroleuca* et la végétation naturelle constituée de chiendent comme témoin.

2.2.2.1 Le *Tithonia diversifolia* : est un engrais vert car il agit de certaines façons sur la fertilité du sol [10]

- il produit une grande quantité de matière sèche qui, en pourrissant améliore la structure du sol. Cette matière est fabriquée aussi bien dans le sol (racines) que dans l'espace aérien (tiges, feuilles).
- les racines abondantes travaillent le sol, elles brisent les mottes et favorisent le passage de l'eau.

- ses biomasses se caractérisent par leur richesse relative en Azote (3.5%), avec une teneur acceptable en Phosphore (0.28) [11], aussi ses biomasses se minéralisent plus rapidement que d'autres. En plus de son rôle d'engrais vert, il est utilisé comme clôture des champs et des parcelles en milieu paysan, ce qui le rend plus disponible chez presque tous les paysans agriculteurs.



Fig. 1. *Tithonia diversifolia* en végétation

2.2.2.2 Le Lab lab (Purpurus)

Il se présente sous forme de haricot possédant une énorme capacité d'adaptation, ce qui fait qu'il est très répandu dans les pays tropicaux. Cette plante peut donc également pousser sur des terres pauvres, riches en Aluminium et du fait qu'elle s'enracine profondément, elle peut survivre à des périodes de sécheresse.

Il est utilisé comme engrais vert (5-10 tonnes par hectare) et comme plante couvre terre dans les plantations de caféier et de noix de coco, on l'utilise aussi dans la méthode de conservation de sol sur des sols en pente.

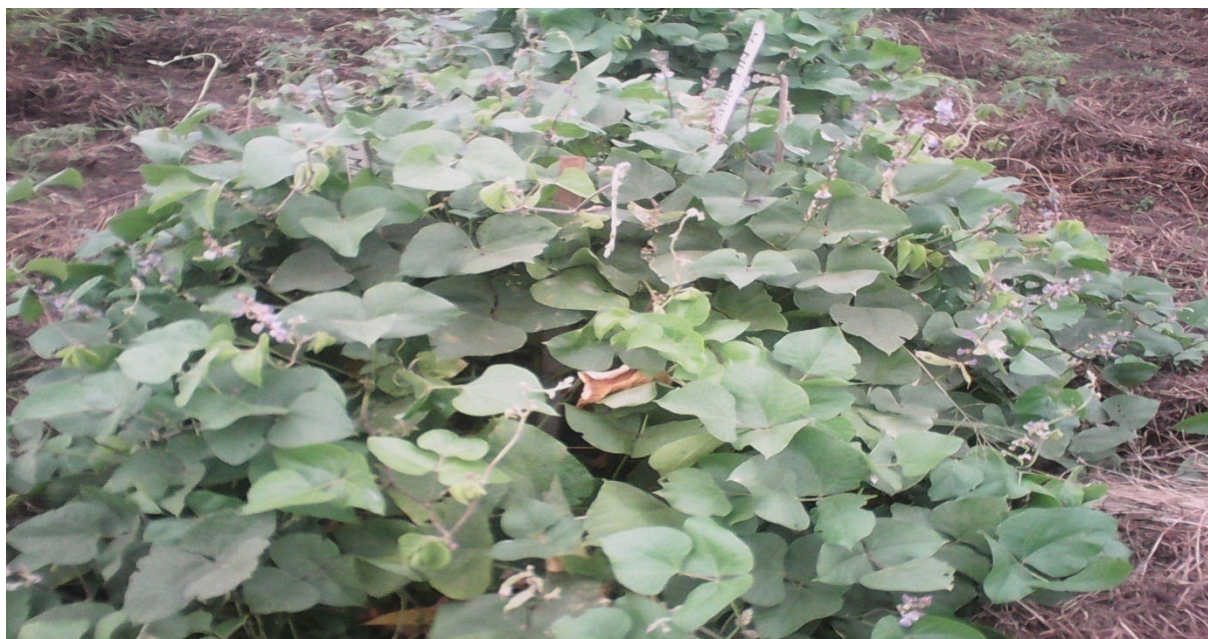


Fig. 2. *Lab lab* au début de la floraison

2.2.2.3 Le *Mucuna preta*

Cette herbe utilisée comme engrais vert, peut aussi servir comme fourrage. Il est très efficace dans la lutte contre les mauvaises herbes [12] et est conseillé pour une jachère de longue période. Il est aussi utilisé comme plante conservatrice du sol sur les terrains en pente.



Fig. 3. *Mucuna preta* en pleine végétation

2.2.2.4 CROTALARIA GRAHAMIANA ET CROTALARIA OCHROLEUCA

Ce sont des engrais verts sous forme des plantes arbustives souvent utilisées comme haies coupe-vent entre d'autres plantes. Pour une fixation maximale de l'Azote, ils sont semés assez serrés, la densité de semis doit être plus élevée que quand cette plante est utilisée pour ses graines. Ils utilisent l'Azote de l'air [13].



Fig. 4. *Crotalaria grahamiana* et *Crotalaria ochroleuca*

Le champ expérimental a été labouré profondément à la main (houe), le premier labour a été suivi du deuxième en retournant le sol jusqu'à 20 cm de profondeur. Au moment du second labour, il s'est concomitamment effectué un ameublissement laborieux du sol consistant à la brise manuelle des mottes à l'aide des tridents, cela 2 jours avant le semis des engrais verts.

Toutes les cinq espèces d'engrais vert ont été semées en guise de jachère et défrichées après 7 mois d'âge. Après les 7 mois de jachère, toutes les cinq espèces d'engrais verts ont été défrichées et les biomasses ont été enfouies dans le sol à la profondeur de 20 cm sur toute la parcelle expérimentale. Le choix de la culture expérimentale (manioc) a été fait sur base de son importance alimentaire et économique dans la région, tandis que le choix des engrais verts a été fait compte tenu du rôle qu'ils jouent dans l'amélioration de la fertilité du sol.

Tableau 2. Quelques propriétés chimiques du sol de CIRUMBI à Mulungu

Analyses chimiques	Valeurs
pH (H ₂ O)	5.3
pH (KCl)	4.1
% C	2.07
%N	0.3
C/N	6.9
P (Bray 1) en ppm	< 1
Complexe adsorbant (en méq/100g de sol)	
Ca	2.65
Mg	0.16
Na	0.04
K	0.06
Acidité d'échange (en méq/100g de sol)	
Al	2.65
H	0.56

2.3 METHODOLOGIE

Le dispositif expérimental utilisé est en blocs aléatoires complet organisés en split plot et randomisé avec 3 répétitions

- Le nombre de traitements (engrais verts) : 6 avec 2cultivars de manioc dont Sawasawa et Mayombe
- Dimensions des parcelles :-parcelle principale :6m×8m= 48m²
- Parcelle secondaire : 6m×4m=24m²
- Chaque parcelle principale est subdivisée en 2 petites sous parcelles de (6m×4m=24m²) chacune dans lesquelles l'une porte la variété Sawasawa (V1) et l'autre la variété Mayombe (V2). -deux saisons culturales ont été réalisées à savoir 2011-2012 et 2012-2013.
- La plantation du manioc a été effectuée aux écartements de 1m×1m. -Les plants (engrais verts)ont été défrichés et découpés puis enfouis dans le sol 2 semaines avant la plantation du manioc
- Le semis des engrais verts a été fait 7mois avant la plantation du manioc et aux différents écartements suivants :
- *Mucuna preta* : 1m ×0.5m à raison d'une graine par poquet
- *Crotalaria grahamiana* et *Crotalaria ochroleuca* : semis dense en sillons écartés de 0.5m l'un de l'autre
- *Lab lab* : 20cm × 50cm à raison de 2 graines par poquet
- *Tithonia diversifolia* : 0.5m × 0.5m après un sectionnement des boutures de 50cm de longueur chacune

Les traitements au nombre de 6 sont les suivants :

1= Témoin (végétation naturelle : dominée par le chiendent)

2= *Mucuna preta*

3= *Crotalaria grahamiana*

4= *Lab lab*

5= *Crotalaria ochroleuca*

6= *Tithonia diversifolia*

V1= variété Sawasawa V2= variété Mayombe

2.4 PARAMETRES MESURES

Les observations effectuées ont porté sur la hauteur des plants de manioc en centimètre (cm), la vigueur des plants à 12 mois après plantation, le nombre des racines commercialisables, le poids des racines commercialisables, le rendement en tonne par hectare (t/ha), la cotation de la mosaïque africaine de manioc.

La mosaïque était cotée en utilisant l'échelle de cotation de 1 à 5 de la manière suivante :

1=pas de symptôme

2=présence de symptôme sans réduction de la surface foliaire

3=attaque modérée, début de réduction de la surface foliaire

4=symptômes très visibles, sévère réduction sensible de la surface foliaire

5=symptômes très visibles, attaque très sévère, ébauches des feuilles moins visibles

La vigueur des plants était prise à 12mois après plantation, elle était évaluée en utilisant l'échelle de cotation de 1 à 5 de la manière suivante : 1 = Excellent, 2 = Bon, 3 = Intermédiaire, 4 = Faible, 5 = Très faible.

A la récolte, le poids frais des racines tubéreuses (commercialisables et non commercialisables) a été prélevé. Les rendements obtenus ont permis de dégager l'efficacité différentielle des espèces d'engrais verts utilisés comme jachère pour l'expérimentation.

3 RESULTATS ET DISCUSSIONS

Le tableau ci-dessous nous montre les résultats de l'analyse de la variance des différents paramètres observés tels qu'influencés par différentes espèces d'engrais verts.

Tableau 3. Rendement, nombre et poids des racines commercialisables, hauteur et vigueur des plants à la récolte et cotation de la mosaïque par plant selon les différentes variétés et traitements

Espèces d'engrais verts	Variétés	Rendement t/ha	NRC	PRC (kg)	Hauteur (cm)	Vigueur	Cotation mosaïque
<i>Tithonia diversifolia</i>	Mayombe	44.17A*	75.7A	35A	181.7B	2C	1
	sawasawa	38.40A	57.7B	29B	224.0A	2C	1
<i>Crotalaria grahamiana</i>	Mayombe	22.87B	37.3CD	16C	103.7N	4A	1
	sawasawa	16.17C	31CDE	9.67E	165.7C	2C	1
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	Mayombe	16.23C	32.3CDE	11.33B	124.3K	3B	1
	sawasawa	8.3D	19.3E	5.33EF	135I	4A	1
<i>Lab lab</i>	Mayombe	40.8 A	66.7AB	29.67B	161.3D	3B	1
	sawasawa	17.2BC	28.7CDE	11B	158E	2C	1
<i>Mucuna preta</i>	Mayombe	23.7B	38.3C	16.67C	119M	4A	1
	Sawasawa	17.2BC	30.3CDE	7.33BEF	149.7H	3B	1
Témoin	Mayombe	9.97D	18E	6.33EF	120.3L	4A	1
	sawasawa	7.83D	21.3DE	5F	150.3G	4A	1
LSD 0.05		5.83	15.98	4.35	0.25	0.66	NS
FPr		0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	

*Les chiffres suivis par une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différents selon la plus petite différence significative (LSD 0.05): 5.834s (FPr< 0.001).

NRC : Nombre des racines commercialisables (grosses racines)

PRC : Poids des racines commercialisables

NS : Différence non significative.

3.1 RENDEMENT EN t/ha TEL QU'INFLUENCE PAR DIFFERENTES ESPECES D'ENGRAIS VERTS

A la récolte, le poids frais des racines tubéreuses (commercialisables et non commercialisables) ont été prélevés. Les rendements obtenus ont permis de dégager l'efficacité différentielle des espèces d'engrais verts utilisés comme jachère pour l'expérimentation, ces résultats sont présentés sur le tableau ci-dessus.

En observant les rendements présentés sur le tableau ci-dessus, nous remarquons qu'ils diffèrent selon les types de jachère ; cependant les analyses statistiques ont montré des effets significatifs de traitement (FPr<0.001) et des variétés (FPr<0.001) sur les rendements des racines tubéreuses de manioc pour les deux variétés. Dans ce système de jachère, *Tithonia diversifolia* et *Lab lab*, ont permis très significativement (FPr<0.001) d'améliorer le rendement du manioc. En effet, il découle de ce tableau que les rendements ont été de l'ordre de 4 et 4.43 fois plus, avec la variété MAYOMBE en utilisant respectivement la jachère de *Lab lab* (40.80t/ha) et de *Tithonia diversifolia* (44.17t/ha) par rapport à la jachère naturelle (témoin) constituée du chiendent (9.97t/ha). Les autres jachères qui ont donné des rendements supérieurs à 9.97 t/ha en utilisant la même variété MAYOMBE est le *Mucuna preta* (23.70t/ha), *Crotalaria grahamiana* (22.87t/ha) et *Crotalaria ochroleuca* (16.23t/ha).

Considérant la variété SAWASAWA, nous avons enregistré des rendements très significatifs (FPr<0.001) en système de jachère basé sur le *Tithonia diversifolia* (38.40T/ha), par rapport à la jachère naturelle (témoin) 7.83t/ha). Les autres jachères qui ont donné des rendements supérieurs au témoin sont *Lab lab* (17.20t/ha), *Crotalaria grahamiana* (16.17t/ha) et *Mucuna preta* (11.70t/ha).

3.1.1 TABLE DES MOYENNES TRAITEMENTS X VARIETES DE MANIOC

3.1.1.1 ENGRAIS VERTS PAR RAPPORT AU TEMOIN

L'analyse de la variance du rendement a montré que les différentes espèces d'engrais verts ont influencé significativement le rendement de deux variétés de manioc de la manière ci- après :

La différence entre le *Tithonia diversifolia* et le témoin jachère naturelle est hautement significative, c'est-à-dire que la jachère sous *Tithonia diversifolia* a amélioré le rendement jusqu'à 343.02%, soit 44.17t/ha contre 9.97t/ha pour le témoin pour la variété Mayombe et 390.4% pour Sawasawa, soit 38.40 t/ha contre 7.83t/ha pour le témoin. La différence entre *Lab lab* et le témoin est hautement significative, c'est-à-dire que la jachère sous cet engrais vert a amélioré le rendement de la variété

Mayombe jusqu'à 309.2% soit 40.8t/ha contre 9.97 t/ha pour le témoin, quant à la variété Sawasawa le rendement a été amélioré de l'ordre de 119.6%, soit 17.2t/ha contre 7.83t/ha pour le témoin. Quant aux autres engrais verts, le *Mucuna preta* a amélioré le rendement de l'ordre de 137.7% soit 23.70t/ha contre 7.83t/ha pour Mayombe et pour Sawasawa il n'y a pas eu de différence significative entre le témoin et cet engrais vert. Pour Mayombe, Le *Crotalaria grahamiana* a amélioré le rendement de l'ordre de 129.3%, soit 22.87t/ha contre 9.97t/ha pour le témoin, et pour Sawasawa l'augmentation du rendement est de l'ordre de 106.5% soit 16.17t/ha contre 7.83t/ha pour le témoin et pour le même engrais vert.

Pour l'espèce *Crotalaria ochroleuca*, le rendement de Mayombe a été significativement amélioré de l'ordre de 62.7% soit 16.23 t/ha contre 9.97 t/ha pour le témoin, quant à la variété Sawasawa il n'y a pas eu de différence significative entre cet engrais vert et le témoin. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par [14] et [15] qui ont montré les effets des engrais verts sur la fixation de l'azote et l'augmentation de rendements de maïs par rapport au témoin au Centre Cameroun.

3.1.1.2 ENGRAIS VERTS ENTRE EUX-MEMES

L'analyse de la variance du rendement a montré que les différentes espèces d'engrais verts ont influencé le rendement différemment : La différence entre le *Tithonia diversifolia* (44.17t/ha) et le *lab lab* (40.80t/ha), pour la variété Mayombe n'est pas significative, selon la plus petite différence LSD (0.05) 5.834 (voir tableau ci-dessus), pour la variété Sawasawa, la différence est hautement significative entre *Tithonia diversifolia* (38.40t/ha) et *Lab lab* (17.20t/ha), ainsi *Tithonia diversifolia* a amélioré le rendement de l'ordre de 123.2% par rapport à *Lab lab*.

La différence entre *Tithonia diversifolia* (44.17t/ha) et *Crotalaria grahamiana* (22.87t/ha) est hautement significative pour les deux variétés de manioc, soit une augmentation de rendement de l'ordre de 89.5% pour la variété Mayombe et 137.4% pour Sawasawa.

La différence entre *Tithonia diversifolia* (44.17t/ha) et *Mucuna preta* (23.70t/ha) est hautement significative pour les deux variétés, soit une augmentation de rendement de l'ordre de 86.3% pour Mayombe et 228.2% pour Sawasawa.

La différence entre *Tithonia diversifolia* et *Crotalaria ochroleuca* est aussi hautement significative pour les deux variétés, soit une augmentation du rendement de l'ordre de 172.1% pour Mayombe et 362.6% pour Sawasawa.

La différence entre *Lab lab* et *Crotalaria grahamiana* est hautement significative seulement pour Mayombe, soit une augmentation du rendement de l'ordre de 78.3%, quant à Sawasawa, il n'y a pas de différence significative entre les deux engrais verts.

La différence entre *Lab lab* et *Crotalaria ochroleuca* est hautement significative pour Mayombe, soit une augmentation de rendement de l'ordre de 151.3%, pour la variété Sawasawa il n'y a pas de différence significative pour les deux engrais verts selon la plus petite différence significative LSD (0.05) : 5.834

De tous ces résultats qui précèdent, les analyses statistiques ont montré une influence hautement significative de *Tithonia diversifolia* sur le rendement du manioc par rapport à toutes les autres espèces d'engrais verts utilisées comme jachère améliorée ; toutefois il n'y a pas eu de différence significative entre *Tithonia diversifolia* et *Lab lab* pour la variété Mayombe.

3.2 NOMBRE ET POIDS DES RACINES COMMERCIALISABLES (GROSSES RACINES) TELS QU'INFLUENCES PAR DIFFERENTES ESPECES D'ENGRAIS VERTS

A la lumière du tableau ci-dessus, nous observons que le nombre des racines tubéreuses par rapport à leurs poids respectifs est fonction de la performance de chaque variété et du traitement. De ce tableau nous observons que le nombre des racines obtenues par la variété Mayombe est supérieur que celui obtenu par la variété Sawasawa pour tous les traitements hormis le témoin. Egalement Mayombe a donné un nombre plus élevé des racines commercialisables que Sawasawa dans les parcelles sous jachères de *Tithonia diversifolia* et de *Lab lab*. Toutefois entre les deux jachères de (*Tithonia d.* et *Lablab*), les deux variétés se sont bien exprimées après une jachère de *Tithonia diversifolia* et ont donné beaucoup de racines commercialisables.

3.3 HAUTEUR DES PLANTS TELLE QU'INFLUENCEE PAR DIFFERENTES ESPECES D'ENGRAIS VERTS

L'analyse de la variance de la hauteur (voir tableau ci-dessus) a montré des effets hautement significatifs pour le traitement sous la jachère de *Tithonia diversifolia* qui a amélioré la hauteur moyenne des plants de toutes les deux variétés de manioc, Mayombe et Sawasawa, de l'ordre respectif de 51 et 49%, selon la plus petite différence significative (LSD 0.2496) (FPr<0.001). Quant à la jachère de *Lab lab*, celle-ci a aussi amélioré la hauteur pour la variété Mayombe seulement de l'ordre de 34% et *Crotalaria grahamiana* a amélioré la hauteur uniquement pour la variété Sawasawa de 10%.

3.4 VIGUEUR DES PLANTS TELLE QU'INFLUENCEE PAR DIFFERENTES ESPECES D'ENGRAIS VERTS

La vigueur des plants était prise à 12 mois après la plantation, elle était évaluée en utilisant l'échelle de cotation de 1 à 5 de la manière suivante: 1= Excellent 2= Bon 3= Intermédiaire 4= Faible 5= Très faible.

Un effet très significatif ($FPr < 0.001$) d'interaction des traitements et des variétés a été observé sur la vigueur des plants. Les statistiques ont montré une très bonne vigueur dans les parcelles sous une jachère de 7 mois avec *Tithonia diversifolia* pour les deux variétés de manioc. La variété Sawasawa à elle seule, a eu une vigueur jugée très bonne dans les parcelles de *Lab lab* et *Crotalaria grahamiana* (voir tableau ci-dessus).

3.5 REACTION A LA MOSAÏQUE AFRICAINE DE MANIOC

Au vue du tableau 3, il n'y a pas d'effet significatif ($FPr < 0.001$) d'espèces d'engrais verts sur la mosaïque car tous les traitements s'étaient comportés de la même manière.

Au vue de ce tableau (ci-dessus), il n'y a pas eu aucun effet significatif ($FPr < 0.001$) d'espèces d'engrais verts sur la mosaïque car toutes les parcelles (traitements) s'étaient comportées de la même manière.

4 CONCLUSION

Notre recherche avait pour objectif général de contribuer au développement des technologies pouvant augmenter les rendements du manioc dans les portions des terres des paysans. Les objectifs spécifiques étaient d'évaluer les effets induits des engrais verts sur le rendement du manioc, comparer les rendements du manioc avec différents types d'espèces d'engrais verts et enfin déterminer le type d'engrais vert pouvant être proposé comme jachère améliorée.

Les résultats obtenus nous montrent qu'en considérant les effets de ces différentes espèces d'engrais verts utilisées comme jachère, le *Tithonia diversifolia* et le *Lab lab* ont eu des effets très significatifs des traitements ($FPr < 0.001$) et des variétés ($FPr < 0.001$) sur le rendement des racines tubéreuses de manioc, de l'ordre de 4 et 4.43 fois plus avec la variété Mayombe en utilisant respectivement la jachère de *Lab lab* (40.80t/ha) et de *Tithonia diversifolia* (44.17t/ha) par rapport à la jachère naturelle dont son rendement est de 9.97t/ha, soit une augmentation de rendement de 309.2% pour le *Lab lab* et de 343% pour le *Tithonia diversifolia*. Les autres jachères qui ont donné des rendements supérieurs au témoin (9.97t/ha) en utilisant la même variété Mayombe sont *Mucuna preta*, *Crotalaria grahamiana* et *Crotalaria ochroleuca*, qui ont amélioré le rendement de l'ordre respectif de 137.7%, 129.3%, et 62.7%. Considérant la variété Sawasawa, nous avons aussi enregistré des rendements hautement significatifs ($FPr < 0.001$) en système de jachère basé sur le *Tithonia diversifolia* (38.40t/ha), soit une augmentation des rendements de l'ordre de 390.4% par rapport au témoin (7.83t/ha). Les autres jachères qui ont donné des rendements significatifs sont *Lab lab* et *Crotalaria grahamiana* avec 17.20t/ha et 16.17t/ha, soit une augmentation des rendements de l'ordre respectif de 119.6% et 106.5%. Quant aux autres paramètres observés dont la hauteur et la vigueur des plants, notre étude a montré qu'il ya eu un effet significatif ($FPr < 0.001$) d'interaction des traitements et des variétés. Les statistiques (analyse de la variance) ont montré une bonne vigueur dans les parcelles sous jachère de *Tithonia diversifolia*. La variété Sawasawa a eu une amélioration de la vigueur jugée très bonne par rapport à la jachère naturelle pour les jachères sous *Lab lab* et *Crotalaria grahamiana*. Pour ce qui est de la hauteur des plants de manioc, il y a eu un effet très significatif ($FPr < 0.001$) des traitements et de la variété. Le nombre des racines tubéreuses est élevé dans tous les traitements de façon non proportionnelle au poids obtenu. L'ensemble de tous ces résultats peuvent ainsi nous donner le privilège de conclure que la jachère améliorée de *Tithonia diversifolia* et de *Lab lab* sont à utiliser pour augmenter les rendements de manioc et peuvent alors ainsi être recommandés et vulgarisés chez les agriculteurs pratiquant la culture du manioc.

REMERCIEMENTS

Je remercie les autorités du Centre de Recherche de L'INERA-MULUNGU ainsi que tous les agents en général et ceux de l'antenne manioc en particulier pour avoir contribué techniquement à la réalisation de ce travail, mes remerciements s'adressent également à l'ingénieur MSC Tata Hangy de l'IITA/KINSHASA pour m'avoir fourni la main-d'œuvre ouvrière nécessaire ainsi que des conseils techniques relatifs à ce travail.

REFERENCES

- [1] K. W. TATA HANGY, T. BAKELANA et N. M. MAHUNGU, 2015, Les principales maladies et ravageurs majeurs du manioc en République Démocratique du Congo : Identification et moyens de lutte ; dans Manuel de formation destiné aux agents de terrain et de vulgarisation, IITA.
- [2] SIGNH, T.P., Sélection du manioc pour la résistance aux pestes et maladies en République du Zaïre ; Programme National Manioc ; INERA-Mvuazi, p.16, SD.
- [3] SYLVESTRE et ARRAUDEAU, M., Le manioc, techniques agricoles et productions tropicales, Paris, p. 257.
- [4] TATA HANGY, K., Les pratiques culturales du manioc, guide pratique de terrain, IITA P. 13, 2002.
- [5] BARHALENGEHWA, N., la rareté des terres arables, source de pauvreté et de malnutrition au Bushi, en hautes terres du Kivu, à l'Est de la République Démocratique du Congo, 2011.
- [6] RISHIRUMUHERWA, T., et al. , Etude pédologique de 8 sites repérés pour les essais engrais au sein de la CEPGL, Gitega, Burundi Bujumbura, 1989.
- [7] CIALCA, CIALCA Baseline Survey Report, Consortium for Improving Agriculture-based Livelihoods in Central Africa, P. 129, 2010.
- [8] NTAMWIRA, J., PYPERS, P., VAN ASTEN, P., VANLAUWE, B., RUHIGWA, B., LEPOINT, P., DHED'A, B., MONDE, T., BLOMME, G., Effect of banana leaf pruning on banana and legume yield under intercropping in farmers' fields in eastern Democratic Republic of Congo, journal of Horticulture and Forestry 6(9) PP 72-80, 2014.
- [9] DUPRIEZ, H., et DE LEENER P., Jardins et Vergers d'Afrique, Terres et Vie, Apica, CTA., 1987.
- [10] MULANGWA, N., L'efficacité de *Tithonia diversifolia* en tant qu'amendement édaphique pour la culture du haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.) in PABRA Millenium Workshop Novotel Mount Meru, Arusha, Tanzania 28 May-Jun, PP. 264-276, 2001.
- [11] PIETER, B., et al, 1989, Engrais verts et autres formes d'amélioration du sol dans les pays tropicaux, Angrodok 28, Agromosa, b.p. 41, 6700 aaWangeningen Pays-Bas, p. 11, 1989.
- [12] AKLAMAVO M et MENSAH G. A., Quelques aspects de l'utilisation du mucuna en milieu rural en republique du Benin. Bulletin de la Recherche Agronomique, (9) 34-46.1997.
- [13] ORWA C, A MUTUA, KINDT R, J AMNADASS R, S ANTHONY., Agroforestree Database: a tree reference and selection guide version 4.0, 2009.
[Online] Available: <http://www.worldagroforestry.org/sites/treedbs/treedatabases.asp>
- [14] MIGUEL A F, MARCOS P, ADEMIR C and ROLF D., Green Manure/Cover Crops And Crop Rotation In Conservation Agriculture On Small Farms. Integrated Crop Management Vol.12, pp 95, 2010.
- [15] KAHO F, YEMEFACK M, FEUJIO-TEGUEFOUET P et TCHANTCHAOUANG JC., Effet combiné des feuilles de *Tithonia diversifolia* et des engrais inorganiques sur les rendements du maïs et les propriétés d'un sol ferrallitique au Centre Cameroun. TROPICULTURA, 29-1, 39-45, 2011.

The effects of different combinations of herbaceous and shrubs and microdose of fertilizer on bean and maize yields, soil proprieties and carbon sequestration on two degraded soils in the highland of South Kivu, Eastern of DR Congo

Ntamwira Bagula Jules¹⁻², Pyame Mwarabu Lolonga Dieudonne², Kanyenga Lubobo Antoine³⁻⁴, and Dhed'a Djailo Benoit²

¹Institut National pour l'Étude et la Recherche Agronomiques, BP 2037 Kinshasa 1, Station de Mulungu, RD Congo

²Facultés des Sciences et de Gestion de Ressources Renouvelables, Université de Kisangani, BP 2012, Kisangani, RD Congo

³CIAT-HarvestPlus, Bureau de Bukavu, RD Congo

⁴Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Lubumbashi, BP 1825, Lubumbashi, RD Congo

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Better managements of soil fertility are imperative for rehabilitating degraded soil in order to increase crop yields. Our objective was to assess the effect of improved fallow of different combinations of herbaceous-shrubs species and microdose of fertilizer on maize-bean yield, aboveground organic carbon sequestration and soil proprieties improvement. The treatments consisted of *Pennisetum purpureum*, *Setaria sphacelata* and *Tripsacum laxum* or *Tithonia diversifolia* combinations with 3 shrub species (*Leucaena diversifolia*, *Calliandra calothyrsus*, and *Albizia chinensis*) and microdoses of fertilizer (NPK-manure), two controls treatments without fertilizer were also included. These treatments were arranged in a split-plot design with, the main plot treatment consisting of herbaceous-shrubs fallow type subdivided into four subplots of beans ([M211], [NAMULENGA] [CURANTINO] and [VCB] cropped with three maize varieties [SamVita A and B], and [Gv664]. Application of microdose and herbaceous species combination increased bean and maize grain yield at both sites 21 months after trial initiation. No significant difference was observed between the different combinations in both sites and for the 3 planting seasons for assessed parameters. Herbaceous combinations increased significantly the number of nodules ($P < 0.01$). Highest biomass yield, C sequestration number and biomass of earthworm were found in the herbaceous-shrubs combinations treatments and lower in NPK-manure and control treatments in both sites. In addition, the number of earthworms was enhanced with application of microdose of fertilizers (546) and herbaceous-fallow grassland (725) compared to control (282) 2 years after trial initiation at Mulungu site. No significant difference was observed between the different combinations in both sites for soil temperature and moisture variation.

KEYWORDS: Biomass, Herbaceous species, Improved fallows, Organic carbon, Soil fertility.

1 INTRODUCTION

Maize, bean and cassava are the major food crops in DR Congo, especially in South Kivu. Intercropping is a common practice [1]. Beans are mainly grown in association with maize, bananas, cassava, or others root or tuber crops. About 22% of the production area is sole cropped, 43% is in association with maize, 15% with bananas, 13% with root and tuber crops, and 7 % with other crops [2]. However, production of these crops remains low and is falling farther behind other countries in Africa. The production varie from 0.8 to 3.5 t ha⁻¹ and from 400 to 800 kg ha⁻¹ respectively for maize and beans [3], [4]. Many rural families in Africa are below the poverty line and cultivate crops on land that is already degraded [5].

Soil fertility depletion on smallholder farms is the fundamental cause of declining food production in Africa including the East of DR Congo [6]. Amount of nutrients is annually taken away in the form of harvested crop. The soil nutrient mining was

estimated to an average of 660 kg of nitrogen (N), 75 kg of phosphorus (P) and 450 kg of potassium (K) per hectare per year during the last 30 years from about 200 million hectares of cultivated land in 37 countries in Africa [7].

The conventional agricultural practices, especially crop residues burning and transfer out of fields use by farmers is the main cause of soil fertility diminution on smallholder in Africa beans [8]. In addition, farmers cultivate local varieties with poor nutrients, low crops yield and no resistance to biotic and abiotic stress [9], [10]. Also, Farmers cultivate food crops and bananas on sloping land in South Kivu, eastern of Democratic Republic of Congo (DRC) where appropriate soil conservation is required [5].

Better managements of soil fertility are imperative for rehabilitating degraded soil in order to increase crop yields in Africa, especially in South Kivu Province. For example, the strategies of application small doses of fertilizer and planting improved crop varieties were reported [1], [11]. In the other hand, agroforestry is a sustainable land-management option because of its ecological, economic, and social attributes [12]. Woody or herbaceous species in agroforestry systems can enrich topsoil through enabling nutrient cycling from the subsoil, and through biological N₂ fixation by legume species. Farmers are encouraged to enrich the soils through planting of desirable woody or herbaceous species as improved fallows for example *P. purpureum*, or simultaneously with the crops [11]. In addition, agroforestry is an appealing option for sequestering carbon on agricultural lands because it can sequester significant amounts of carbon than agricultural monocultures [13]. Carbon sequestration in agroforestry systems occurs in aboveground biomass and in belowground biomass, agroforestry systems have received increased attention for climate change adaption and mitigation [14], [15].

The objectives of this study is to compare the effects of improved fallows of different combinations of herbaceous-shrubs species and microdose of fertilizer on maize-beans yield with farmer practice, (2) to study herbaceous species biomass production under intensive cutting management on above-ground organic carbon sequestration and (3) to assess the effect of herbaceous-shrubs species and microdose of fertilizer on degraded soil proprieties improvement.

2 SITE, MATERIALS AND METHODS

2.1 SITE DESCRIPTION

The experiments were established in field at two sites with degraded soil in South Kivu at INERA-Mulungu research station (158 300 S, 358 150 E, altitude of 1,700 m asl) and at Mushinga (158 300 S, 358 150 E, altitude of 1029 m asl). The soil characteristics of these sites are described in detail in [16].

2.2 MATERIALS AND METHODS

This agroforestry fallow was established in 2016 and since establishment the plots have been continuously cropped with bean and maize as test crop for soil fertility restoration. The treatments consisted of combinations of three different grasses species (*Pennisetum purpureum*, *Setaria sphacelata* and *Tripsacum laxum* or *Tithonia diversifolia* depending the availability at the site.) with 3 shrub species (*Leucaena diversifolia*, *Calliandra calothyrsus*, and *Albizia chinensis*) and microdoses of fertilizer (NPK-manure), two controls treatments were also included. This resulted in a fully factorial design with 5 treatments: T1: *Pennisetum-Leucaena-calliandra-Albizia-NPK-manure*; T2: *Setaria-Pennisetum-Leucaena - Albizzia -Calliandra -NPK- manure* and T3: *Tripsacum or Thitonia-Pennisetum -Calliandra- Leucaena - NPK-manure*. T00: control: 0 grasses, shrubs, NPK and manure; T0: NPK-manure. These treatments were arranged in a split-plot design with, the main plot treatment consisting of agroforestry-fallow type subdivided into four subplots of beans-maize cropping maize corresponding of four bean varieties and 3 maize varieties. Each main plot was repeated five times per site and it measured 100 m² and the subplot of beans 2.5 m² and contained five lines of beans and three line of maize. Fours climbing bean varieties (*Phaseolus vulgaris* L) ([M211], [NAMULENGA] [CURANTINO] and [VCB]. The maize varieties were [SamVita A and B], and [Gv664]. The bean varieties were intercropped with the maize at only 9, and 21 months after trial establishment. However only beans were planted 3 months after agroforestry fallow installation because of lower soil fertility of the trial sites and only maize was planted 15 months after trial initiation because it needed a bean rotation to control beans disease. The observations were taken during three cropping seasons for each crop: (2016 B [March-June 2016], 2017 A [September 2016-January 2017] and 2018 A [September 2017-January 2018]) for beans and 2017 A [September 2016-January 2017], 2017 B [March-June 2017], 2018 A [September 2017-January 2018]) for maize. Grasses species and shrubs were planted in mixture at 1 m interval; the intra-line spacing was 25 cm for grasses and 50 cm for 100 cm for shrubs.

Beans were planted in lines 50 cm apart and maize 100 cm and the intra-line spacing was 25 cm for climbing bean and 50 cm for maize plants. Gasses cut was carried out after 2-3 weeks interval (i.e. during the bean-maize cropping season). No shrubs

pruning was done because they were so small. Weeding was carried out monthly. Manure (20 t DM/ha) and micro doses of NPK (17.17.17) fertilizer (50 kg ha⁻¹) were applied.

2.3 DATA COLLECTION

2.3.1 BEANS

Beans data were collected on grain yield and rhizobium nodules in centrally located net plots, which comprised 3 lines of 60 plants beans. Five plants were selected randomly in the net plot for nodules assessment.

2.3.2 MAIZE

Maize data were collected on grain yield in one line of 9 m centrally located in net plots and contained 36 plants.

2.3.3 BIOMASS ABOVE-GROUND AND CARBON ABOVE-GROUND C STOCK

Harvested biomass of each herbaceous species was measured to determine biomass weight using a scale. The aboveground C stock (C sequestered) was direct derivative from aboveground biomass (AGB) measurements/estimates, assuming that 50% of the biomass is made up by C [17],

2.3.4 NUMBER OF EARTHWORM AND BIOMASS

In trial field, soil blocks of 30 x 30 x30 cm were studied by hand as proposed by [18]; the living earthworms were counted and weighted. The mean number of individuals in 1 m² of soil surface was calculated.

2.3.5 SOIL MOISTURE DETERMINATION AND TEMPERATURE MEASUREMENT

Soil moisture was measured in August during the dry season (i.e. one month after the end of rain season) during the season which crops suffer much from water stress. Soil samples were collected in all treatments from the five replicates. Soil samples were taken at 0-5, 10-15 and 15-20 cm soil depth using inox bulk density sampling ring, (5cm diameter - 5cm high) and placed in plastic bags. The soil samples fresh weight was measured using a kitchen scale weighed and then dried in an oven at 105 OC. After 72 h of drying the dry weights were recorded. The soil surface temperature (0–5 cm depth) was measured.

2.3.6 DATA ANALYSIS

The data was subjected to analysis of variance (ANOVA) using GENSTAT discovery version 11). The LSD test was used for means separation.

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 EFFECT OF DIFFERENT HERBACEOUS SPECIES COMBINATION AND MICRODOSE OF FERTILIZER ON MAIZE AND BEAN GRAINS YIELDS

Herbaceous species combination with microdose of fertilizer generally did not affect maize yield in the fiertil soil of Mulungu (Table 1). Contrary, the average yield of maize produced with different herbaceous species combination and microdose of fertilizer at Mushinga was significantly higher than maize yield produced with no herbaceous and no fertilizer (control) for the three cropping seasons. At both sites , the average yield of maize produced in the plot with microfertilizer were higher than yied produced in the plot with herbaceous for both sites for the three cropping season, in both cases the reduction of yield could be due to the competion between maize and herbaceous species used for soil fertility restoration. No significant differences (P>0.05) in the mean grains yield was observed between the herbaceous species combination and between maize varieties at both sites. In addition, the effect of fertilizer and herbaceous species combination was more pronounced on maize yield at Mushinga on relatively poor soil than on relatively fertile soil at Mulungu. Similarly, [16] and [19] observed a more pronounced effect of fertilizer on banana growth and beans yield in the poor soil than relative fertile soil in south Kivu. Herbaceous species combination enhanced maize grain yield 21 months after trial initiation at both sites and for the three varieties. Maize yield did not significantly varie between different varieties at both sites.

The results of this experience indicate that there is a build up of nutrients in the herbaceous improved fallow due to repeated application of organic mater from repeated herbaceous cut.

Table 1. Effect of different herbaceous species combination and microdose of fertilizer on maize grains yield during three cropping seasons at two sites. NPK-manure was applied in all treatment except the control (T00).

Sites	Treatment	Maize grains yield per variety (kg/ha)								
		Gv664			Sam Vita A			Sam Vita B		
		9 M	15 M	21 M	9 M	15 M	21 M	9 M	15 M	21M
Mushinga	T0*	107a#	22a	804a	91a	32a	699a	93a	29a	619a
	T1	34b	5ab	298b	35b	7b	291b	34b	7b	316b
	T2	36b	5ab	478b	32b	5b	552ab	34b	5b	525ab
	T3	43b	4b	327b	24b	5b	562ab	34b	6b	348ab
	T00	0c	1b	0c	0c	0b	0c	0c	0b	0c
	LSD	21.7	17	287	21.7	17	287	21.7	17	287
Mulungu	Fpr	0.001	0.318	0.002	0.001	0.318	0.002	0.001	0.318	0.002
	T0	1712a	470a	1719a	2328a	536a	1611a	1319a	578a	1419a
	T1	402b	37b	865b	497c	45b	876b	461c	32c	913b
	T2	191b	15b	761bc	174c	18b	855b	153c	38c	821b
	T3	280b	20b	277c	300c	16b	408b	426c	10c	770b
	T00	1350a	318a	704bc	1283b	466a	688b	783b	289b	759b
	LSD	379.4	361	497	379.4	361	497	379.4	361	497
	Fpr	0.001	0.003	0.001	0.001	0.003	0.001	0.001	0.003	0.001

#:Means in a column followed by the same letter are not significantly different from each other according to LSD at P=0.05.

M:months after trial initiation

* :T1: Pennisetum-Leucaena-calliandra-Albizzia-NPK-manure; T2: Setaria–Pennisetum-Leucaena - Albizzia –Calliandra –NPK- manure and T3: Tripsacum or Thitonia–Pennisetum –Calliandra- Leucaena – NPK-manure. T00: control: 0 grasses, shrubs, NPK and manure; T0: NPK-manure.

3.2 EFFECT OF DIFFERENT HERBACEOUS SPECIES COMBINATION AND MICRODOSE OF FERTILIZER ON BEAN GRAINS YIELD

The following table present results on the effect of different herbaceous species combination and microdose of fertilize on bean grains yield.

Table 2. Effect of different herbaceous species combination and microdose of fertilizer on bean grains yield of four different varieties during three cropping seasons in two sites. NPK-manure was applied in all treatments except the control (T00)

Sites	Treatment	Bean grains yield per variety (kg/ha)											
		NAMULENGA			VCB81013			M211			CUARANTINO		
		3 M	9 M	21 M	3M	9 M	21 M	3M	9M	21M	3M	9 M	21 M
Mushinga	T0*	201a#	217a	768a	236a	84a	664a	260a	148a	704a	119a	186a	441a
	T1	143a	75bc	359b	91ab	60ab	212b	117b	47bc	325b	102a	86b	274ab
	T2	147a	80b	387b	89ab	67ab	264b	101bc	54bc	307b	97ab	83b	277ab
	T3	156a	84b	255b	102a	68ab	315b	101bc	75bc	310b	91ab	124ab	175bc
	T00	25b	0c	0c	12b	0b	0c	27c	0c	0c	20b	0c	0c
	LSD	79	77.9	185	79	77.9	185	79	77.9	185	79	77.9	185
Mulungu	Fpr	0.004	0.009	0.001	0.004	0.009	0.001	0.004	0.009	0.001	0.004	0.009	0.001
	T0	749a	245a	1156a	305a	181a	1120a	1144a	166a	671a	1021a	101a	825a
	T1	38b	118a	1010a	7b	97a	1045a	1c	110ab	476ab	1b	104a	476b
	T2	25b	139a	962a	4b	146a	957a	5c	112ab	402b	5b	114a	492b
	T3	20b	103a	912a	2b	137a	842b	2c	181a	303b	3b	163a	422b
	T00	554a	218a	386b	111ab	102a	293c	455b	50b	379b	681a	50a	616ab
	LSD	244	97.2	256	244	97.2	256	244	97.2	256	244	97.2	256
	Fpr	0.001	0.395	0.008	0.001	0.395	0.008	0.001	0.395	0.008	0.001	0.395	0.008

#Means in a column followed by the same letter are not significantly different from each other according to LSD at P=0.05.

*:see table one.

The application of microdose and herbaceous species combination increased bean grain yield at both sites, although this effect was more pronounced in the poor soil of Mushinga due to repeated application of mineral fertilizer and organic matter from repeated herbaceous cut. In general, there were no significant differences ($P>0.05$) in the mean grains yield across the sites and irrespective of the bean varieties between the different herbaceous species combination evaluated. However, the means bean grain yields of beans obtained in the plot where only NPK-manure (T0) was applied was higher than yields of beans produced in the plot with herbaceous combination used for soil fertility restoration at both sites for the three cropping season and for all beans varieties. The average bean grain yield for all beans varieties 21 months after trial initiation for T0 treatment were 644 kg ha⁻¹ and 943 kg ha⁻¹ for Mushinga and Mulungu sites respectively. In addition, bean grain yield average from treatment with herbaceous fallow 21 months after trial initiation could be ranged as following, firstly in site with relatively poor soil at Mushinga site: Pennisetum-setaria (T2) (309 kg ha⁻¹) > Pennisetum (T1) (293 kg ha⁻¹) > and Pennisetum-Tripsacum (T3) (264 kg ha⁻¹) > control (T00) (0 kg ha⁻¹). Contrary, in the site with relative relatively fertile soil of Mulungu, the average bean grain yields calcification could be ranged as following according the different treatment: Pennisetum (T1) (752 kg ha⁻¹) > Pennisetum-Setaria (T2) (7003 kg ha⁻¹) > Pennisetum-Tripsacum (T3) (620 kg ha⁻¹) > control (T00) (419 kg ha⁻¹). The reduction of yield from the treatments with herbaceous combinations could be due to the competition between beans and herbaceous species used for soil fertility restoration.

Bean grain yield was higher in more fertile soil at Mulungu compared to Mushinga during the three bean cropping seasons (Table 2). Low soybean grain yield below potential yield of SB24 variety at Mushinga site compared with yield at others sites with relative fertile soils in South Kivu was also reported by [20].

NAMULENGA variety produced the highest bean grain yields with NPK-manure (T0) treatment at the both sites during the third cropping season, 1156 kg ha⁻¹ for site with fertile soil and 768 kg ha⁻¹ in poor soil. The control (T00) treatment gave the lowest bean grain yields (386 and 0 kg ha⁻¹) respectively in the poor and fertile soils for the same variety and cropping season. The average bean yield produced in the plot with herbaceous species combination for the same variety and cropping season varied from 912 to 1010 kg ha⁻¹ and from 255 to 359 kg ha⁻¹ respectively in the fertile (Mulungu) and poor soils (Mushinga).

3.3 EFFECT OF DIFFERENT HERBACEOUS SPECIES COMBINATION AND MICRODOSE OF FERTILIZER ON SOIL BIOLOGICAL AND PHYSIQUE PROPRIETIES

3.3.1 EFFECT OF DIFFERENT HERBACEOUS SPECIES COMBINATION AND MICRODOSE OF FERTILIZER ON BEANS RHIZOBIUM FIXATION

The table 3 present obtained results on beans nodule evaluation in the two experimental sites.

Table 3. Effect of different herbaceous species combination and microdose of fertilizer on beans rhizobium nodules during three cropping seasons in two sites. NPK-manure was applied in all treatment except the control (T00)

Sites	Treatment	Number of nodules per bean plant according bean varieties											
		M211			NAMULENGA			CUARANTINO			VCB81013		
		3M	9 M	21 M	3 M	12 M	21 M	3 M	12 M	21M	3M	12 M	21 M
Mushinga	T0*	49a	14a	65a	53a	10ab	94a	71b	22a	71a	93b	24a	74a
	T1	65a	16a	67a	73a	19a	74a	96ab	25a	72a	102b	14a	52a
	T2	63a	14a	57a	84a	13ab	88a	110ab	19a	74a	126ab	16a	54a
	T3	60a	10ab	49a	58a	19a	79a	120a	14a	56a	163a	13a	60a
	T00	0b	0b	0b	0b	0b	0b	3c	0b	0b	0c	0bb	0b
	LSD	47.3	13	38.8	47.3	13	38.8	47.3	13	38.8	47.3	13	38.8
Mulungu	Fpr	0.001	0.022	0.008	0.001	0.022	0.008	0.001	0.022	0.008	0.001	0.022	0.008
	T0	90a	12ab	131a	174a	22a	106b	44a	13ab	47ab	102a	14ab	82a
	T1	60ab	24a	68b	69b	27a	105b	57a	16ab	55a	64a	35a	65a
	T2	45ab	22a	87b	64b	19a	113b	53a	18a	51a	56ab	24a	76a
	T3	69ab	15ab	106a	50bc	20a	166a	76a	16ab	55a	45ab	22a	55a
	T00	21b	6b	17c	8c	6c	8c	22a	6b	6b	7b	5b	5b
	LSD	50.3	11	42.1	50.3	11	42.1	50.3	11	42.1	50.3	11	42.1
	Fpr	0.034	0.003	0.003	0.034	0.003	0.003	0.034	0.003	0.003	0.034	0.003	0.003

#Means in a column followed by the same letter are not significantly different from each other according to LSD at $P=0.05$.

*:see table one.

The results presented in the below table show that, the application of microdose and herbaceous species combination enhanced the number of nodules per bean plant at both sites. Significant differences ($P < 0.01$) were observed in the mean number of nodules per plant produced in herbaceous combination and NPK-Munure treatment (T0) in comparison with control treatment (T00) at both sites during the three cropping seasons (Table 3). Few nodules were produced in the plot with naturel fallow (T00) (0.4 and 10 nodules per plants) while most were produced by the Pennisetum treatment (T1) (56 and 54), Pennisetum-setaria (T2) (60 and 52), pennisetum-tithonia/Tripsacum (T3) (59 and 58) nodules and NPK-Manure (T0) (54 and 70); nodules per plant) at Mushinga and Mulungu sites respectively (Table 3). Simmlary, [19] observed a high number of nodules per bean plant at Mushinga and Mulungu sites. Although the number of nodules per bean plant varied across beans varieties, herbaceous species combinaison and sites, they generally vary from 0 to 76 in less favorable environments of Mushinga and from 6 to 101 nodules per bean plant in more favorable environments at Mulungu site.

3.3.2 EFFECT OF DIFFERENT HERBACEOUS SPECIOUS COMBINATION AND MICRODOSE OF FERTILIZER ON BIOMASS YIELD AND ABOVEGROUND ORGANIC CARBON SEQUESTRATION IN TWO DIFFERENT SITES

The results of different herbaceous species combination and microdose of fertilizer effect on biomass yield and aboveground organic carbon sequestration in experimental sites are summarized in table 4.

Table 4. Effect of different herbaceous species combinatison and microdose of fertilizer on biomass yield and aboveground organic carbon sequestration in two different sites.

Treatme nt	Mulungu				Mushinga			
	year 1		year 2		year 1		year 2	
	Biomass (t/ha)	Carbon (t/ha)	Biomass (t/ha)	Carbon (t/ha)	Biomass (t/ha)	Carbon (t/ha)	Biomass (t/ha)	Carbon (t/ha)
T2*	17.20a#	8.62a	21.4a	10.9a	7.32a	3.66a	13.6a	6.8a
T3	12.30ab	6.15a	19.8a	9.9a	7.13a	3.56a	14.5a	7.2a
T1	13.10a	6.53a	17.8a	8.9a	5.61a	2.81a	8.7ab	4.4ab
T0	1.10bc	0.56b	2.9b	1.4b	0.04b	0.02b	3.3bc	1.6bc
T00	0.80c	0.41b	2.8b	1.4b	0.02b	0.01b	1.8c	0.9c
LSD	10.20	5.10	7.36	4.2	2.57	1.29	5.8	2.8
Fpr	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

#Means in a column followed by the same letter are not significantly different from each other according to LSD at $P=0.05$.

*:see table one.

Table 4 shows the yield of aboveground biomass of herbaceous species combination and amounts of recycled organic carbon calculated from the herbaceous biomass from repeated cut and used as mulch. The aboveground biomass and C accumulation varied significantly between the land use systems ($P= 0.001$). Highest biomass average yield (21.4 t ha⁻¹ year⁻¹) and C sequestration were found in the herbaceous species with pennisetum-setaria combinaison (10 t ha⁻¹ year⁻¹) and the lowest (0.9 t/ha per year) were obtenaid in traditional system with natural fallow at Mulungu and Mushinga respectively. No significant difference was found between the different agroforestry systems and between the natural fallow (T00) and the plot where a microdose of NPK-manure (T0) was applied. These results show that total biomass and C accumulation in the aboveground in herbaceous improved fallow is generally much higher than that in land use without herbaceous specious under comparable conditions [21]. Bean yield for the second cropping season was lower than the first for all varieties; this could be due to the completion between annual crops and herbaceous species used for soil fertility restoration. This could be explains with the reduction of the number of herbaceous lines per plot 9 months after trial establishment. Instead of One line of herbaceous at One line at each meter, we kept one line at each two meters to reduce the competition with them and bean plants because at this period, the herbaceous developed enough roots that could compete with bean for nutrients.

3.3.3 EFFECT OF DIFFERENT HERBACEOUS SPECIES COMBINATION AND MICRODOSE OF FERTILIZER ON EARTHWORM NUMBER AND BIOMASS

Table 5. Effect of different herbaceous species combination and microdose of fertilize on earthworm number and biomass per 1 m² of soil in two different soils

Treatment	Mushinga				Mulungu			
Treatment	Year 1		Year 2		Year 1		Year 2	
	Number	Biomass (g)	Number	Biomass (g)	Number	Biomass (g)	Number	Biomass (g)
T1*	7a	1.22	NE	NE	110a	18.3a	887a	85a
T2	2a	0.02	NE	NE	75a	8.0a	1028a	85a
T3	0a	0.0	NE	NE	5a	0.1a	261a	24a
Average	3	0.3	NE	NE	63.3	8.8	725.3	64.7
T0	0a	0.1	NE	NE	28a	0.9a	546a	51a
T00	0a	0.0	NE	NE	22a	5.2a	282a	17a
LSD	7.97	2.1	NE	NE	146	27	1349	112
Fpr	0.580	0.782	NE	NE	0.243	0.244	0.307	0.258

#Means in a column followed by the same letter are not significantly different from each other according to LSD at P=0.05.

*:see table one.

Herbaceous and tree species combination with microdose of fertilizer had a significant effect on total earthworm density and biomass. The mean number and biomass of earthworm were the highest in plots with herbaceous species combination and lower in control plots with farmer's practices in both sites. In other hand, the number and biomass of earthworm was high at mulungu site with relative fertile soil in comparison with Mushinga with poor soil. This number varied from 0 to 7 at Mushinga and from 5 earthworms per m² to 110 earthworms at Mulungu 1 year after trial initiation, this difference could be due to the high soil temperature at Mushinga and less organic matter in comparison of Mulungu site. However, not significant difference was observed in number and biomass of earthworm between different herbaceous combinations within the same site. [22] Report that microbial diversity and activity were higher under no-till than conventional tillage, also, fertilizer seems to play a minor role in determining microbial diversity and activity, whereas the cropping systems played a more important role in determining the activity of soil microbial communities. Soil moisture influences the abundance of earthworm communities more than soil type [23]. The high number of earthworm is an indicator of soil fertility.

3.3.4 EFFECT OF DIFFERENT HERBACEOUS SPECIES COMBINATION AND MICRODOSE OF FERTILIZER ON SOIL TEMPERATURE

The figure below shows soil temperature recorded in the trial plots in the two experimental sites.

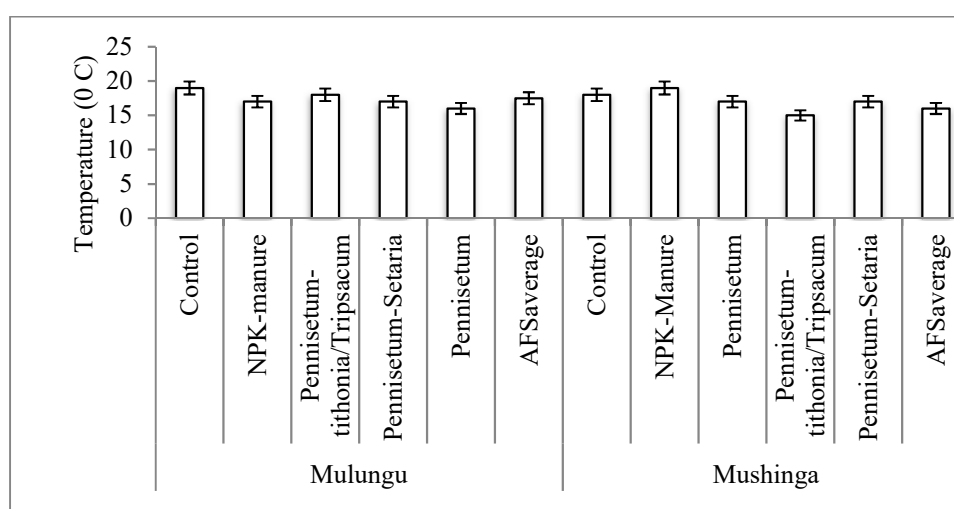


Fig. 1. Effect of agroforestry system on soil temperature

ASF average: average of Agroforestry treatments

Soil temperature recorded in August, 6 weeks after rain had stopped was higher in controls with natural fallow without fertilizer and in plot where NPK-manure were applied for both sites (Fig.1) this could be due the shade created with herbaceous combination that could reduce light penetration to soil in the plots with this treatments.

3.3.5 EFFECT OF DIFFERENT HERBACEOUS SPECIES COMBINATION AND MICRODOSE OF FERTILIZER ON SOIL MOISTURE DETERMINATION

Soil moisture results are presented in the figure 2 below.

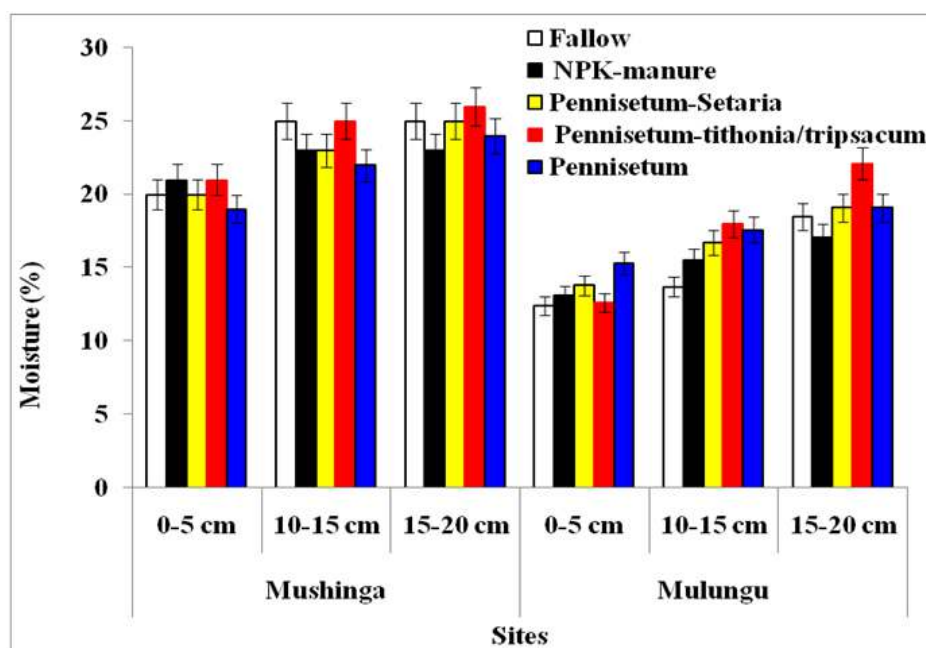


Fig. 2. Effect of different herbaceous species combination and microdose of fertilizer on soil moisture (%) per soil depth from 0 to 20 cm)

Soil moisture continent in August, 6 weeks after rain had stopped was higher in herbaceous-shrubs fallow than in controls plot with natural fallow without fertilizer and with NPK-manure in the three soil layers for both at Mulungu site and in 15-20 cm soil layers at Mushinga site. Contrary, in 0-50 and 5-10 soil layers, soil moisture content in the treatments of land use did not differ at Mushinga site (Fig.2). At both sites the soil moisture increased down the soil profile. These results are similary of those obtained by [24].

4 CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

The results of this study show that growing herbaceous-shrubs combination simultaneous with maize and beans enhance their yield and aboveground carbon sequestration 2 years after trial establishment. Also, Maize and beans yield are highest with microdose of mineral and organic fertilizer application in degraded soil. In addition, rhizobium fixation is increased with herbaceous-shrubs species fallow and microdose of fertilize application on degraded. Evidently, for improving soil proprieties, sufficient time is needed. The soil organic carbon and mineral N improvement will be determined in December 2019, four years after initiation.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are grateful for financial support from the International Center for Tropical Agriculture (CIAT) through the Harvesplus and ECABREN projects. Sincere gratitude and appreciation go to the team of persons who helped for data collection; these include Mr Bembeleza Emmanuel, Ciza Buchekabirhi and Jean Marie Bisanduku of the Institut National pour l'Etude et la Recherche Agronomiques (INERA-Mulungu) .

REFERENCES

- [1] P. Pypers, J. Sanginga, B. Kasereka, M. Walangululu and B. Vanlauwe, Increased productivity through integrated soil fertility management in cassava–legume intercropping systems in the highlands of Sud-Kivu, DR Congo. *Field Crops Research*, vol. 120 no. 1, pp.: 76-85, 210.
- [2] C.S. Wortmann and C.K. Kaizzi, "Nutrient balances and expected effects of alternative practices in the farming systems of Uganda". *Agriculture, Ecosystems and Environment* Vol. 71, pp, 117-131, 1998.
- [3] T. Badibanga, Agricultural Development in the Democratic Republic of the Congo: Constraints and Opportunities. DOUNIA, revue d'intelligence stratégique et des relations internationales no 6. 12-25pp, 2013.
- [4] A.L. Kanyenga, EL.m. Kasongo, R.V. Kizungu, G.M. Nachigera and K.M. Kalonji, Effect of climate change on common bean (*Phaseolus vulgaris*) crop production: determination of the optimum planting period in midlands and highlands zones of the Democratic Republic of Congo. *Global, Journal of Agricultural, Research and Reviews*, vol.4, no.1, pp 390-399, 2016.
- [5] Fairhurst T, *Handbook for Integrated Soil Fertility Management*. Africa Soil Health Consortium, 2012.
- [6] Sanginga N. and Woomer P.L, *Integrated soil fertility management in Africa: principles, practices and developmental process*, 2009.
- [7] Ngetich K.F., Shisanya A.C., Mugwe J., Mucheru-Muna M. and Mugendi D., *The Potential of organic and inorganic nutrient sources in Sub-Saharan African crop farming systems*. In Whalen J. (ed)., Soil fertility improvement and integrated nutrient Management. A Global Perspective, pp 135-156, 2012.
- [8] FAO. The importance of soil organic matter Key to drought-resistant soil and sustained food and production. FAO soil bulletin no 80, 95 p, 2005
- [9] PY.K. Sallah, S. Mukakalisa, A. Nyombayire and P. Mutanyagwa Response of two maize varieties to density and nitrogen fertilizer in the highland zone of Rwanda. *Journal of Applied Biosciences* vol. 20 1194–1202, pp, 2009..
- [10] E.T. Lammerts van Bueren, S.S. Jones, L.Tamm, K.M. Murphy, J.R. Myers, C. Leifert and M.M Messmer, The need to breed crop varieties suitable for organic farming, using wheat, tomato and broccoli as examples: *A review, Wageningen Journal of Life Sciences* vol. 58, pp 193– 205, 2011.
- [11] Pyame, D., Propriétés agronomiques et potentiel d'atténuation des changements climatiques d'une agro-forêt de type «culture en assiettes sous tapis vert», en restauration de sols dégradés, à Kisangani (RD Congo), Thèse de Docteur en Sciences Agronomiques, Université de Kisangani, RD Congo, 2015.
- [12] Nair P.K.R., Methodological Challenges in Estimating Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems. In B.K., Mohan, and P.K.R. Nair, (eds.), Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems., opportunities and challenges. *Advances in Agroforestry* vol.8, pp. 3-16, 2011.
- [13] Luedeling, E., Sileshi, G., Beedy, T., and Dietz, J.. Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems in Africa. In B.K., Mohan, and P.K.R. Nair, (eds.), Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems., opportunities and challenges. *Advances in Agroforestry* vol.8, pp. 60-83, 2011.
- [14] B.Seitz, E. Carrard, S. Burgos, D. Tatti, F. Herzog, M. Jäger and F. Sereke, Augmentation des stocks d'humus dans un système agroforestier de sept ans en Suisse central. *Recherche Agronomique Suisse*, vol. 8, no.7–8, pp, 318–323, 2017.
- [15] L. Klaus and L. Rattan Soil organic carbon sequestration in agroforestry systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, vol. 34, no. 2, pp, 443-454, 2014.
- [16] Ntamwira B.J., Dowiya Z.B., Katunga M., Van Asten P.J.A. and Blomme G., The effect of application of organic matter during planting on growth of an East African Highland banana on two contrasting soils in South-Kivu, Eastern DR Congo. *Tree and Forestry Science and Biotechnology* 4 (special issue 2). *Global Science Book*, 15-16 p, 2010.
- [17] Kaire M., Sibiri J.O., Sarr B. and Belem M., Guide de Mesure et de Suivi du Carbone dans le système sol-végétation des formations forestières et agroforestières en Afrique de l'ouest. Alliance Mondiale contre le Changement Climatique (AMCC / GCCA), Pp 46, 2013.
- [18] Ruiz. N., Lavelle P. and Jimealnez J., *Soil macrofauna field manual*. Technical level. Food and agriculture organization of the united nations rome, 2008
- [19] B.J. Ntamwira, C.T. Mirindi, M.L. Pyame, D.B. Dhed'a, M.E. Bumba, M.A. Moango, W.J. Kazadi and L.A. Kanyenga, Évaluation agronomique des variétés de haricot volubile riches en micronutriments dans un système integer d'Agroforesterie sur deux sols contrastés à l'Est de la RD Congo. *Journal of Applied Biosciences*, vol 114, pp, 11368-11386, 2017.
- [20] Walangululu M.J., Shukuru B.L., Bamuleke, K.D., Bashagaluke B.J., Angelani A.A. and Baijukya F., Response of introduced soybean varieties to inoculation with rhizobium in Sud Kivu province, Democratic Republic of Congo. Research Application Summary. in *Fourth RUFORUM Biennial Regional Conference 21 - 25 July 2014, Maputo, Mozambique*, vol. 277, pp, 273 – 279, 2014.

- [21] Gama-Rodrigues E.F., Gama-Rodrigues A.C., and Nair P.K R., Soil Carbon Sequestration in Cacao Agroforestry Systems: A Case Study from Bahia, Brazil . In B.K., Mohan, and P.K.R. Nair, (eds.), Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems,opportunities and challenges. *Advances in Agroforestry* vol. 8, pp. 85-100, 2011..
- [22] J. Habig and S. Swanepoel, Effects of Conservation Agriculture and Fertilization on Soil Microbial Diversity and Activity. *Environments* , vol. 2, pp 358–384, 2015.
- [23] S.J. Crittenden, T. Eswaramurthy, R.G.M. Goede, L. Brussaard, M.M. Pulleman, 2014. Effect of tillage on earthworms over short- and medium-term in conventional and organic farming. *Applied. Soil Ecology*, .03.001, 2014.
- [24] W. Makumba, B. Janssen, O. Oenema, F.K. Akinnifesi, D. Mweta, F. Kwesiga. The long-term effects of a gliricidia–maize intercropping system in Southern Malawi, on gliricidia and maize yields, and soil properties. *Agriculture, Ecosystems and Environment* vol. 116, 85–92, 2006.

Carcinome métaplasique du sein : A propos de deux cas

[Metaplastic breast carcinoma : About two cases]

Aida Abida, Dalal Kacimi, Mounia El Youssfi, and Samir Bargach

Service de gynécologie obstétrique cancérologie et grossesse à haut risque, maternité Souissi, Université Mohamed V, Rabat, Maroc

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Metaplastic breast carcinomas are rare tumors, represent less than 1% of invasive breast cancers, and constitute a heterogeneous group of tumors defined by the World Health Organization as infiltrating ductal carcinoma but with zones of metaplastic rearrangements of Epidermoid, fusiform, chondroid, bone or mixed type. Histopathology combined with immunohistochemistry makes it possible to make the diagnosis. Treatment combines surgery, and chemotherapy, radiotherapy is discussed and hormone therapy has no place. Their prognosis is bleak and the evolution is marked by locoregional recurrences and distant metastases. We report two cases of metaplastic breast carcinoma diagnosed by histology supplemented by immunohistochemistry, the treatment consisted of a mastectomy with axillary dissection supplemented by chemotherapy.

KEYWORDS: Tumor, breast, histopathology, immunohistochemistry, treatment, prognosis.

RESUME: Les carcinomes métaplasiques du sein sont des tumeurs rares, représentent moins de 1% des cancers invasifs du sein, constituent un groupe hétérogène de tumeurs définis selon l'organisation mondiale de la santé comme étant un carcinome canalaire infiltrant mais comportant des zones de remaniements métaplasiques de type épidermoïde, à cellules fusiformes, chondroïde, osseux ou mixte. L'histopathologie combinée à l'immunohistochimie permet de poser le diagnostic. Le traitement associe la chirurgie, et la chimiothérapie, la radiothérapie est discutée et l'hormonothérapie n'a pas de place. Leur pronostic est sombre et l'évolution est marquée par les récides locorégionales et les métastases à distance. Nous rapportons 2 cas de carcinome métaplasique du sein dont le diagnostic a été posé par l'histologie complétée par l'immunohistochimie, le traitement a consisté en une mastectomie avec curage axillaire complété par chimiothérapie.

MOTS-CLEFS: Tumeur, sein, histopathologie, immunohistochimie, traitement, pronostic.

1 INTRODUCTION

Les carcinomes métaplasiques du sein sont des tumeurs rares représentant moins de 1% des cancers invasifs du sein [1]. ce sont des tumeurs très hétérogènes pouvant être soit purement épithéliale tel le carcinome épidermoïde, le carcinome adenosquameux, et l'adénocarcinome à différenciation fusocellulaire. Soit mixte a double composante épithéliale et mésenchymateuse, le contingent mesenchymateux peut être cartilagineux ou osseux. A travers ce travail on rapporte 2 cas de carcinome métaplasique du sein et à travers l'analyse des données de littérature, on va essayer de mettre le point sur les différents aspects de ce type de carcinome mammaire.

2 OBSERVATIONS

2.1 OBSERVATION N°1

Mlle B.F âgée de 39ans, sans ATCD pathologiques notables, toujours réglée, consultant pour une masse au niveau du sein gauche apparue il y'a 1 an et a augmenté rapidement de volume. L'examen du sein gauche a révélé la présence d'une énorme tumeur de 15cm de grand axe prenant tout le sein ferme polylobée, adhérente aux 2 plans superficiel et profond avec signes inflammatoires en regard, sans écoulement mamelonnaire [fig1]. L'examen des aires ganglionnaires axillaires et sus claviculaires a objectivé une adénopathie axillaire homolatérale mobile de 1 cm. Le reste de l'examen somatique est sans particularité. la mammographie trouve une opacité intéressant le quadrant infero-interne gauche mal limitée avec épaissement sous cutané [fig2], le complément échographique a montré la présence d'un volumineux processus lésionnelle qui occupe presque la totalité du sein gauche hypoechogène hétérogène, renfermant des micro calcifications, de contours modérément vascularisés au doppler mesurant 13×11cm, avec adénopathie axillaire homolatérale d'environ 1 cm de grand axe [fig3] cet aspect echo-mammographique est classé ACR5. les micro biopsie au trucut ont objectivé un sarcome. Le bilan d'extension incluant la radiographie du thorax, l'échographie hépatique et la scintigraphie osseuse été négatif. la patiente a bénéficié d'une mastectomie gauche [fig4]. l'examen anatomopathologique a objectivé un processus tumoral peu différencié de 19cm e grand axe avec limites saines. Un complément immunohistochimique a été réalisé montrant une absence d'expression des récepteurs hormonaux et de l'HER2, avec des AC anti EMA et des AC anti P63 positifs, et un marquage faible des AC anti AML, l'aspect immunohistochimie été en faveur d'un carcinome métaplasique a cellules fusiformes. la patiente a bénéficié après d'un curage axillaire gauche qui n'a pas montré de localisation ganglionnaire. Puis d'une chimiothérapie. L'évolution avec le recul d'un an a révélé une récurrence pariétale avec métastases osseuses.



Fig. 1. Énorme tumeur prenant tout le sein gauche.

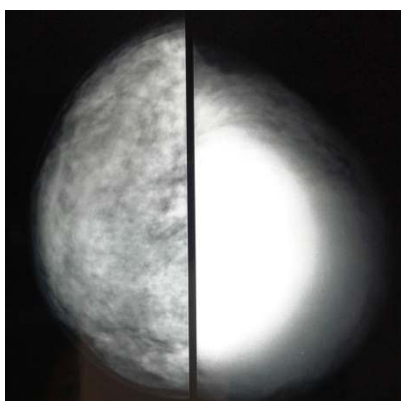


Fig. 2. Mammographie objectivant une opacité intéressant le quadrant infero-interne gauche mal limitée avec épaissement sous cutané



Fig. 3. Échographie mammaire montrant la présence d'un volumineux processus lésionnelle qui occupe presque la totalité du sein gauche hypoéchogène hétérogène, renfermant des micro calcifications, de contours modérément vascularisés au doppler mesurant 13×11cm



Fig. 4. Pièce de mastectomie

2.2 OBSERVATION N°2 :

Mme S.K âgée de 65ans, ménopausée depuis 20ans sans prise de traitement hormonal substitutif de la ménopause, avec antécédents senologiques familiaux (mère décédée par cancer du sein).consulte pour masse mammaire droite évoluant depuis plusieurs années. L'examen du sein droit trouve une masse bourgeonnante ulcérée suintante surinfectée de 12cm de grand axe, prenant tout le sein, sans adénopathies axillaires ou susclaviculaires [fig5]. Le reste de l'examen somatique est sans particularité. La micro biopsie au trucut a montré un adénocarcinome peu différencié ulcérant et infiltrant le tissu cutané, grade III SBR, avec récepteurs hormonaux négatifs,HER2 négatif, avec la présence d'embolies vasculaires. Le bilan d'extension n'a pas objectivé de métastases.la patiente a bénéficié mastectomie radicale gauche élargie au muscle grand pectoral avec curage axillaire. L'examen macroscopique de la pièce de mastectomie montre une tumeur bourgeonnante en surface prenant la région mamelonnaire avec la présence d'une tumeur irrégulière partiellement nécrosée mesurant 12×11×9cm.l'étude histopathologique trouve une prolifération carcinomateuse partiellement nécrosée faite de cordons, travées, cellules isolées (score3),les cellules tumorales présentent des atypies cyto-nucléaires sévères (score3), les figures de mitose sont estimées à 21 par champs. Le stroma est desmoplastique et par place myxoïde avec des rares foyers de différenciation chondroïde, et présence de lymphangite carcinomateuse, sans composante intracanalair, les limites sont saines. L'étude immunohistochimique réalisée montre un marquage positif des cellules tumorales avec l'AC anti CK5/6.l'examen histologique du curage retrouve 16 ganglions réactionnels indemnes de toute prolifération tumorale. Le diagnostic de carcinome métaplasique à différenciation mésenchymateuse chondroïde infiltrant la peau a été retenu.



Fig. 5. *Masse bourgeonnante ulcérée suintante surinfectée de 12cm de grand axe, prenant tout le sein droit.*

3 DISCUSSION

Les carcinomes métaplasiques du sein sont des tumeurs rares représentant moins de 1% des carcinomes mammaires [1]. La classification de l'organisation mondiale de la santé 2003 distingue entre les carcinomes purement épithéliaux (incluant les carcinomes épidermoïdes, l'adénocarcinome avec différenciation fusocellulaire, et le carcinome adenosquameux incluant une composante muco-épidermoïde), et la forme mixte épithéliale et mésenchymateuse comportant le carcinome canalaire avec une métaplasie chondroïde, le carcinome canalaire avec métaplasie osseuse et le carcinosarcome [1-2]. Ces tumeurs surviennent généralement chez des femmes ménopausées avec un âge moyen de 50ans [3]. L'atteinte ganglionnaire est rare [2] ce qui est le cas pour nos deux patientes. Dans ce type de tumeurs vu la composante métaplasique les métastases sont surtout par voie hématogène [3-5]. L'aspect mammographiques est rarement décrit, il apparaît fréquemment comme une opacité circonscrite hyperdense, et des fois il peut apparaître mal limitée avec spiculations, l'aspect calcifié a été décrit également correspondant aux métaplasies osseuses [4]. En conclusion aucun aspect n'est spécifique du carcinome métaplasique, cependant une masse hyperdense sans micro calcifications pourrait suggérer le diagnostic. L'aspect macroscopique est non spécifique, il s'agit d'une tumeur ferme, bien limitée avec une taille tumorale importante variant de 1cm à 18cm [3]. Chez nos 2 patientes les deux tumeurs été de grande taille faisant respectivement 19cm et 12cm de grande axe. La ponction du sein à l'aiguille fine donne des faux négatifs dans plus de 50% des cas [6]. La biopsie chirurgicale et les micro biopsies sont préférées permettent d'établir le diagnostic, le grade histopronostic, et les récepteurs hormonaux de la tumeur [6]. Histologiquement, le carcinome épidermoïde a la même architecture et les caractères cytonucléaires que son similaire qui se développe dans un autre site, se caractérise par une prolifération des cellules malpighienne polygonales reliées par des desmosomes avec ou sans foyers de dyskératose. Le diagnostic ne peut être retenu qu'après avoir éliminé une extension locale d'un carcinome épidermoïde du revêtement cutané en regard ou du mamelon, ou une métastase d'un carcinome épidermoïde à distance [7]. L'adénocarcinome avec métaplasie a cellules fusiformes correspond à un carcinome glandulaire avec des foyers étendus a cellules fusiformes de nature epitheliale. Les adénomes adenosquameux sont faits de 2 contingents épithéliaux malins glandulaires et épidermoïdes. Les carcinomes métaplasiques mixtes sont caractérisés par l'association d'un carcinome infiltrant et des éléments mesenchymateux représentés par des zones de différenciation cartilagineuse, osseuse ou musculaire. Lorsque le contingent mesenchymateux est malin la tumeur est appelée carcinosarcome [8]. Sur la plan immunohistochimique les récepteurs hormonaux ne sont positifs que dans 20% des cas, la surexpression de HER2 est souvent absente. Les carcinomes métaplasiques du sein sont triples négatifs dans 64% a 96% des cas [3-8]. Le Ki67 est souvent positif avec un seuil élevée affirmant ainsi la nature agressive de la tumeur [9]. L'atteinte ganglionnaire est rare et varie entre 6% et 26% des cas [3]. Ce type de tumeurs expriment un ou plusieurs marqueurs de type myoépithélial ou basal (P63, cytokeratine5/6, Ck14, la protéine S100, l'actine), avec une surexpression de l'EGFR [8-9]. Ces tumeurs posent également d'importants problèmes de diagnostic différentiel essentiellement avec les tumeurs phyllodes et le sarcome mammaire primitif. Le traitement n'est toujours pas standardisé, la chirurgie est souvent radicale mais le traitement conservateur peut être proposé pour les petites tumeurs [10]. Dave .G et al a fait une étude rétrospective portée sur 43 patientes porteuses de carcinome métaplasique n'a pas objectivé de différences en matière de survie entre les patientes qui ont bénéficié d'un traitement chirurgical conservateur et celles traitées par mastectomie radicale [11]. La radiothérapie adjuvante est peu indiquée car le traitement chirurgical conservateur est moins fréquent, et les ganglions sont souvent sains. la chimiothérapie standard est non satisfaisante [10]. L'hormonothérapie et l'herceptine n'ont habituellement pas de place vue l'absence habituelle de l'expression des récepteurs hormonaux, et de l'hercept test. La surexpression de l'EGFR (HER1) pourrait

suggérer une réponse favorable de ces tumeurs aux traitements anti HER1. d'autres traitements sont envisageables tel les sels de platine et les inhibiteurs de poly ADP ribose polymérase (PARP) [3-10].

Vu la rareté du carcinome métaplasique, son pronostic est difficile à évaluer. la survie à 5 ans est de 40% [10-11]. Les métastases surviennent souvent au cours des 5 premières années avec une prédilection pour le poumon, le foie, l'os et le cerveau.

4 CONCLUSION

Les carcinomes métaplasiques du sein sont une entité extrêmement rare dont le diagnostic est établi par l'histologie couplée à l'immunohistochimie. Ce sont le plus souvent des tumeurs triples négatives à forte expression de l'EGFR. Le traitement reste toujours non codifié et l'avenir thérapeutique est basé sur une nouvelle approche moléculaire pouvant ainsi modifier la faible contribution des traitements classiques. Le pronostic reste toujours difficile à évaluer vu la rareté de ces tumeurs.

REFERENCES

- [1] BENLEMLIH, Amal, BENDAHO, Mouhcine, ZNATI, Kaoutar, et al. Carcinome métaplasique du sein avec différenciation osseuse extensive: à propos d'un cas. Pan African Medical Journal, 2014, vol. 16, no 1.
- [2] GIRIYAN, Sujata S. et KRUTHI, B. R. Metaplastic Breast Carcinoma-A Case Report with Review of Literature.
- [3] BABAHABIB, Moulay Abdellah, CHENNANA, Adil, HACHI, Aymen, et al. Cancer métaplasique du sein: à propos d'un cas. The Pan African Medical Journal, 2014, vol. 19.
- [4] PATTERSON, Stephanie K., TWOREK, Joseph A., ROUBIDOUX, Marilyn A., et al. Metaplastic carcinoma of the breast: mammographic appearance with pathologic correlation. AJR. American journal of roentgenology, 1997, vol. 169, no 3, p. 709-712.
- [5] CHEN, MIIN-FU. Metaplastic carcinomas of the breast. Journal of surgical oncology, 1999, vol. 71, p. 220-225.
- [6] RIBEIRO-SILVA, Alfredo, LUZZATTO, Felipe, CHANG, Daniel, et al. Limitations of fine-needle aspiration cytology to diagnose metaplastic carcinoma of the breast. Pathology & Oncology Research, 2001, vol. 7, no 4, p. 298-300.
- [7] ALTAF, Fadwa J., MOKHTAR, Ghadeer A., EMAM, Eman, et al. Metaplastic carcinoma of the breast: an immunohistochemical study. Diagnostic pathology, 2014, vol. 9, no 1, p. 139.
- [8] GHANEM, Samia, KHOYAALI, Siham, NACIRI, Sara, et al. Une tumeur rare et distincte du cancer du sein: le carcinosarcome, à propos de huit cas et revue de la littérature. The Pan African Medical Journal, 2013, vol. 14.
- [9] ALTAF, Fadwa J., MOKHTAR, Ghadeer A., EMAM, Eman, et al. Metaplastic carcinoma of the breast: an immunohistochemical study. Diagnostic pathology, 2014, vol. 9, no 1, p. 139.
- [10] CHRAIBI Mariame, ZNATI Kaoutar, EL FATEMI Hind, et al. Carcinome métaplasique du sein. Imagerie de la Femme, 2008, vol. 18, no 4, p. 247-250.
- [11] DAVE, Giatry, COSMATOS, Harry, DO, Tri, et al. Metaplastic carcinoma of the breast: aretrospective review. International Journal of Radiation Oncology Biology Physics, 2006, vol. 64, no 3, p. 771-775.

The Historical Development of Constitutional Islamic Religious Text of the legal status of non-Muslims in Islam

Badre-Eddine EZZITI

University Muhammad ben Abdullah, Faculty of Chariaa, Sais-Fes, Morocco

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This paper examines the question of the historical development of constitutional Islamic religious text of the legal status of non-Muslims in Islam from the beginning of the call of the Prophet up to the modern time. The paper follows and explores the nature of the religious foundations of the Dhimma system by shedding light on the constitutional religious texts that played a big role in the establishment of the legal status of non-Muslims in early Islam. This research based mainly on primary sources, particularly the classical works of Islamic law, but it will refer only to Maliki jurisprudence. This study will not look at the sources of Islamic law from the religious' point of view. Second sources of data will be the secondary sources that are composed of specialized academic literature such as historical books, journal and magazine articles on this subject. This subject will be divided into through two sections. The first section, clarifies concepts such as Ahl al-Dhimma and dhimmis by drawing a picture on the development of the concept of Ahl al-Dhimma in Islamic classical *fiqh*. The second section, analyzes the historical development of the foundational texts that determine the status of non-Muslims in early Islam up to the modern time.

KEYWORDS: Islamic Religious Text, Constitutional, Dhimma, Legal Status, non-Muslims, *ṣaḥīfat al-Madīna*, *al-Shurūt al-'Umarīyah*.

1 INTRODUCTION

At the time of the establishment of the first Muslim state in al-Madīna in 622 CE, the relationship between Muslims and non-Muslims (Jews) living in al-Madīna determined by the so-called *ṣaḥīfat al-Madīna*. Al-Madīna (Yathrib) was a mix of diverse tribes that were totally different religiously and culturally. So the Prophet established the first state in a diverse community, especially of Jews. The framework by which non-Muslims were ruled is through a covenant of protection that was called later, especially after the death of the Prophet, the Dhimma Law. This covenant has been specified explicitly in the primary religious texts of Islam. These Islamic heritage texts have seen many changes during the history from the era of the Prophet up to the modern time. This study addresses how the constitutional Islamic religious texts dealt with this diversity; how it is reflected in historical reality between Muslims and non-Muslims in Muslim countries and to what extent were religious texts able to respond to these challenges of religious diversity in Muslim countries. The purpose is to understand the nature of the religious text by which Muslim rulers rule non-Muslims in the first centuries. To find out this issue, it will be illustrated through two sections. The first section, clarifies concepts such as *al-Dhimma*, *Ahl al-Dhimma* and *dhimmis* by drawing a picture on the development of the concept of *Ahl al-Dhimma* in Islamic classical *fiqh*. The second analyzes the historical development of the foundational texts that determine the status of non-Muslims in the Islamic legal system.

2 CLARIFYING THE CONCEPTS

Let us first start by quoting here a rule in classical *fiqh*, concerning people living in a Muslim country, whether they are Muslims or not, that states, "if Islamic law is a religion and law for Muslims, it is a law for non-Muslims as long as they live in

Dar al-Islam".¹ Based on this rule, the political Islamic jurisprudence classifies non-Muslims into two groups: one belongs to *Dar al-Islam*² and the other group belongs to *Dar al-Harb*.³ There is also another division for those who belong to *Dar al-Islam*, which they were divided into two categories. The first one is foreigners (not indigenous people of a Muslim country), but they come to a Muslim country for some reasons as messengers, merchants, visitors, or students (*musta'manin*). The applicable law for those is the safety contract (*'Aqd al-Amān*) that will be explained below. The second is *Ahālī* or non-Muslims who are indigenous people of the state and are living permanently in a Muslim country. They are regulated under the contract of *al-Dhimma* (*'Aqd al-Dhimma*)

3 CLARIFYING THE CONCEPT OF THE SAFETY CONTRACT ('AQD AL-AMĀN)

The safety contract (*'Aqd al-Amān*), in classical *fiqh*, is a temporary contract, which regulates the relationship between Muslim countries and non-Muslims who want to stay for a limited period in a Muslim country for any legitimate reason such as trade, visiting relatives, treatment and hospitalizations, learning, teaching, tourism or for any other purpose.⁴ This contract provides for the owner (*Musta'man*) limited rights including the rights to protection and security (assurance of safety) for his life, honor and property and also the right of temporary residence and movement.⁵ According to Maliki *fiqh*, the only one who has the right to issue this contract is the head of state (Imam) and does not allow to anyone to issue it.⁶ In harmonization of the safety contract with the contemporary context and make it fit today's context, it can be argued that it is quite similar to the modern system of a visa in the international relations today.

4 CLARIFYING THE CONCEPT OF DHIMMA, AHL AL-DHIMMA AND DHIMMIS

The word *dhimma* as it is specified in the famous Arabic dictionaries and also in Islamic Law and carried on in practice means protection. According to the classical dictionary *Lisan al-'Arab*, the term of *dhimma* is derived from the Arabic word "الذمة", literally meaning "covenant, contract (*'Aqd*), protection, guarantee, safety, custody, sanctity and duty".⁷ *Dhimmis* or *Ahl al-Dhimma* is the name applied by classical Muslim jurists to indigenous non-Muslims from *Ahl al-Kitāb*, and also to who enter under such rule as Zoroastrians (*Majūs*), living in the Islamic territory permanently.⁸ Therefore, it is called *dhimmis* "*Ahl al'Ahd*" (people of the covenant).⁹ The term means that they are in custody of Allah and His Messenger (Prophet Muhammad) and are not in the custody of any one of people.¹⁰ The Qur'an mentions this meaning of the term of *dhimma* twice in Surah 9 (*al-Taubah*) the verses 8 and 10 in the context of speaking about the relationship between Muslims and *mushrikūn* in the case in which *mushrikūn* are the victors. The verses say that "With regard to believer, they respect not the ties, either of kinship or of covenant! It is they who are the transgressors".¹¹ The word *dhimma* in these verses is used in the meaning of '*ahd* (covenant). Thus, the term of *dhimma* was a vocabulary that was used in the speech of Arabs and in practice before Islam, where the protection and the care of neighborhood were one of the key personal attributes and the requirements of magnanimity in Arab community.¹²

¹ Abd al- Karim Zaydan, *Ahkam al-Dmmin wa-al Musta'min fi Dar al-Islam* (Beirut: Maktabat al-9uds, 1982), 5.

² *Dar al-Islam* is used by classical *fiqh* to describe a Land that is under the rule of Muslims, where Muslim rulers provide a security to people who are living there whether they are Muslim or are not. In contrast, *dar al-Harb* is used by classical *fiqh* to describe non-Muslim's lands that were under the rule of non-Muslim suggesting that all such lands should be considered as at war until it come under the rule of Muslims. For these classifications see the book by 'Abd al-Wahhab, Khalaf, *Islamic politics [al-Siyāsā al-Shar'īya]* (Cairo: 1932), 69.

³ There is nowhere such classification explicitly in the Quran, and neither was it known in the time of the Prophet or His companions. It was developed by classical *fiqh* later according to their political and social considerations.

⁴ Abd al- Karim Zaydan, *Ahkam al-Dmmin wa-al Musta'min fi Dar al-Islam*, 46.

⁵ Abd al-Rāhmān al-Najdi, *Ahkām 'aqd al-Amān wa-al Musta'min fi al-Islam* (Riyadh: 1990), 105.

⁶ Abd al- Karim Zaydan, *Ahkam al-Dmmin wa-al Musta'min fi Dar al-Islam*, 49.

⁷ Muhammad Ibn Manzur, *Lisan al-'Arab [the Arab tongue]* (Beirut, 1990) Volume, 15/ 111.

⁸ Muhammad ibn Abu Bakr ibn Qayyim al-Jawziyyah, *Ahkam Ahl al-Dhimma*, 78.

⁹ Abd al-Wahab El-Messiri, *Jews, Judaism and Zionism encyclopedia*. Volume 4/325.

¹⁰ *Ibid*.

¹¹ (لا يرقبون في مؤمن إلا ولائمة، وأولئك هم المعتدون. الآية 8.)

¹² Magdy Girgis, *Coptic Judiciary in Egypt*, 5

5 THE STABILITY OF THIS TERM IN ISLAMIC LEGAL LITERATURE TO REFER TO NON-MUSLIMS

Tracking the root of the term and its origin, there is no use of this expression to refer to non-Muslims living in a Muslim territory permanently in the Qur'an. However, the Qur'an used other expressions to refer to non-Muslims such as *Ahl al-Kitāb*, *al-Nasārā wa al-Yahūd*, pagans and infidels.¹³ Regarding *Hadiths*, the Prophet used this expression in his many sayings (*hadiths*), such as "Whoever hurt a *dhimmi* has hurt me, and I will dispute with him on the Day of Judgment" (من أذى ذمياً فقد أذى وأنا خصمه يوم القيامة).¹⁴ And also in farewell speech (*Jabal 'Arafat*), "I command you to deal with *Ahl al-Dhimma* well (to do the good with them because they are in my custody)" ("أوصيكم بأهل ذمتي خيراً").¹⁵ Through this descriptive formula that was used by the Prophet in these *Hadiths*, the term of *Ahl al-Dhimma* became a vocabulary in Muslim communication to address non-Muslims whether in practice, or in the books of *fiqh*. Then, at a later stage, the expression developed during the classical period of Islamic jurists and thus, *Aqd al-Dhimma* became a synonym for the term *al-Shurūt al-'Umarīyah*.¹⁶ Consequently, it stabilized in the Islamic idiosyncratic and legal construction and served as a terminology to refer to non-Muslims in a Muslim country. This led to talk about the foundational texts to the legal status of Jews to know the history of the real start of the implementation of the *dhimma* system.

6 THE LEGAL STATUS OF NON-MUSLIMS IN ISLAMIC LEGAL HERITAGE

The *dhimma* system drives most its characteristic form from a document known as *al-Shurūt al-'Umarīyya*, "a kind of bilateral contract in which non-Muslims agree to a host of discriminatory regulations in return for protection".¹⁷

6.1 THE ESTABLISHMENT OF THE SYSTEM IN THE TIME OF THE PROPHET

The basic center of the call that was launched by the Prophet of Islam was a theistic attempt in which it has focused on the argument of the belief in one God as creator of the universe.¹⁸ So, during his time in Mecca before his migration to Medina, the principle of the belief of the revelation of the book was only a criterion that divided people to two different categories; idolaters that were called (*mushrikūn*) and monotheistic (*mu'aminūn*) including Muslim, Jews and Christians.¹⁹ In this regard, when the Prophet was forced to move to Medina, the population of Medina was a mix of many different tribes, especially of Jews.²⁰ He immediately became founder of religious-political community, so he rapidly started combining all communities that were living there to form one community, which is he called *Ummah*.²¹ In this respect, he held a public treaty with Muslims on one hand and with Jews on the other. This public treaty is known as a Constitution of Medina or in Arabic *Ṣaḥīfat al-Madīna*.²² The principal motive that encouraged the Prophet to do so is that he was believed that the theistic experiment is a way of rapprochement with the Jews of Medina to fight against the Quraysh of Mecca and also as pillar of building a new society as one community.²³ The purpose of the Prophet was to establish a new society and put the rules of an Islamic state based primarily on the concept of *ummah*, which has a political and civil nature and also on unifying not based on religion, dogma, or tribe.²⁴ *Ṣaḥīfat al-Madīna* contains many principles of new community regulations and organizations. Among these principles that are related to this section's argument are the statements about the position of Jews in Medina in this new community. It was stated in clause 25 that "The Jews of Banu Awf (non-Muslim minorities) shall be considered one community along with the

¹³ *Ibid.*

¹⁴ Reported by Al-Khatib with authentic chain of narrations and also by At -Tabarani in *Al-Awsat* with good chain of narrators.

¹⁵ Abd al-Wahab El-Messiri, *Jews, Judaism and Zionism encyclopedia*, V.4/325.

¹⁶ *Ibid.*

¹⁷ Mark R. Cohen, *Under Crescent and Cross: the Jews in the Middle Ages* (New Jersey: 1994), 54.

¹⁸ Hassān al-Zayn, *al-Awdā' al-Qānuniyya*, 6.

¹⁹ *ibid*

²⁰ The historical sources report that Medina was filled with Jews belonging to several tribes, when the Prophet came to there. In addition, it was strong relations between Jews and Arab tribes such as Khazraj and Aws until those become familiar with the Jewish ideas. See, for example, Hassan Ibrahim Hassan, *Tarikh al-Islam*, V. 1 (Beirut: Dar al-Jil, 1991), 79.

²¹ See the document of Medina in the book *Muhammad Rasul Allah* by Muhammad Reda (Beirut: 2006), 157-159.

²² And this time Medina became consisting three groups: Immigrants, supporters and Jews. See, Hassan Ibrahim Hassan, *Tarikh al-Islam*, V. 1, 85.

²³ Hassan Ibrahim Hassan, *Tarikh al-Islam*, V. 1, 88.

²⁴ Ahmed Sha'ibi, "Document of Medina: the Content and Significance", published by the nation book, volume 110, 2006, 87.

Muslims, and they have their religion and the Muslims have their religion except those behave unjustly and sinfully”,²⁵ and in clauses 1 and 2, it was stated that “the believers and the Muslims of the Quraysh and Yathrib and those who shall follow them and fight along with them are/form one community/nation”.²⁶ It was also stated in clause 20 that “the Jews shaped one community along with the believers and the Jews who follow us have the right to receive help and assistance from Muslims as long as they (Jews) do not work against the Muslims or provide aid to the enemies of the Muslims”.²⁷ *Sahīfat al-Madina* identified the members who composed what was termed one community, which are believers of the new religion and who follow and join them and fight with them such as Bedouins, hypocrites and Jews. The first clause states that this document applies to its original parties and who follow them without specification of a group over the other. This principle is repeated again in the clause 16 pointing to the Jews in particular. It was stated that “the Jews who follow us have the same right of protection and also the right to receive help and assistance from us (state)”.²⁸ *Sahīfat al-Madina* shows that the political community, which was created by the Prophet, was a contractual community and varied in religious affiliation. *Al-Sahīfat* is not only announced that all tribes in Yathrib are one community, but it explicitly declared that the Jews form one community with believers in the clauses from 25 until 35.²⁹ Therefore, the Jews formed with Muslims a community in a political sense and not in a religious sense. In this sense, this new community was a nation in a political sense and two nations in a religious sense. In addition to that the clauses of *al-Sahīfat* did not prevent Jews from participating in the defense of the state in case of an attack on the state. It was stated in the clause 54, “The Muslims and the Jews shall be jointly responsible to defend (the state of) Madina against any outside attack”.³⁰ On this basis, *Sahīfat al-Madina* is the first constitutional text that set up the basic guidelines of the relationship between Jews and Muslims in one community. It was able to combine all communities that were in Yathrib according to a new vision based mainly on the concept of ummah in a political sense not in a religious sense. However, some Jews of Yathrib did not respect these principles, where it appeared the first attempts of the violations of the content of *al-Sahīfat* in the aftermath of the Battle of Badr.

Following the Battle of Badr³¹ it appeared some members of the Jews of Medina indicated a lack of commitment, and thus an end of the agreement with them. They set up a secret relationship with the Quraysh to kill the Prophet Mohammad.³² The plot hatched by the Jews of Qaynuqa’ in collaboration with the Quraysh created a kind of caution and suspicion among Muslims.³³ Later, this tribe received the first blow were forced to leave Medina.³⁴ This was followed by a series of events starting with the defeat of Muslim military in the battle of *Uhud*, and ending with the battle of Khaybar, which was a victory of Muslim military in the year 6 Hijri.³⁵ However, in spite of that, the Prophet did not change his dealing with Jews. Among examples that show these is his dealing with the Jews of Khaybar, where he returned all their synagogues and did not force them to convert to Islam, but he signed with them a covenant of peace in 628 AD.³⁶ Hence, these events led in the end to bring about a change in the constitutive text of legal status of Jews. There is a verse determining a new status for Jews. In the verse 29 in Surah 9 (*al-Taubah*), Allah said: “Fight against those who believe not in Allah, nor in the last day, nor forbid that which has been forbidden by Allah and His Messenger and those who acknowledge not the religion of truth among the people of the Scripture, until they pay the *jiziyah* with willing submission, and feel themselves subdued”. This verse was a significant turning point in the legal status of Jews in the first era of Islam. It provides new procedures towards the status of non-Muslims, where it was adding the *jiziyah*. It was the first practical application of this procedure with the Christians of Najran in 631 AD.³⁷ In fact,

²⁵ *Ibid.*, 44.

²⁶ *Ibid.*, 41.

²⁷ Muhammad Tahir-ul-Qadr, *The Constitution of Medina: 63 Constitutional Articles*, (London: Minhaj-ul-Quran Publications, 2012), 7.

²⁸ Ahmed Sha’ibi, *Document of Medina*, 43.

²⁹ *Ibid.*, 88.

³⁰ Muhammad Tahir-ul-Qadr, *The Constitution of Medina*, 15.

³¹ This Battle was in 624 AD as the first military war between Muslims and Quraysh.

³² Wasfi al-Rahman Mubaarakfoori, *Sealed Nectar (الرحيق المختوم) in the Prophet's Biography* (Qatar: 2007), 238.

³³ Hassān al-Zayn, *al-Awdā’ al-Qānuniyya*, 9.

³⁴ *Ibid.*

³⁵ Hassān al-Zayn, *al-Awdā’ al-Qānuniyya*, 9.

³⁶ *Ibid.*, and also the book of *History of Jews in Arab countries* by Israel Welfensohn, 157-174.

³⁷ The books of Prophet’s biography tell us about Najran delegation. This delegation came to prophet in Medina in the context of response to a letter sent by him inviting them to Islam. After a long conversation between them and the Prophet about his message and also about his opinion about Jesus, they refused to accept Islam. Thus, they wanted a peace treaty, promising to accept all what they agreed on. They signed a peace agreement in return of paying *jiziyah*.

صفى الرحمن المباركفوري ، الرحيق المختوم في سيرة الرسول، 51-450.

those texts genuinely reflect the early Islamic attitude towards Jews. It is appropriate to quote here Mark R. Cohen who summarizes the situation of Jews with the Prophet. Cohen points out that

Muhammad established another precedent for religious toleration in the Constitution of Medina, his compact with the Arabs and some of the Jews of Medina, which granted the Jews autonomy to the latter. True, Muhammad later fiercely repressed the Jews in reaction to their enmity and ridicule, but this kind of conduct was not the norm in Muhammad's treatment of non-Muslims. His treaties with the Jewish or Christian inhabitants of various other oases and towns in Arabia guaranteed them safety in return of tribute, a policy that endured.³⁸

These new relations will be organized in independent treaties that will take later the name of the contract of *al-Dhimma* or the contract of *al-Sulh* (reconciliation). All the contracts that were signed by the Prophet with the Jews and Christian (the famous one is Najran treaty in the year 10 Hijri -631AD) and also the letters that were sent to non-Muslims reflected this new legal status. Therefore, *'Aqd al-Dhimma* has emerged and set up in the time of the Prophet.

6.2 THE SYSTEM OF DHIMMA AND THE BIG CHANGE (THE ORIGIN OF THE AL-SHURŪT AL-'UMARĪYAH)

It is important to start by quoting here Professor Cohen in his describing *al-Shurūt al-'Umarīyya*. He states that *al-Shurūt al-'Umarīyya* is "itself a product of cumulative development based on Muhammad's practice, the exigencies of [Arab] conquests, and the influence of Christian-Roman Jewry Law".³⁹ The professor Hassan al-Zayn states a set of factors that led to the emergence of *al-Shurūt al-'Umarīyya* in its final form in classical Islamic Jurisprudence.⁴⁰ It is also important to bring here two versions of the pact of 'Umar; one exists in the historians and traditions sources and another is in the classical jurisprudence. Through following the track of this document in medieval classical Islamic writings, it has been found that there are two main dates in the development of this document, and also there are two versions of this document which vary in its content. The first Muslim historian who reported the pact of 'Umar is Ya'qubi (284 AH, 898 A.D) in his book *History*⁴¹ in a brief formula about 250 years of the date of *'uhda al-'Umarīyah*/the pact of 'Umar (15 AH). Then he was followed by several historians such as al-Tabari. From a historical perspective, the text of al-Tabari is considered the longest and the best one among versions in the historian sources.⁴² The Document, in the version as exists in historical books, is a written charter by 'Umar b. al-Khattāb to people of Jerusalem for a guaranteed of protection and allows them to practice their religions freely. In this version, there is no mention of any derogatory conditions and restrictions, especially certain conditions, as will appear later in the version of the Islamic jurists and also there is no mentioning to *jiziyah*.⁴³ The version do exist in *Hadiths* sources is similar to the historian sources; especially they earmark a significant part to the provisions of *dhimmis* such as Ibn Hibban (965 A.D)⁴⁴, in his book *الثقات* (Trustworthy), and Ibn 'Asākir (1177 A.D) in his book *History of Damascus*.⁴⁵

Unlike the historian and tradition sources, the medieval Islamic jurisprudence sources refer to a different version of *'Uhdah al-'Umarīyah*. They narrate a written answer to *al-'Uhdah al-'Umarīyah* (in particular the letter from the Christians Jerusalem to 'Umar) under the name of *al-Shurūt al-'Umarīyah*. The first time when this version was appeared in jurisprudential sources⁴⁶ was in the book *Ahkam Ahl al-Milal* by al-Khallal Abi Bakr Ahmed al-Baghdadi al-Hanbali (311 AH, 935 AD). Then was followed in the second half of the fourth century Hijri, by another book by Abi al-Shaykh (369 HA, 941 AD) under title *Shurūt 'Umar* or *Shurūt al-Dhimmis*.⁴⁷ After that *al-Shurūt al-'Umarīyah* became famous among Classical jurists. Among jurists who dealt directly with *al-Shurūt al-'Umarīyah* Abi al-Qasim al-Tabari (418 AH, 1019 AD) in his works entitled *the Explanation of the Kitāb of 'Umar*. In addition, in the year 458 Hijri, there was another book entitled *Shurūt Ahl al-Dhimma* of al-Qadi Abi Ya'la (458AH, 1066 AD).⁴⁸ Since the most of these books are still in manuscript and not print, the oldest printed book that contains *al-Shurūt*

³⁸ Mark R. Cohen, *Under Crescent and Cross*, 55.

³⁹ Mark b. Cohen, *Under Crescent and Cross*, 57.

⁴⁰ Hassan al-Zayn, *al-Awdā' al-Qānuniyya*, 11-26.

⁴¹ Ya'coubi, *The history of Ya'coubi* (Beirut: 2010), 37.

⁴² Ramadan Isaac Azayan "Umar's pact Narratives: Documental Study", *Journal of the Islamic University (Islamic Studies Series) Volume XIV*, issue 2 (June: 2006)185.

⁴³ See the text in the *History of Ya'coubi*, 37.

⁴⁴ Muhammad Ibn Hibban, *الثقات* (Trustworthy) (The Ministry of Knowledge high for the government of India: 1978), 213.

⁴⁵ Ramadan Isaac Azayan 'Umar's pact Narratives, 176.

⁴⁶ Abd al-Rahman Kahila, *The Covenant of Umar: A New Reading* (Cairo: 1996), 55.

⁴⁷ *Ibid.*, 56.

⁴⁸ *Ibid.*, 57.

al-'Umarīyah is the book of the Andalusian jurist Ibn Hazm (456 AH, d 1064) in his *Kitāb al-Muhallā*,⁴⁹ followed by Ibn Qayyim al-Jawziyyah (d. 1350) in his book *Ahkām ahl al-Dhimma*.

With respect to the application of *al-Shurūt al-'Umarīyah*, it goes back to the year 700 AH, 1302 AD, where was mentioned officially and practically to *al-Shurūt al-'Umarīyah* and the reference to this *al-Shurūt* became usual thing by states and was applied.⁵⁰ Abd al-Rahman Ibn Khaldūn reports a story showing that the first time it was mentioned officially and practically to *al-Shurūt al-'Umarīyah* was in a meeting consists of religious 'Ulama, the Christian Patriarch and the head of Jewish community, which was convened by the Sultan al-Nasir Muhammad b. Qalwun in Egypt, in 1301.⁵¹

In terms of content, this document addresses the rules that regulate the relationship between *dhimmis* and Muslims. Generally, it states the conditions and restrictions that *al-Dhimmi*s should follow towards Islam and Muslims. Thus, *al-Shurūt al-'Umarīyah* centers around the stipulations which the Christians of Jerusalem imposed on themselves. It addresses the stipulations in a formal letter to 'Umar b. al-Khattāb requesting from him "a guarantee security for adherence to a set of seemingly humiliating conditions"⁵² such as "not to build in their cities or in their vicinity new churches, hermitages, monasteries, or monk's cells, not to renew the churches that have fallen into ruin or which are located in the quarters of Muslims and adhering their dress such as binding the *zunnār* (a distinctive belt) around their waists and not to teach their children the Qur'an".⁵³ After The Caliph 'Umar b. al-Khattāb received this letter, he wrote to 'Abd al-Rahmān B. Ghanm commanding him to sign what they asked with the addition of the two amendments: "They shall not buy anyone made prisoner by the Muslims", and "whoever strikes a Muslim which deliberate intent shall forfeit the protection of this pact".⁵⁴ 'Abd al-Rahmān b. Ghanm implemented 'Umar's recommendation and applied these conditions also to the Christians of Jerusalem and of all the cities in the Levant.⁵⁵ The reason that led Medieval Islamic jurisprudence to adopt this document and based on in the field of codifying the relationship between the Islamic state and non-Muslim citizens were the political considerations in their time.

6.3 THE CHANGING STATUS OF AHL AL-DHIMMA IN THE ISLAMIC CONTEMPORARY TEXTS

As mentioned above, the development of the *dhimma* system was not only a product of religious considerations. But it was caused by certain circumstances related to intellectual and political conflict at that time; sometimes with the Byzantines and sometimes with Crusaders.⁵⁶ Based on this idea, today, especially with the emergence of the concept of liberal citizenship, it "raised many problems by critics of the *dhimma* system, notably the unequal rights and duties it grants Muslims and non-Muslims".⁵⁷ This helped several Muslim jurists and intellectuals in attempting to rethink in classical *dhimma* law and to rewrite a new *fiqh* that deals with the issue of *Ahl al-Dhimma* in today's context. They discussed many concepts, which do exist in classical *fiqh* such as the concept of *Ahl al-Dhimma*, citizenship, *jiziyah* and also the pact of 'Umar which forms the basis of the *dhimma* system for jurists. Thus, they have "advanced the concept of "*muwāṭana*" as an authentically Islamic solution to the problems".⁵⁸ Their attempting is based on a new reading of the Constitution of Medina (*Sahīfat al-Madīna*) ratified between

⁴⁹ *Ibid.*, 58.

⁵⁰ *Ibid.*, 61.

⁵¹ The story tells that, in the year 1301, when a vizier from al-Maghreb, in his way to al-Haj, arrived to Egypt and saw the status of *dhimmis* and on what they are of luxury and what they have achieved of senior positions in Egypt, he outraged at this status of local *dhimmis* and condemn what he saw. This strong reaction of vizier toward the status of *dhimmis* in Egypt put the Sultan in an embarrassing position. Thus he ordered to convene a meeting attended by religious representatives of three monotheistic faiths. They discussed the status of *dhimmis* in light of the previous Muslim treaties, where in the end they agreed on a set of restrictions that reported in *al-Shurūt al-'Umarīyah*. On behalf of their communities, the heads of Jews and Christian committed themselves to adhere to the contents of this document and not violate that. It was sent this agreement to all Egyptian and Levantine states to apply all restrictions of *al-Shurūt al-'Umarīyah* without exception. Ibn Khaldūn (d. 1406), *Kitāb al-'ibar* [Tarikh ibn Khaldūn] (Beirut: Dar al-Fikr, 2000), 476-77.

⁵² Mark b. Cohen, "What was the Pact of 'Umar? Literally Historical Studies", *JSAI* 23 (1999), 103.

⁵³ *Ibid.*, 107.

⁵⁴ *Ibid.*, 108.

⁵⁵ Ibn Qayyim al-Jawziyyah, *Ahkām Ahl al-Dhimma*, 1109.

⁵⁶ Hassān al-Zayn, *al-Awdā' al-Qānuniyya*, 22.

⁵⁷ David H. Warren and Christine Gilmore, "Rethinking neo-Salafism through an Emerging Fiqh of Citizenship: The Changing Status of Minorities in the Discourse of Yusuf al-Qaradawi and the 'School of the Middle Way'", *New Middle Eastern Studies*, issue 2, (29 October 2012), 2.

⁵⁸ *Ibid.*

the Prophet and non-Muslims in the first year of Hijra “as a potential framework for managing a heterogeneous society, in spite of its apparent abrogation under the rules of traditional jurisprudence”.⁵⁹ When many of Muslim thinkers (al-Qaradawi, Fahmi Howaidi, Salim al-‘Aawa, Rashid Ghannouchi) examined the contents of Document of Medina, they found that the people of book were enjoyed the rights of full citizenship in accordance with the Document of Medina. They were also practicing their worship freely, providing advice to the Muslims, and cooperating with them to protect their state from harm and danger, each in his position to carry burdens.⁶⁰ Based on this, the concept of *dhimma* is not inconsistent with the concept of citizenship. This was confirmed by Rashid Ghannouchi who said that citizenship is above all differences of national, gender, and language and other differences that established between humans. He also confirmed that the principle of equality of citizens in Islamic state is fixed, when the rights and duties of Muslim do not differ from rights of non-Muslims except in relation to creed. In the same direction, Fahmi Howaidi went on by providing several evidences for his claim which among them in the document of Medina. ⁶¹ For Wahba al-Zhili, the citizenship required in Islam the availability of two basics, first: the freedom and the lack of the tyranny of ruler, the second is the availability of equality between citizens in rights and duties regardless of religion, creed or custom.⁶² For Ahmed al-Sha’ibi in his book *The Document of Medina*, “the basis of citizenship for non-Muslims is loyalty to Islamic state through the covenant, because the right of citizenship does not require the unity of faith or creed or the unity of race and this corresponds to the clauses of the document of Madina.”⁶³ Based on the concept of liberal citizenship, modern scholars criticize other concepts in the *dhimma* system as the concepts of *al-Dhimma* and *jiziyah*. For al-Qaradawi the concept of *al-Dhimma* is not important. In his article written in 1955, “*the rights of non-Muslim minority*”, he argues that there is no need to adhere to the concept *Ahl al-Dhimma* that harm Christians brothers in Egypt and in the Arab and Muslim countries, who mingle with Muslims. He justifies that it is not of pillars of Islam that God obligate us to worship Him through it and ‘Umar b. Khattāb deleted the word *jiziyah* although it is mentioned in the Qur’an.⁶⁴ However, in another article of al-Qaradawi *the Nation and National-Belonging in the Light of Doctrinal Foundations and the Purposes of Sharia*, he “went one step farther by shifting away from the *dhimma* model towards a regime of equal citizenship”.⁶⁵ Fahmi Howaidi suggests that the concept of *Ahl al-Dhimma* become now more descriptions need to be reviewed and revised.⁶⁶ In another point, Muhammad al-Ghazali (d.1996) in his book *Intolerance and Tolerance between Christianity and Islam*, denies the existence of *al-Shurūt al-‘Umarīyah* arguing that he searched on the origin of these *al-Shurūt* in historical, biography and Islamic books, but he did not find it at all and says that it is bogus and forged.⁶⁷ This is also the case for Kahila who threw the responsibility on scholars in creating this *al-Shurūt*.⁶⁸ Through this attempt at reading of the Islamic contemporary jurisprudential attitude across a range of contemporary books, it is clear that there is a new change in the legal status of *dhimmis*. This is big evidence that indicates that *fiqh* has nothing to do with religious factors, but it is product of reality when it is born. As for what Jews have suffered from insults and humiliation in Islamic states because of *dhimma*, there is no responsibility for this in Islam, but the scholars and rulers who are the responsible for this.

7 DISCUSSIONS

The Constitutional religious text has seen many changes over the centuries. In terms of content, we can notice that the content of the first text is very different from the following religious text, especially the text that exists in classical Islamic *fiqh*. Legally, the difference between the contents of *al-Shurūt al-‘Umarīyah* and the peace treaties in the time of the Prophet and his successors clearly explains the strength of the change. The tone of contempt and various abuses that were used in *al-Shurūt al-‘Umarīyah* indicate to a fundamental change in the legal status of *Ahl al-Dhimma*.⁶⁹ This document, legally, served as a key foundational text in the legal formulation of *dhimmis* status during the period of Islamic classical *fiqh* and, in practice, as a main

⁵⁹ *Ibid.*, 1.

⁶⁰ Abd al-Wahab El-Messiri, *Jews, Judaism and Zionism encyclopedia*, volume 4/329.

⁶¹ Fahmi Howaidi, *Citizens not Dhimmis* (Cairo: Dar al-Shuru9, 1999), 110.

⁶² Wahba al-Zhili, *The Concept of Citizenship in the Islamic Perspective*, *Islamiyat*, http://www.islameiat.com/Pages/Subjects/Default.aspx?id=15181&cat_id=107. 2 October 2012. Accessed 11/3/2014.

⁶³ Ahmed al-Sha’ibi, ‘Document of Medina: the Content and Significance’, 68.

⁶⁴ Shaykh Yusuf al-Qaradawi, “the Rights of non-Muslim Minority”, *the Journal of al-Tawhid*, issue 84, 1955.

⁶⁵ David H. Warren and Christine Gilmore, “Rethinking neo-Salafism”, 5.

⁶⁶ Fahmi Howaidi, *Citizens not Dhimmis*, 110

⁶⁷ Muhammad al-Ghazali, *Intolerance and tolerance between Christianity and Islam* (Cairo: 2000), 45.

⁶⁸ Abd al-Rahman Kahilah, *the Pact of ‘Umar*, 53.

⁶⁹ *Ibid.*, 284.

source of any arbitrary actions towards *Ahl al-Dhimma* whenever there are political reasons calling for it. These conditions, which a number of researchers⁷⁰ see that, were decided in the 'Abbasid reign⁷¹ and were attributed to the Caliph 'Umar to take a legal force. Unlike "*Shurūt al 'Umarīyah*", all these documents, *Ṣaḥīfat al-Madīna*, the Qur'an, and also the peace treaty of the Prophet with the Christian of Najran 10 Hijri are free from conditions and constraints except for the fact that they had to pay *jizya* that there is not mention to it in *ṣaḥīfat al-Madina*. They focused on the protection of religious freedom, the protection of properties and the protection of lives. However, the content of what has been called "*Shurūt al 'Umarīyah*" contradicts the text and spirit of the previous texts. This calls into question the accuracy, truthfulness, and the nature of this document. It also led to consider this document is only a result of the diligence of jurists who attributed it to 'Umar b. Khattāb to take a legal force. On the other hand, generally, jurisprudence is only a human action that is subjected to the reality factors in which it is influenced by economic, political, social considerations and therefore is not obligated for all followed ages as *al-Shurūt al-'Umarīyah*.

Furthermore, as we have seen, the signs of the system of *dhimma* were established in the Prophet's time, where it was to a large extent a product of peace treaties and letters which the Prophet signed or sent to inhabitants of areas that were conquered or made peace with him. These treaties and letters led, in the end, to the emergence of the expression of '*Aqd or Ahd al Dhimma*'.⁷² Following the time of the Prophet, the series of many political considerations played a big role in bringing about change in the *dhimma* system and push it in a new different trend during the first periods of the Islamic conquests.⁷³ This shift in the legal *dhimma* system peaked which caused the emergence the so-called '*ahd 'Umar* or *al-Shurūt al-'Umarīyah* (stipulations of 'Umar), where it imposes on *dhimmis* a case of hostility and ill-treatment.⁷⁴ Thus, it is important to note that the variety of these Islamic religious texts came as a result of the development of the social and political circumstances of non-Muslims. It started from the time of the Prophet to His successors, and the historical events, which followed.

8 CONCLUSION

The framework by which Muslims govern their minorities is through a system called *dhimma*. As we have seen through this study, the paper explores the question of the historical development of constitutional text of the legal status of non-Muslims in Islam from the beginning of the call of the Prophet up to the modern time. It examines the history of the emergence of the first foundational texts that played a significant role in the establishment of the legal status of Jews. Through the study, it became clear that this legal status was established in the reign of the Prophet and the constitutional text in the beginning tried to create an integrated society composing of religious groups, races and tribes. Because the Jews were composed a large proportion of the population in Medina, this text considered them indigenous citizens in which they was forming one nation with Muslims. All within the *ummah* are equally protected and all are able to give protection to other members, so that complete solidarity with everyone in the dual role of protector and protected is assured for all. The constitutional religious text has changed over time. This study illustrates how the status was changed after the emergence of several political factors between Jews and Muslims that led to come down the first verse imposing *jiziyah*, which the first application of it with Najran Christians in 631 AD. Following the death of Prophet, the study mentions to some factors that led to emerge the third constitutional text (the pact of 'Umar) that Islamic jurisprudence based on in codifying the legal status of Jews. The study discusses the versions showing the differences of the content of these versions in Islamic legal heritage arguing that this text is only a result of the diligence (*ijtihad*) of jurists who attributed it to 'Umar b. Khattāb to take a legal force. For the contemporary *fiqh*, this study shows the attempts of modern scholars to create a new understanding to the *dhimma* system by referring to the Document of Medina as a model of dealing with the heterogeneity and diversity does exist in Muslim communities.

⁷⁰ Mark R. Cohen, Hassan al-Zin, Abd al-Rahman Kahila

⁷¹ *Ibid.*

⁷² Hassān al-Zayn, *al-Awdā' al-Qānuniyya*, 284.

⁷³ *Ibid.*

⁷⁴ *Ibid.*, 22.

REFERENCES

- [1] Al-Najdi, Abd al-Rahmān. *Ahkām 'aqd al-Amān wa-al Musta'min fi al-Islam*. Riyad: 1990.
- [2] Al-Ghazali, Muhammad. *Intolerance and tolerance between Christianity and Islam*. Cairo: 2000.
- [3] Al-Qaradawi, Yusuf. "The Rights of non-Muslim Minority." *The Journal of al-Tawhid* 84 (1955).
- [4] Al-Zayn, Hassān. *al-Awdā' al-Qānuniyya Li al-Nasārā wa' al-Yahud fi al-Diyar al-Islamiyya hattā al-Fath al-'Uthmani* [the Legal Conditions of the Christians and Jews in Islamic Lands up to the Ottoman Conquests]. Beirut, t, 1988.
- [5] Al-Zhili, Wahba. "The Concept of Citizenship in the Islamic Perspective." *Islamiyat* (2 October 2012). http://www.islameiat.com/Pages/Subjects/Default.aspx?id=15181&cat_id=107 (accessed April 18, 2016).
- [6] Cohen, Mark R. *Under Crescent and Cross: the Jews in the Middle Ages*. New Jersey: 1994.
- [7] "What was the Pact of 'Umar? Literally Historical Studies". *JSAI* 23 (1999).
- [8] El-Messiri, Abd al-Wahab. *Jews, Judaism and Zionism encyclopedia*. Volume 4. Cairo: 1999.
- [9] Girgis, Magdy. *Coptic Judiciary in Egypt*. Cairo: 1999.
- [10] Howaidi, Fahmi. *Citizens not Dhimmis*. Cairo: Dar al-Shuru9, 1999.
- [11] Ibn Hibban, Muhammad. *الثقات (Trustworthy)*. The Ministry of Knowledge high for the government of India: 1978.
- [12] Ibrahim Hassan, Hassan. *Tarikh al-Islam*, V. 1. Beirut: Dar al-Jil, 1991.
- [13] Isaac Azayan, Ramadan. "'Umar's pact Narratives: Documental Study." *The Journal of the Islamic University (Islamic Studies Series)* Volume XIV, issue 2 (June: 2006): 169-203.
- [14] Kahila, Abd al-Rahman. *The Covenant of Umar: A New Reading*. Cairo: 1996.
- [15] Khalaf, Abd al-Wahhab. *Islamic Politics [al-Siyāsā al-Shar'iya]*. Cairo: 1932.
- [16] Mubaarakfoori, Wasfi al-Rahman. *Sealed Nectar in the Prophet's Biography*. Qatar: 2007.
- [17] Reda, Muhammad. *Muhammad Rasul Allah*. Beirut: 2006.
- [18] Sha'ibi, Ahmed. *Document of Medina: the Content and Significance*. Qatar: Published by the Nation book, volume 110, 2006.
- [19] Tahir-ul-Qadri, Muhammad. "The Constitution of Medina: 63 Constitutional Articles." London: Minhaj-ul Quran Publications, 2012: 1-16. http://www.minhajpublications.com/wp-content/uploads/2014/01/The_Constitution_of_Madina_Ebook.pdf.
- [20] Warren, David H. and Gilmore, Christine. "Rethinking neo-Salafism through an Emerging Fiqh of Citizenship: The Changing Status of Minorities in the Discourse of Yusuf al-Qaradawi and the 'School of the Middle Way." *New Middle Eastern Studies*, issue 2, (29 October 2012), 1-7 <http://www.brismes.ac.uk/nmes/wpcontent/uploads/2012/10/NMES2012WarrenGilmore.pdf>.
- [21] Ya'coubi, *The history of Ya'coubi*. Beirut: 2010.
- [22] Zaydan, Abd al- Karim. *Al-Dmmin wa-al Musta'min fi Dar al-Islam*. Beirut: Maktbat al-9uds, 1982.

Traitement par le procédé SBR (Sequencing Batch Reactor) des lixiviats de la décharge publique non contrôlée de la ville de Taza (Maroc)

[Treatment by the process sequencing batch reactor (SBR) of leachates from the uncontrolled public landfill in the city of Taza (Morocco)]

Abdelouahab Zalaghi¹, Fatima Lamchouri¹, Mohammed Merzouki², and Hamid TOUFIK¹

¹Laboratoire Matériaux, Substances Naturelles, Environnement et Modélisation (LMSNEM), Faculté Polydisciplinaire de Taza, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah de Fès, Maroc

²Laboratoire de Biotechnologie, Faculté des Sciences Dhar El Mahraz de Fès, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah de Fès, Maroc

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Today, the enormous difficulties encountered by certain national discharges have been repeated, including unexpected "behaviors", Very different from what had been planned and designed were observed for uncontrolled landfills: leachate production under or over appraisal, inefficient drainage or compaction ...; which highlights a lack of specific scientific knowledge and appropriate to dumps, especially in the leachate treatment, who in many cases end up in waterways or groundwater.

For these reasons, leachate treatment of uncontrolled dump in the city of Taza has become a major environmental challenge threaten public health of this city. These untreated leachate directly contaminating the waters of the Oued Larbaâ which delimits this discharge and who are widely used in the irrigation of vegetable crops.

The SBR process model studied and appropriate for the case of the Taza landfill aims to obtain a sufficient abatement of the pollutant load of the leachate in order to meet the Moroccan norms of indirect discharges. The results obtained are very satisfactory, with a net reduction of all studied pollution indicators.

KEYWORDS: Organic load, Processing Leachate, Pollution, SBR.

RÉSUMÉ: Aujourd'hui, les énormes difficultés que rencontrent certaines décharges nationales se sont répétées, notamment des «comportements» inattendues, très différents de ce qui avait été prévu et conçu ont été observés pour les décharges non contrôlées : production sous ou sur évaluée de lixiviats, inefficacité du drainage ou du compactage...; ce qui met en évidence un manque de connaissances scientifiques spécifiques et appropriées aux décharges publiques, surtout dans le traitement des lixiviats, qui finissent dans beaucoup de cas dans des cours d'eaux ou dans des nappes phréatiques.

Pour ces raisons, le traitement des lixiviats de la décharge sauvage de la ville de Taza est devenu un défi environnemental majeur menaçant la santé publique de cette ville. Ces lixiviats non traités contaminent directement les eaux de l'Oued Lârbâa, qui délimite cette décharge, et qui sont largement utilisées dans l'irrigation des cultures maraîchères.

Le modèle de procédé SBR étudié et approprié pour le cas de la décharge de Taza, vise à obtenir un abattement suffisant de la charge polluante du lixiviat pour répondre aux normes marocaines en vigueur des rejets indirects. Les résultats obtenus sont très satisfaisants, avec une réduction nette de tous les indicateurs de pollution étudiés.

MOTS-CLEFS: Charge organique, Lixiviat, Pollution, SBR, Traitement, Décharge non contrôlée de Taza.

1 INTRODUCTION

La protection de l'environnement est de nos jours une préoccupation collective dans les différents secteurs d'activités, elle devient une nécessité privilégiée dans la politique des pays en voie de développement. La décharge de la ville de Taza (Nord-Ouest Maroc) est une décharge non contrôlée desservant la totalité de la zone urbaine de Taza, ainsi que quelques quartiers périphériques se trouvant à l'extérieur du périmètre urbain (Figure 1). Elle est située sur un terrain plat, au niveau de la rive gauche de l'Oued Lâbaa à environ 1,5 Km du centre de la ville (Coordonnées sexagésimales : 34°14'30.2083"N, 4°1'0.8691"O ; Coordonnées degrés minutes décimales : 34°14.5035'N, 4°1.0145'O ; Coordonnées décimales : 34.24172452777778, -4.016908083333333).

Les déchets des décharges lors de leur stockage et sous l'action conjuguée de l'eau de pluie et de la fermentation naturelle, produisent une fraction liquide appelée « lixiviât » ou « jus des déchets ménagers » riches en matières organiques et en éléments sous forme de traces. En effet, de tels lixiviats sont riches en matières organique et inorganique, mais aussi en métaux lourds [1], [2], [3], [4], ainsi qu'une concentration élevée de germes dont les pathogènes, ce qui engendre de graves conséquences, aussi bien pour la santé publique et l'environnement que pour l'avenir des activités socio-économiques [5], [6], [7], [8]. De même, la production de lixiviats peut faire émerger de sérieux problèmes écologiques [9], [10], [11].

La description du milieu environnant du site de la décharge de la ville de Taza, ainsi que le mode d'enfouissement ont permis de mettre en évidence les différentes composantes du milieu pouvant être influencées par les lixiviats de cette décharge (Figure 2). D'où ces lixiviats ne peuvent être rejetés directement dans le milieu naturel et doivent être soigneusement collectés et traités.

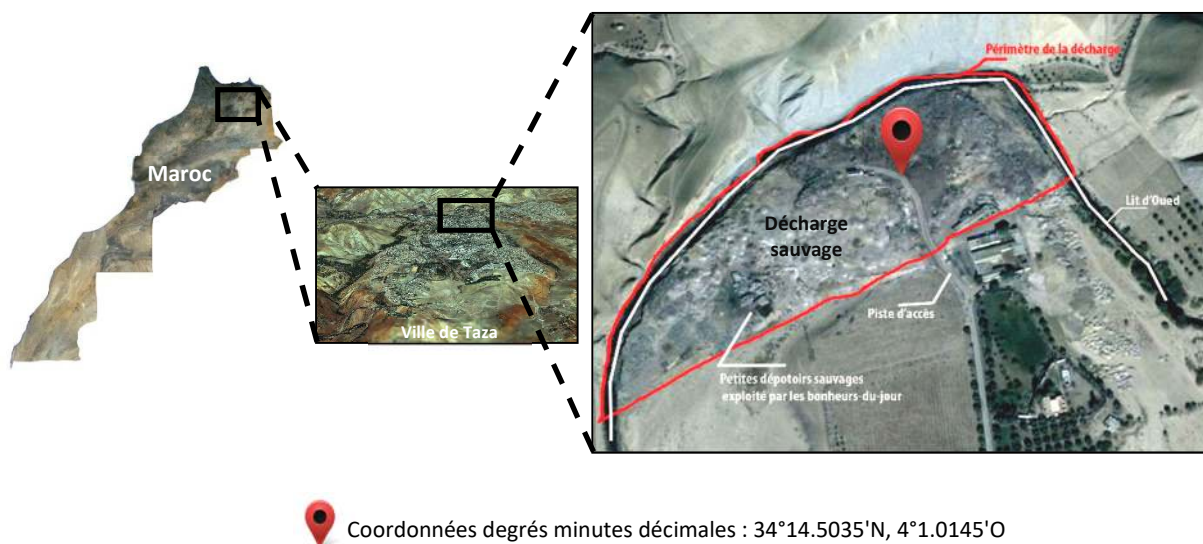


Fig. 1. Situation géographique de la décharge sauvage de la ville de Taza

Dans ce cadre, nous nous sommes proposés de participer à la gestion de ces déchets en mettant au point une optimisation du traitement des lixiviats de la décharge publique non contrôlée de la ville de Taza par des procédés biologiques. Notre contribution consiste donc à proposer, étudier et valider un procédé biologique de traitement peu coûteux, efficace de ces lixiviats et qui s'adapte parfaitement au contexte socio-économique du Maroc [12]. Le procédé SBR (Sequencing Batch Reactor) mis en expérience, vise à obtenir un abattement satisfaisant de la charge organique polluante du lixiviât et qui répondra par la suite aux normes des rejets indirects en vigueur.



Fig. 2. Photos descriptives de la décharge sauvage de la ville de Taza

Photos prises le 05/06/2016.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 CYCLE DE TRAITEMENT PAR LE PROCÉDÉ SEQUENCING BATCH REACTOR (SBR)

Le procédé SBR (procédé de Réacteur Séquentiel Discontinu) est un procédé de traitement intensif, qui repose sur le principe du traitement biologique aérobie des effluents par cycles [13].

Le cycle de fonctionnement du SBR est effectué en cinq opérations: Remplissage (1), Agitation (2) Agitation/Aération (3), Décantation (4), Soutirage de l'effluent traité et boue en excès (5), puis le repos (Figure 3).

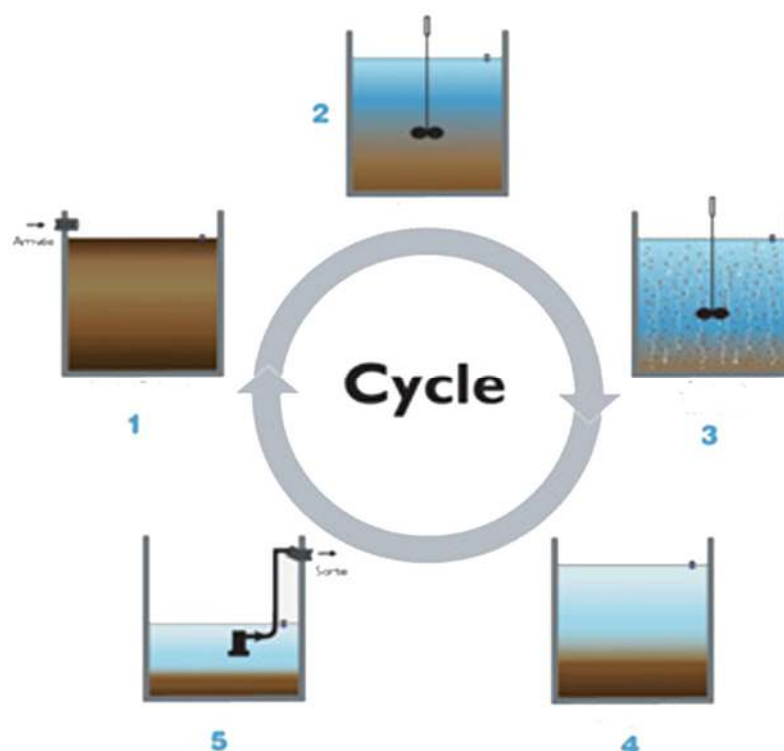


Fig. 3. Schéma du cycle de fonctionnement du réacteur biologique séquentiel

Le système SBR utilise une culture microbienne dispersée sous forme de floes au sein du lixiviat à traiter. Les étapes de l'aération et de la décantation se déroulent dans le même réacteur. Ce procédé à culture libre, combine généralement la dépollution carbonée et la nitrification, puis la dénitrification.

L'initialisation du réacteur SBR et l'adaptation de la boue sont effectuées en utilisant des valeurs minimales pendant des périodes de temps sec et des valeurs moyennes par temps de pluie. Pour atteindre cet objectif, nous commençons par l'application de la faible charge avec des dilutions progressives des lixiviats, tout en tenant compte des valeurs initiales des indicateurs de pollutions dans l'échantillon brut.

L'optimisation du traitement de la charge organique et azotée des lixiviats de la décharge publique de la ville de Taza, s'effectue en variant, simultanément la charge organique et l'âge des boues et ceci avec un cycle par jour. Le réacteur a été opéré à deux charges organiques : 0,3 g DCO l j/L (faible charge : du 1^{er} au 30^{ème} jour) et 0,7 g DCO l j/L (moyenne charge : du 31^{ème} au 90^{ème} jour) et à deux âges de boues de 7 et 15 jours.

2.2 CARACTÉRISATION DU PILOTE UTILISÉ

Le traitement des lixiviats a été réalisé à l'échelle du laboratoire (MSNEM) de la faculté polydisciplinaire de Taza, dans un réacteur SBR en verre de capacité 12 litres (Figure 4). Ce procédé repose sur le principe de traitement par les boues activées (1/6 du volume d'eau utilisée). Le fonctionnement du SBR est basé sur quatre phases de traitement.

1. **Phase d'alimentation** : le réacteur a été alimenté avec 500 ml de lixiviats.
2. **Phase d'agitation et d'aération** : en présence d'oxygène, les microorganismes sont maintenus en mélange avec l'effluent à traiter.
3. **Phase de décantation** : À l'arrêt de l'aération et de l'agitation, le réacteur est mis au repos pour favoriser la séparation de la boue et de l'effluent traité.
4. **Phase de soutirage** : Pendant Cette phase 500 ml de lixiviats traités est soutirés puis remplacés par le même volume de lixiviat brut et un nouveau le cycle commence.

L'agitation est assurée par un agitateur réglable. L'aération est assurée par l'injection d'air à travers une canalisation poreuse disposée de manière symétrique au fond du réacteur, et elle n'est pas soumise à une régulation. Ce système permet d'avoir une répartition symétrique de l'air et une injection de bulles fines. L'apport d'oxygène est assuré par un compresseur. Les caractéristiques du fonctionnement du réacteur sont indiquées dans le tableau 1.



Fig. 4. Vue d'ensemble du pilote et du réacteur SBR

Photos prises au Laboratoire Matériaux, Substances Naturelles, Environnement et Modélisation (LMSNEM) de la Faculté Polydisciplinaire de Taza le 06/06/2016.

Tableau 1. Temporisation en heure des cycles du fonctionnement de l'SBR (Zalaghi 2014)

Durée totale du cycle	V	R'	R	A/V	D
24 h	10 min	10 min	10 min	20h30	3h
12 h	10 min	10 min	10 min	9h30	2h

V : vidange ; R' : repos ; R : remplissage ; A/V : Agitation et ventilation ; D : décantation.

2.3 SYNCHRONISATION ET TEMPORISATION DU PILOTE

Le procédé SBR est un procédé qui utilise un réacteur séquentiel discontinu dont le fonctionnement est basé sur le temps [14], [15], contrairement aux procédés à boues activées classiques basés sur l'espace. Ainsi, toutes les phases du traitement se passent dans le même réacteur qui en fonction des étapes, tient le rôle du bassin d'aération (traitement aérobie), d'agitation (traitement anaérobie) et du décanteur (séparation des phases solide et liquide) (Figure 3).

1. Phase d'alimentation (R) : le réacteur a été alimenté pendant 10 minutes avec 500 mL de lixiviat pour la faible charge et 1000 mL pour la moyenne charge;
2. Phase d'aération (A/V) : en présence d'oxygène, les microorganismes sont maintenus en mélange avec l'effluent à traiter. Cette phase est la plus longue, sa durée est de 20h30mm pour un cycle de 24h ;
3. Phase de décantation (D) : À l'arrêt de l'aération et de l'agitation, le réacteur est mis au repos pour favoriser la séparation de la boue et de l'effluent traité. La durée de la décantation est fixée à 3h ;
4. Phase de soutirage (V) : Cette phase dure 10 minutes pendant laquelle 500 mL de lixiviat traité sont soutirés pour la faible charge et 1000 mL pour la moyenne charge, puis remplacés par le même volume de lixiviat brut et un nouveau cycle commence. Lorsque la concentration des boues est très importante dans le réacteur, une partie des boues est soutirée.

Les phases d'aération, de décantation et de soutirage des boues en excès, sont contrôlées par des programmeurs et des pompes péristaltiques à débit variable. Pour assurer un traitement efficace de notre lixiviat, la boue utilisée doit être jeune et bien aérée. Nous avons travaillé avec un âge des boues de 15 jours et avec une concentration de l'oxygène dissous qui dépasse 3 mg/L [16]. Ces boues activées proviennent de la station d'épuration des eaux industrielles de la compagnie des boissons gazeuse de la ville de Fès au Maroc [13].

Nous avons calculé également l'indice de Mohlman (IM) [17] selon la formule suivante :

$$IM = V30 / MS$$

V30: Volume des boues décantées après 30 minutes par litre de liqueur mixte.

MS : Concentration des matières en suspension de la boue activée.

2.4 ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DES LIXIVIATS TRAITÉS

Les analyses physico-chimiques des lixiviats ont été effectuées selon les méthodes décrites dans Rodier [18] et ont porté sur les paramètres suivants : température, pH, matières en suspension (MES), demande chimique en oxygène (DCO), demande biologique en oxygène (DBO₅) et les éléments nutritifs tels que l'azote, les ions nitrates, nitrites et ammoniums. Le calcul du taux d'abattement d'un paramètre X, exprimé en pourcentage est basé sur la formule suivante :

$$\text{Taux d'élimination} = (Ci(x) - Cf(x) / Ci(x)). 100$$

Ci(x) : Concentration initiale de x dans l'eau usée

Cf(x) : Concentration finale de x dans l'eau usée traitée

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les performances épuratrices du procédé SBR ont été suivies au cours de la période de fonctionnement du réacteur SBR (10 semaines). Les mesures de la pollution carbonée et azotée ont été effectuées en entrée et en sortie, durant les périodes allant de la cinquième à la huitième semaine.

3.1 ABATTEMENT DE LA DCO ET LA DBO₅

Les résultats de la figure 5, montrent que la DCO augmente pendant la première semaine du fonctionnement du réacteur SBR, ce qui est comparable aux résultats obtenus par Rassam et ses collaborateurs [19]. Cette augmentation de la DCO pendant la première semaine, pourrait être due à une mortalité des microorganismes suite aux stressés subis au cours de la phase d'acclimatation de la boue activée. Cependant, la deuxième augmentation de la DCO pendant la troisième semaine, pourrait s'expliquer par la présence des micropolluants organiques et minéraux qui ont un effet bactéricide.

Le taux d'abattement de la DBO₅ qui est de 96,26% est plus important que celui de la DCO. Les valeurs moyennes de sortie du SBR sont respectivement de 181 mg/l et 924mg/l (Tableau 2), et sont très inférieure à celles des normes des rejets indirects (500 mg/l et 1000mg/l) (Figure 6). Nous pouvons expliquer le taux d'abattement élevé de la DBO₅ par la performance de la boue utilisée dans le SBR qui dégrade la matière organique biodégradable présente dans le lixiviat et aussi par la présence d'une biomasse épuratrice.

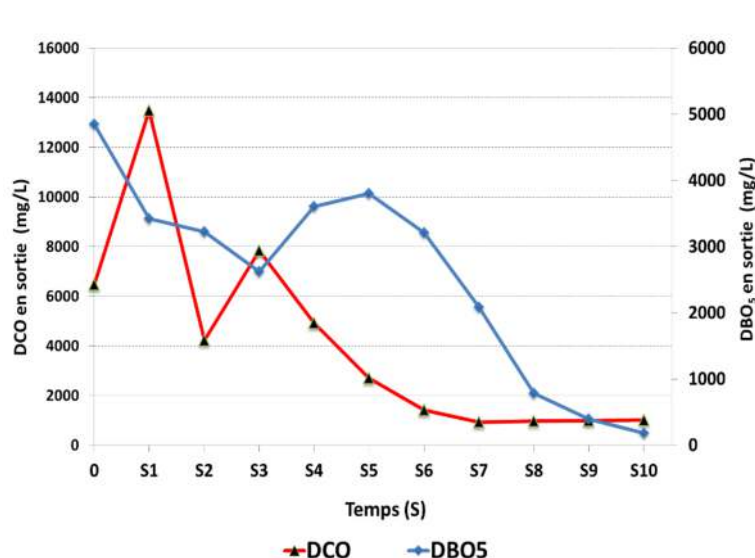


Fig. 5. Evolution des concentrations de la DCO et du DBO₅ au cours de la période de traitement

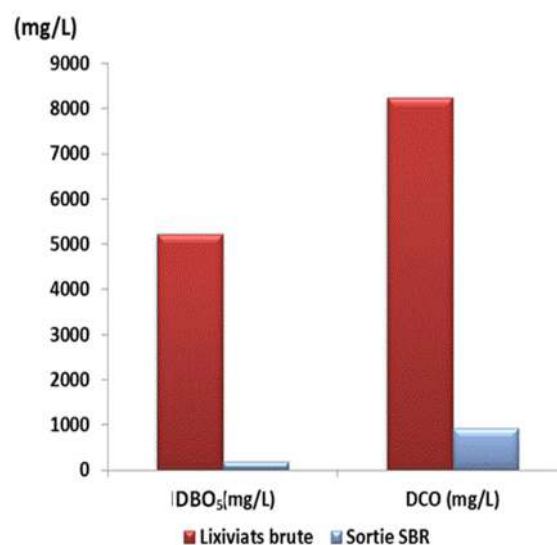


Fig. 6. Abattement de la DCO et la DBO₅

3.2 ABATTEMENT DES COMPOSÉS AZOTÉS

La pollution azotée, sous forme d'azote organique et d'azote ammoniacal, essentiellement sous forme soluble, se trouve contribue dans le phénomène de l'eutrophisation.

A partir des résultats présentés dans le tableau 2, la concentration de l'ammonium à l'entrée du SBR de 29,41 mg/l diminue jusqu'à la concentration de 3,11 mg/l et le taux d'abattement prend la valeur de 82,42 %. La diminution de la concentration de l'ammonium après le traitement par le SBR peut être expliquée par le phénomène de nitrification. Le suivi de la concentration des nitrites montre un taux d'abattement dans le bioréacteur de 78,79 % et la valeur trouvée à la sortie est de 4,54 mg/l. la diminution de la concentration des nitrites s'explique par l'oxydation des nitrites en nitrates à l'aide des bactéries du genre Nitrobacter, Nitrocystis, Nitrospira, Nitrococcus [20]. La concentration moyenne des nitrates dans le lixiviat à l'entrée du SBR est de 30,74 mg/l et après le traitement, cette concentration baisse à 11,46 mg/l. Le taux d'abattement donc est de 62,71 %.

Les concentrations en sortie de l'SBR de tous les paramètres chimiques sont toujours inférieures aux normes définies par la réglementation marocaine concernant les rejets indirects [21] (Figure 8). Les figures 5 et 7 montrent que l'abattement des paramètres chimiques augmente progressivement depuis le début de la période de traitement des lixiviats. Ceci est dû au fait que la boue du réacteur s'adapte progressivement aux lixiviats et la concentration de la biomasse augmente progressivement.

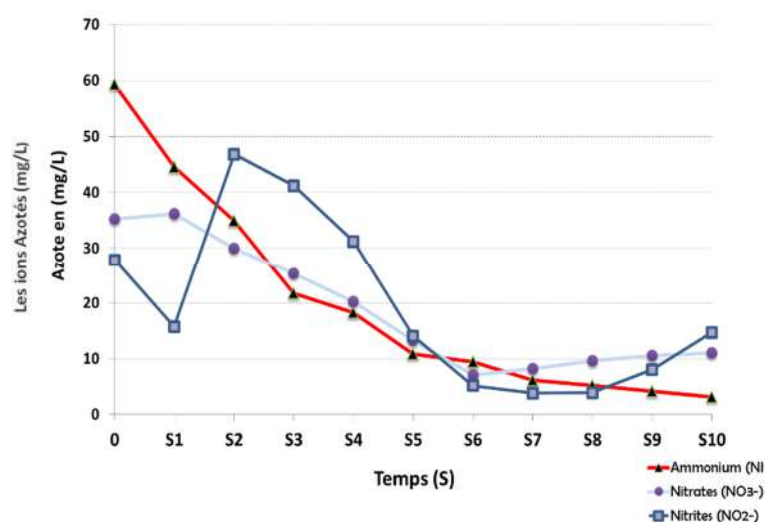


Fig. 7. Evolution des concentrations des ions azotés à la sortie de l'SBR au cours de la période de traitement

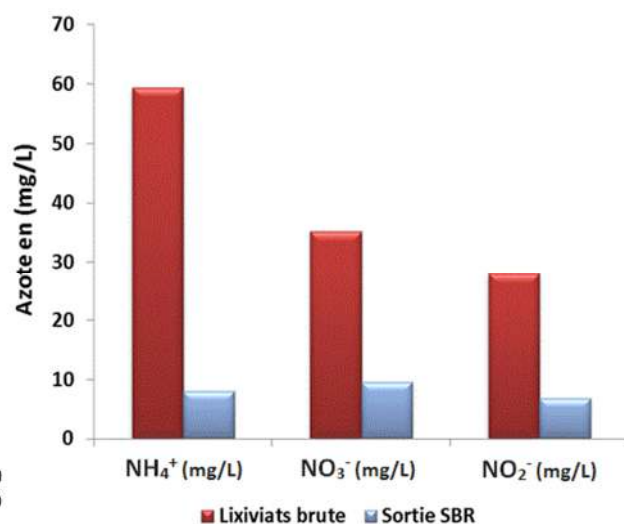


Fig. 8. Abattement des composés azotés

3.3 ABATTEMENT DES MATIÈRES EN SUSPENSIONS (MES)

La concentration de la MES du bioréacteur a atteint le seuil de 5 g/l à cause de la boue présente dans le bioréacteur. A la sortie du SBR, la concentration de la MES a largement baissée à une valeur de 0,596 g/l. Cette diminution peut être expliquée par une bonne séparation entre la phase solide (la boue) et la phase liquide (lixiviat soutiré) dans le bioréacteur pendant la décantation.

Tableau 2. Paramètres physico-chimiques du lixiviat de la décharge non contrôlée de la ville de Taza, avant et après traitement par SBR

Paramètres	Lixiviats brute	Entrée SBR	Sortie SBR	Taux d'abattement du traitement par SBR (%)	les normes Marocaine de rejets indirects [21]
pH	7,35	8,15	7,82		6,5-8,5
Température (°C)	32,7	26,5	26,7		35
Oxygène dissout (mg/L)	4,17	5,82	1		
DBO5 (mg/L)	5220	4850	181	96,26	500
DCO (mg/L)	8245,4	6472,8	924	85,72	1000
MES (mg/L)	5460	4290	596	86,1	600
NH ₄ ⁺ (mg/L)	35,02	29,41	3,11	82,42	
NO ₃ ⁻ (mg/L)	27,14	30,74	11,46	62,71	
NO ₂ ⁻ (mg/L)	25,05	21,41	4,54	78,79	

3.4 PERFORMANCES AU COURS D'UN CYCLE

Afin de mieux comprendre les phénomènes mis en jeu et les cinétiques de dégradation des différents polluants, un suivi des différents paramètres, au cours d'un cycle de fonctionnement a été effectué.

En effet, au cours d'un cycle de fonctionnement et à partir de la huitième semaine, les paramètres physico-chimiques suivants ont été analysés : oxygène dissout, température, pH, DCO, teneurs en ions ammoniums, nitrites et nitrates.

Les figures 9 et 10, montrent les évolutions de l'oxygène dissout, de la température et du pH au cours d'un cycle. L'oxygène dissout varie en fonction des phases d'aération. Les dégagements de chaleur dus au fonctionnement du compresseur et aux pertes de charges font passer l'effluent de la température ambiante (environ 27°C) à environ 38°C, ce qui pourrait être à l'origine d'une nitrification partielle.

Durant la phase d'alimentation (phase 1), le pH chute rapidement, tandis que la phase aérobie (phase 2) provoque une légère acidification du milieu due à la nitrification. Enfin, au cours de la phase de décantation (phase 3), une augmentation du pH est observée.

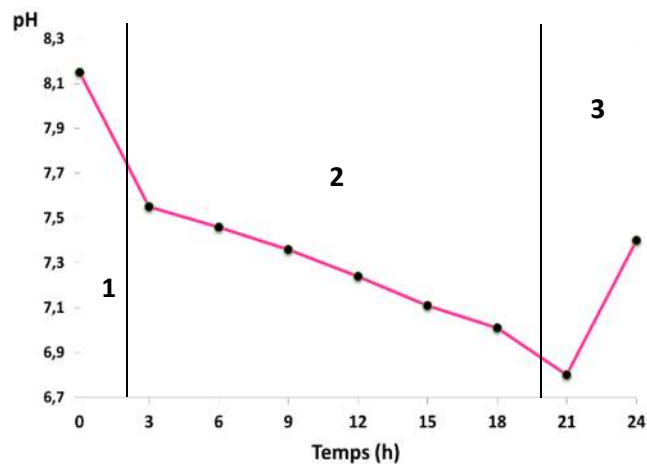


Fig. 9. Évolution du pH au cours d'un cycle

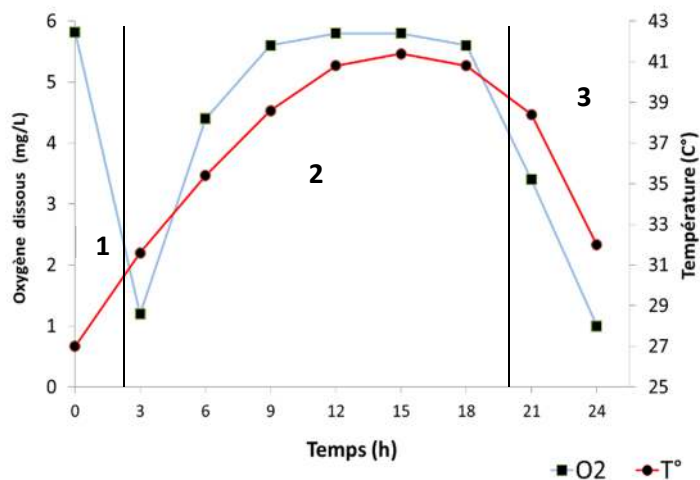


Fig. 10. Évolution de l'oxygène dissous et de la température au cours d'un cycle

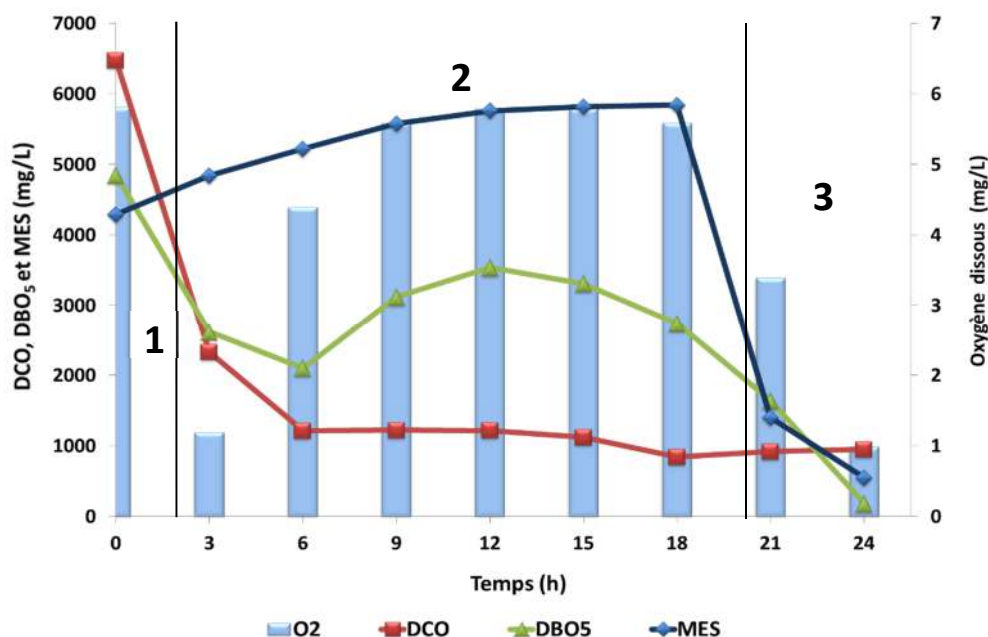


Fig. 11. Évolution de la DCO, DBO₅, MES et l'oxygène dissous au cours d'un cycle

Comme le montre la figure 11, la DCO n'enregistre pas de baisse significative au cours de la phase d'alimentation (phase 1), par contre, elle baisse rapidement dès le commencement de la phase d'aération (phase 2). Cependant, la DBO₅ augmente pendant cette phase (phase 2), cela est dû au développement de la mousse issue de la décomposition de la matière organique et des substances humiques des lixiviats. Cette mousse de surface contient relativement de grandes quantités de protéines et résidus de cellules mortes.

La mousse flottante peut provoquer de sérieux problèmes affectant la concentration des matières en suspension dans la liqueur mixte, la mousse de surface peut contenir jusqu'à 40% de matières en suspension [11]. Ceci explique l'augmentation de la concentration de la MES au cours de la phase 2.

3.5 BILAN DU TRAITEMENT DES LIXIVIATS DE LA DÉCHARGE NON CONTRÔLÉE DE TAZA PAR LE PROCÉDÉ SBR

D'après nos résultats, le procédé SBR que nous avons appliqué aux lixiviats de la décharge non contrôlée de la ville de Taza a donné de très bons résultats (Figure 12) en matière de réduction de la charge organique (réduction de 85% de la DCO et de 96% de la DBO₅) en comparaison avec les travaux rapportés de Mohan et ses collaborateurs [14]. La réduction de la DCO et de la DBO₅ est due essentiellement à la durée de la phase aérobie, ce qui est en concordance avec les résultats obtenus dans d'autres travaux de recherche [22]. Par contre, d'autres études attribuent la réduction de la DCO et de la DBO₅ à la phase anaérobie dans les systèmes aéro-anaérobies [23], [24], [25]. En se basant sur nos résultats, nous confirmons que l'efficacité du procédé SBR, en termes de rendement épuratoire dans le traitement du lixiviat de la décharge publique de la ville de Taza, est satisfaisante (Figure 12), puisqu'elle répond aux exigences législatives marocaines. Chaque modification du fonctionnement séquentiel entraîne des évolutions importantes dans les variables de sortie du réacteur. Ces variations peuvent être imputées aux variations du stress relatives à la boue activée utilisée et peuvent être plus ou moins importantes selon des phases d'aération (cycle court ou cycle long). Ces modifications ont, sans doute, des conséquences sur le comportement opératoire du réacteur et sur ses performances (modification du métabolisme bactérien).

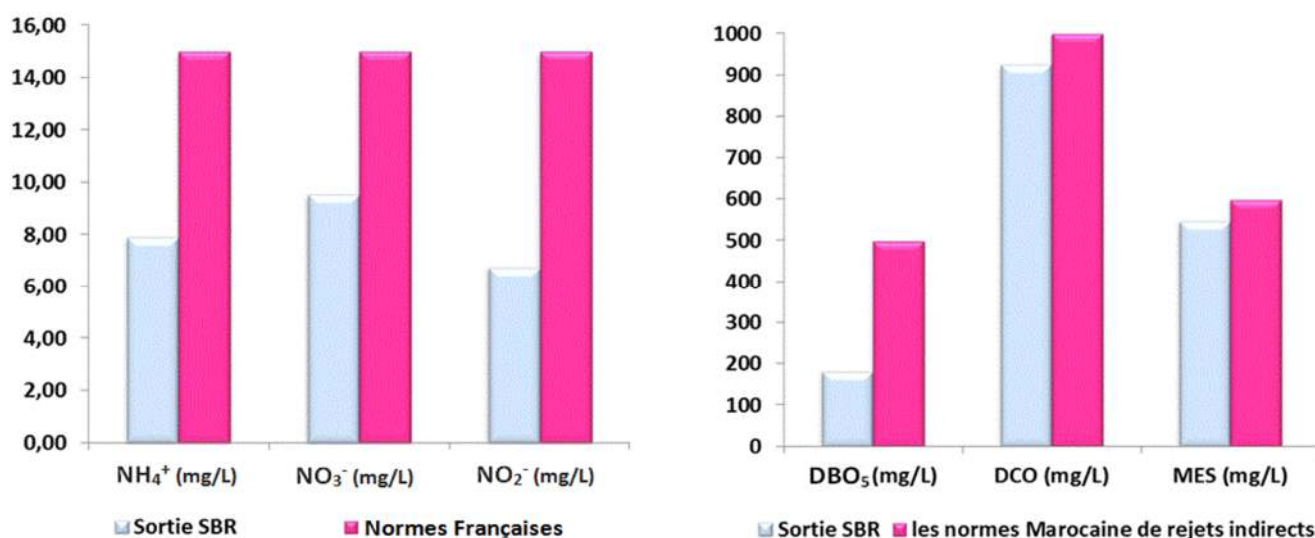


Fig. 12. Performances épuratoires du procédé SBR pour le traitement du lixiviat de la ville de Taza

Concernant la pollution azotée (ions ammoniums, nitrates et nitrites), les résultats du traitement par SBR des lixiviats de la décharge publique non contrôlée de la ville de Taza donnent des valeurs conformes aux normes les plus exigeantes comme les normes françaises (NH₄⁺ et NO₃⁻ et NO₂⁻ < 15 mg/l ; figure 12). Selon les résultats présentés dans tableau 2, la concentration de l'ammonium à l'entrée du SBR de 29,41 mg/l diminue à 7,9 mg/l. Le taux d'abattement augmente avec l'augmentation de l'âge des boues et atteint ses valeurs maximales de 86% quand l'âge des boues varie entre 15 et 20 jours. La diminution de la concentration des ions d'ammonium, après le traitement par le SBR, pourrait être expliquée par le phénomène de nitrosation où les ions ammonium sont oxydés en nitrites [11]. De même pour le nitrite, la concentration à l'entrée du SBR de 21,41 mg/L diminue à 6,74 mg/L et le taux d'abattement augmente avec l'augmentation de l'âge des boues et atteint ses valeurs maximales de 75,79% à l'âge des boues de 15 jours. La réduction des teneurs en nitrites s'explique par le processus de dénitrification aérobie réduisant ainsi le nitrite en N₂O ou en azote moléculaire. Quant à l'élimination des nitrates, la concentration à l'entrée du SBR de 30,74 mg/L, diminue à 9,52 mg/l et le taux d'abattement augmente avec l'augmentation de l'âge des boues et atteint une valeur maximale de 72,96% à l'âge des boues de 20 jours. Cela pourrait être dû au phénomène de dénitrification qui a lieu dans le bioréacteur lors du traitement biologique des effluents de lixiviats dans les conditions aérobies, ce qui est avantageux à grande échelle.

Dans la présente étude, nous avons constaté une baisse de la concentration des ions NO_3^- à la sortie du bioréacteur, ce qui pourrait être expliqué par la dénitrification aérobie. De ce fait, la dénitrification peut avoir lieu dans les floes des boues activées, malgré les taux d'oxygène élevés dans le bioréacteur [26]. De plus, la présence d'oxygène dans les eaux usées n'inhibe pas la dénitrification au niveau des microenvironnements [27]. Il est à signaler, aussi que les lixiviats étudiés, présentent de faibles concentrations en nitrates, ce qui faciliterait leur assimilation par les microorganismes des boues activées du bioréacteur.

4 CONCLUSION

La présente étude avait pour objectif principal l'évaluation du traitement des lixiviats de la décharge non contrôlée de la ville de Taza, par le procédé biologique SBR, outil innovant qui combine les avantages des réacteurs à lit fluidisé (efficacité, compacité, fixation et concentration élevée de la biomasse) avec ceux des réacteurs séquentiels classiques à culture libre (régulation des différents métabolismes, contrôle de l'âge de la biomasse), qui a été mis en place au laboratoire MSNEM de la Faculté Polydisciplinaire de Taza.

Les performances épuratrices en termes de pollution carbonée et azotée ont été étudiées puis optimisées. D'excellents abattements de la pollution carbonée (85% sur la DCO) et azotée (73,12% de la charge ammoniacale) ont été obtenus. Les conditions optimales pour l'élimination de la DCO, DBO_5 et de la pollution azotée des lixiviats étudiés sont : charge volumique (Cv) = 0,7 g DCO/L/j et un âge des boues de 15-20 jours. Ceci aurait plusieurs avantages si ce système serait appliqué à grande échelle :

- le débit de l'effluent à traiter est élevé ;
- le volume du système diminue ;
- le volume des boues à soutirer est faible et par conséquent il y a une diminution du coût de traitement des boues soutirées ;
- la maintenance d'une biomasse épuratrice jeune qui assure un rendement épuratoire élevé du système ;
- le rendement épuratoire augmente et le coût de la STEP diminue.

Les résultats obtenus, nous permettent de conclure que le traitement des lixiviats de cette décharge par un procédé intensive comme l'SBR pourraient limiter les risques majeurs liés à la contamination du milieu physique et biologique par les rejets directs de ces lixiviats.

Les eaux infectées par ces lixiviats traitées pourraient ainsi être utilisées à des fins agricoles sans menacer la santé publique, après analyse et contrôle avec des tests microbiologiques et parasitologie adéquats. Les résultats du présent travail sont extrapolables à des cas similaires.

REFERENCES

- [1] J. Schwarzbauer, S. Heim, S. Brinker, R. Littke, "Occurrence and alteration of organic contaminants in seepage and leakage water from a waste deposit landfill," *International Journal of Water Research*, no. 36, pp. 2275–2287, 2002.
- [2] A. Baun, A. Ledin, L.A. Reitzel, P.L. Bjerg, T. H. Christensen, "Xenobiotic organic compounds in leachates from ten Danish MSW landfills – chemical analysis and toxicity tests," *International Journal of Water Research*, no. 38, pp. 3845–3858, 2004.
- [3] N. El Bada, O. Assobhei, A. Kebbabi, R. Mhamdi et M. Mountadar "Caractérisation et prétraitement du lixiviat de la décharge de la ville d'Azemmour," *International Journal of Déchets, Sciences et Techniques*, no. 58, pp. 30-36, 2010.
- [4] Merzouki H., Hanine H., Lekhlif B., Latrache L., Mandi L., "Sinan M. Physicochemical Characterization of Leachate Discharge Fkih Ben Salah from Morocco," *Journal of Materials and Environmental Science*, vol. 5, no. 6, pp. 1354-1363, 2015.
- [5] MATEE, *Secteur des déchets solides, Situation actuelle & perspectives de développement*, Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement, de l'Urbanisme et de l'Habitat, Secrétariat d'Etat chargée de l'Environnement, Royaume du Maroc, 2003.
- [6] MATEE, *Etude de la gestion des déchets ménagers et assimilés au Maroc*, Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement, de l'Urbanisme et de l'Habitat, Secrétariat d'Etat chargée de l'Environnement, Royaume du Maroc, 2004.
- [7] MATEE, *Etude de choix d'un site pour l'implantation d'une décharge contrôlée des déchets ménagers et assimilés de la ville de Taza*, Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement. Direction de la Surveillance et de la Prévention des Risques, Royaume du Maroc, 2005.

- [8] M. Ben Abbou, M. El Haji, M. Zemzami et F. Fadil "Impact des lixiviats de la décharge sauvage de la ville de Taza sur les ressources hydriques (Maroc)," *Afrique SCIENCE*, Vol. 1, no. 10, pp. 171 – 180, 2014.
- [9] P. Baccini, R. Henseler, H. Figi, H. Belevi, "Water and element balances of municipal solid waste landfills," *Journal of Waste Management & Research*, no. 5, pp. 583–599, 1987.
- [10] Y. Ez Zoubi, M. Merzouki, L. Bennani, A. El Ouali Lalami, M. Benlemlih, "Procédé pour la réduction de la charge polluante du lixiviat de la décharge contrôlée de la ville de Fès," *International Journal of Déchets, Sciences et Techniques*, no. 58, pp. 22-29, 2010.
- [11] H. Talouizte, "Traitement physique et biologique des effluents de textile de la ville de Fès et évaluation de leurs effets génotoxique et phytotoxique," Thèse de doctorat - Faculté des sciences, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah-Fès, Maroc. 2014.
- [12] F. Benyoucef, A. El Ghmari, and A. Ouattmane, "Problématique des lixiviats des déchets ménagers et traitement par UASB: cas de la ville de kasba tadla," *Innovative Space of Scientific Research Journals*, Vol. 13, no. 2, pp. 289-298. 2015.
- [13] A. Zalaghi, "Contribution à l'élaboration et validation d'un système de management intégré et traitement physique et biologique des lixiviats," Thèse de doctorat - Faculté des sciences, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah-Fès, Maroc. 2014.
- [14] S.V. Mohan, N. Chandrashekar Rao, K. Krishna Prasad, B.T.V. Madhavi, P.N. Sharma, "Treatment of complex chemical wastewater in a sequencing batch reactor (SBR) with an aerobic suspended growth configuration," *Journal of Process Biochemistry*, no. 40, pp. 1501–1508, 2005.
- [15] C. Shubhrasekhar, R. Kshitij, V. Mohini, I. Jawed and K.R. Naresh "Assessing the feasibility of co-treatment of landfill leachate and municipal wastewater in sequencing batch reactor (SBR)," *Proceedings of International Conference on Sustainable Energy and Built Environment*. Organized by: School of Mechanical and Building Sciences, VIT University, Vellore – 632014, TN, 12-13 March, 2015.
- [16] A. Zalaghi, F. Lamchouri, H. Toufik, M. Merzouki, "Valorisation des matériaux naturels poreux dans le traitement des Lixiviats de la décharge publique non contrôlée de la ville de Taza," *Journal of Materials and Environmental Science*, Vol. 5, no. 5, pp. 1643-1652, 2014.
- [17] D. Mohan, K.P. Singh, , et V.K. Singh, "Wastewater treatment using low cost activated carbons derived from agricultural byproducts - a case study," *Journal of Hazardous Materials*, no. 152, pp. 1045- 1053, 2008.
- [18] Rodier, *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer*, 7ième Edition. Dunod, Paris, France, 1984.
- [19] A. Rassam, B. Bourkhiss, A. Chaouch, L. El watik, H. Chaouki and M. Ghannami, "Caractérisation de lixiviats des décharges contrôlées au Maroc et solutions de traitement : cas de lixiviats de la ville d'AL Hoceima," *Journal of ScienceLib*, Vol. 4, no. 120204, 2012.
- [20] M. Merzouki , "Déphosphoration anoxique d'effluents par voie biologique : Optimisation et mise en œuvre d'un procédé intégré de dépollution azotée et phosphorée," Thèse de doctorat d'Etat, 2001.
- [21] H. El Haite "Traitement des eaux usées par les réservoirs opérationnels et réutilisation pour l'irrigation," Thèse de doctorat - Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, France, 2010.
- [22] N.D. Lourenço, J.M. Novais, H.M. Pinheiro, "Effect of some operational parameters on textile dye biodegradation in a sequential batch reactor," *Journal of Biotechnol.* No. 89, pp. 163–174, 2001.
- [23] C. O'Neill, F. Hawkes, D. Hawkes, S. Esteves, S. Wilcox, "Anaerobic/aerobic biotreatment of simulated textile effluent containing varied ratios of starch and azo dye," *International Journal of Water Research*, no. 34, pp. 2355–2361, 2000.
- [24] M. Isik, D.T. Sponza, "Monitoring of toxicity and intermediates of C.I. Direct Black 38 azo dye through decolorization in an anaerobic/aerobic sequential reactor system," *Journal of Hazardous Materials*, no. 114, pp. 29–39, 2004.
- [25] ö. Çinar, S. Yasar, M. Kertmen, K. Demirz, N.ö. Yigit, M. Kitis, "Effect of cycle time on biodegradation of azo dye in sequencing batch reactor. *Process safety and environment protection*. Vol. 6, no. 8, pp. 455–460, 2008.
- [26] Bitton G. *Wastewater microbiology*, 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 2005.
- [27] Christensen M.H., & Harremoës P., *Nitrification and denitrification in wastewater treatment*, Water Pollution Microbiology, Vol. 2, pp. 391–414, R. Mitchell, Ed., John Wiley & Sons, New York, 1978.

PISCICULTURE : UNE RECOMPOSITION A L'ECONOMIE DE PLANTATION EN CRISE DANS LA REGION DU HAUT SASSANDRA (COTE D'IVOIRE)

[FISHERIES : A RECOMPOSITION TO THE ECONOMY OF PLANTING IN CRISIS IN THE REGION OF UPPER SASSANDRA (COTE D'IVOIRE)]

KOUADIO N'Guessan Olivier and Joseph P. ASSI-KAUDJHIS

Géographie, Université Alassane Ouattara, Bouaké, Côte d'Ivoire

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The area of high Sassandra like other areas of the country is confronted to the nutrition problem. These are due to the worst crops the agricultural revenue instability. The over-exploited land by the exportation cultures (coffee-cocoa) reduces the possibilities of the living activities development. The demography, the urban development, the water flow organization, the climate changes and the deforestation have some irreversible consequences on the area, the aquatic biodiversity and also on men who live from these resources. Hoping that, pisciculture may be a tool of rural development of the means are given to this field. The Ivorian state has set up since the first decades of its independences, a policy of development in the sector throughout different international cooperation and diverse programs in rural area. This period coincides to binominal coffee and cocoa glorious time that the government called « the Ivorian miracle ». Face to the difficulties undergone by the binominal coffee and cocoa because of the low prices, the lack of land and the lack of manpower at the beginning of the year 90, the socio-economic challenges around the shallows are becoming more and more important. It seems that the shallow more precisely pisciculture has become more important in the rural and agricultural economic reinforcement process in crises in high Sassandra area. Its insertion in this area is not only due to the public policies but also to diverse informal actors initiatives.

KEYWORDS: Côte d'Ivoire, High Sassandra, Economy, Plantation, Alternative, Crises, Pisciculture.

RESUME: La Région du Haut Sassandra à l'instar des autres contrées du pays, est confrontée à des risques alimentaires. Ceux-ci se traduisent par les mauvaises récoltes, l'instabilité des revenus agricoles. La saturation des terres forestières par les cultures d'exportation (café-cacao) limite les possibilités d'extension des activités vivrières. La démographie, le développement urbain, l'aménagement des cours d'eau, les changements climatiques, la déforestation ont des conséquences irréversibles sur les milieux et la biodiversité aquatique et donc sur les hommes qui vivent de ces ressources. Confiant que la pisciculture peut être un outil de développement rural pourvu qu'on lui donne les moyens, l'Etat ivoirien a mis dès la première décennie de son indépendance une politique de développement du secteur à travers différentes coopérations internationales et divers programmes du milieu rural. Cette période coïncide avec la période glorieuse du binôme café-cacao que les gouvernants ont appelé « le miracle ivoirien ». Au début des années 90, face aux difficultés subies par le café-cacao suite à la baisse des prix bord champ, à l'absence de réserves de terres et l'inaccessibilité de la main d'œuvre, les enjeux socio-économiques et fonciers autour des bas-fonds sont de plus en plus importants. Il apparaît que les activités de bas-fonds et notamment la pisciculture s'insère de plus dans le processus de redynamisation de l'économie agricole et rurale en crise dans la Région du Haut Sassandra. Son insertion dans cette localité résulte aussi bien des politiques publiques que des initiatives de divers acteurs informels.

MOTS-CLEFS: Côte d'Ivoire, Haut Sassandra, économie, plantation, alternative, crise, pisciculture.

1 INTRODUCTION

En Côte d'Ivoire, comme dans bien d'autres pays d'Afrique au sud du Sahara, l'agriculture est le secteur dominant de l'économie. Elle génère en moyenne 30 à 35% du PIB et constitue la principale source de revenu et d'emploi pour plus de 60% de la population active, [1]. Le développement agricole axé sur la production de café et cacao, a longtemps été le moteur du miracle ivoirien, [2].

Depuis le milieu des années 80, ce dynamisme agro-économique national est entré dans une phase de crise relative à la fluctuation des cours des matières premières agricoles d'exportation sur les marchés internationaux, à la saturation des terres forestières, à la baisse des aptitudes culturales des sols, au vieillissement des vergers et à la faible diversification agricole, [3]; [4]. Les difficultés dans le secteur agricole qui emploie plus de 60% de la population fait que la situation économique et sociale et particulièrement la sécurité alimentaire des populations rurales est devenue précaire, [5]; [6]. Avec l'épuisement des dernières ressources forestières, la limite de production semble être atteinte et la poursuite du développement semble se faire à travers une révolution agricole, au cours de laquelle le processus de production changera de nature, [7]. Dans un tel contexte de crise et saturation foncière, la sécurité des exploitations passe par la diversification des productions agricoles. Les ruraux en situation de crise foncière suite à la saturation des terres agricoles et de dépendance vis-à-vis du vivrier, vont développer un modèle de pisciculture paysan dans leur recherche de solutions, dans les espaces laissés en marge de l'économie de rente.

Le développement de la pisciculture augmente la disponibilité en poisson pour la population ivoirienne. Au-delà de cet avantage, la pratique de la pisciculture entraîne la recomposition de l'espace, la création d'emploi, la réduction de la pauvreté et la promotion de sécurité alimentaire. Aujourd'hui, l'on dénombre plus de 1000 fermes piscicoles en Côte d'Ivoire pour une superficie totale exploitée d'environ 750 ha, [8]; [9]. La production aquacole nationale en 2012 est de 3720 tonnes, soit 4,69% de la production halieutique nationale estimée à 79378 tonnes, [10]. Cette production nationale couvre 26,46 à 31,75% des besoins de la population estimée à 250 000 à 300 000 tonnes, [8]. Cette production halieutique nationale relativement faible, traduit une difficulté d'approvisionnement en marché, en protéines animales. Toutefois, en dépit de l'épuisement des stocks halieutiques provoqué par la surexploitation, le développement et la vulgarisation de la pisciculture restent la principale option pour satisfaire la demande nationale en poissons, [10].

Ainsi, l'insertion de la pisciculture dans la Région du Haut Sassandra, est apparue à l'échelle locale comme une alternative pour se soustraire de la vulnérabilité économique et alimentaire des populations. C'est un sous-secteur d'activité qui répond à des aspirations bien précises des paysans confinés dans une situation économique et sociale fragile. Le choix de ces systèmes agricoles innovants (vulgarisation de l'irrigation et du modèle piscicole paysan) et la mise en œuvre de divers projets publics et parapublics de développement tel que le Projet d'Appui à la Profession Piscicole du Centre-Ouest au cours des années 90, ont stimulé la reprise des activités d'exploitation piscicoles.

Dans la Région du Haut Sassandra, la production halieutique qui était de 2 282,81 tonnes en 2008 soit 4,90% de la production nationale, est passée à 1 597,25 tonnes soit 2,11% de la production nationale, [9]. Cette production locale, en 2008, est en grande partie composée de la production de la pêche fluviale estimée à 2179,815 tonnes, soit 95,48% de la production locale contre 103 tonnes pour la pisciculture (4,52% des besoins halieutiques). La part de la production piscicole, en 2013, bien qu'étant marginale, a connu une augmentation de 10,3% (1360,53 tonnes pour la pêche fluviale et 236,72 tonnes pour la pisciculture), [9]. Cependant, cette production piscicole locale ne couvre que 6,32% de la consommation locale estimée à 3 741,46 tonnes, [9]. Ce constat offre l'opportunité de réfléchir sur la question suivante : Dans quelle mesure la pisciculture contribue-t-elle à la recomposition socio-spatio-économique dans Région du Haut Sassandra? Le texte est structuré en trois parties. La première analyse les facteurs qui expliquent la crise agricole dans la Région du Haut Sassandra, la deuxième partie étudie les acteurs de la mise en valeur de la pisciculture et les systèmes développés et la troisième partie examine les implications de la pisciculture dans le revenu de l'économie rural.

2 MATERIELS ET METHODES

Cette étude repose sur l'analyse des entretiens réalisés auprès d'un nombre limité des acteurs de production agricole et piscicole afin de les généraliser. Dans le cadre de notre étude, nous avons utilisé les données fournies par le Ministère de l'Agriculture, l'ANADER et la direction de la production animale et halieutique afin d'avoir les chiffres numériques des acteurs directs et indirects de ces deux activités. Les données statistiques proviennent des productions agricoles et halieutiques entre 1990 et 2014 et la base des données d'APDRA-CI, [11]. Elles fournissent des informations sur la production agricole et piscicole. Les statistiques sont publiées à l'échelle nationale, régionale par le Ministère de l'agriculture et la production animal et halieutique. Les données de l'étude ont été collectées à l'aide d'un questionnaire centré sur la perception des initiatives paysannes mise en œuvre dans le cadre d'une politique de diversification des revenus dans le milieu rural suite à la crise de l'économie de plantation. Les effets induits par la pisciculture au plan socio-économique, spatial et temporel. Les entretiens

menés auprès des responsables de l'Agence Nationale d'Appui au Développement rural (ANADER), des Directions régionales, de l'Agriculture et de l'Association Pisciculture et Développement Rural en Afrique Tropicale Humide - Côte d'Ivoire (APDRACI) et la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et météorologique (SODEXAM) ont permis d'enrichir les informations collectées. Leur grande faiblesse réside cependant dans le fait qu'elles ne sont pas toujours disponibles.

3 RESULTATS

3.1 FACTEURS NATURELS DE LA CRISE AGRICOLE DANS LE HAUT SASSANDRA

De 1960 à 1990, la Région du Haut Sassandra a connu un essor considérable de son agriculture, de laquelle une frange importante de la population tire ses moyens d'existence. Cependant, La production agricole dans cette zone comme dans l'ensemble du pays, reste dépendante des ressources naturelles. Ainsi, le faible niveau de modernisation de cette activité implique une attention particulière à la disponibilité des facteurs naturels dans sa production.

3.1.1 UNE VÉGÉTATION DÉGRADÉE SOUS LE POIDS DES ACTIVITÉS HUMAINES

Du point de vue de la végétation, cinq zones de végétation sont distinguées en Côte d'Ivoire : la zone littorale bordée de mangroves et de colonies, la zone de forêt dense humide sempervirente au sud (secteur omphrophile), la zone de forêt dense humide semi-décidue au centre (secteur mésophile), la zone pré forestière (secteur soudanais). L'essor pris par l'agriculture de rente au lendemain de l'indépendance, dans un contexte favorable d'économie libérale, [12] et d'une politique foncière peu contraignante a considérablement accru la pression sur le domaine forestier ivoirien. Parallèlement, l'aire des forêts est passée de 12 millions d'hectares à 2 millions d'hectares entre, soit une baisse de 20,8% en moyenne par an, [13]. Cette exploitation effrénée et mal contrôlée des forêts, accentuée par l'élan démographique, ne s'est cependant pas faite sans compromettre l'avenir du secteur agricole.

La zone étudiée, le Haut Sassandra, est située dans le domaine guinéen et précisément dans le secteur forestier mésophile. La forêt primaire a partout fortement régressé et la forêt dégradée qui la remplace est caractérisée par un tapis de dicotylédones qui s'oppose à la saison sèche. La surexploitation des massifs forestiers de la région pour l'économie de plantation du couple café-cacao a eu des incidences sévères sur le climat. Celles-ci se manifestent par la récession du niveau annuel des pluies et la modification du régime des précipitations [14] ; [15]. La compétition pour l'usage et la maîtrise du foncier s'exacerbe dans la région en parallèle avec sa dynamique démographique. Entre 1975 et 1998, la pression sur les terres arabes traduite par le ratio entre la population rurale et les surfaces cultivables a été multipliée par 2 dans cette région passant de 30 à 60 hbts/km². Les difficultés rencontrées dans la mise en valeur de nouvelles surfaces se traduisent dans bon nombre de localités enquêtées par un raccourcissement considérable du cycle de jachère qui passe de 10 à 15 ans, à 5 à 7 ans voire moins de 5 ans. Ce rétrécissement des périodes de jachères a pour conséquence la dégradation des aptitudes culturales des sols et la diminution de la productivité agricole et donc des revenus. Un autre effet induit par la baisse des massifs forestiers est le durcissement de l'accès à la terre et le renforcement de la précarité foncière relatif aux changements de comportement de certains détenteurs traditionnels et héritiers de la terre vis-à-vis de certains exploitants allogènes. La dégradation du couvert forestier est mise en exergue par la figure 1.

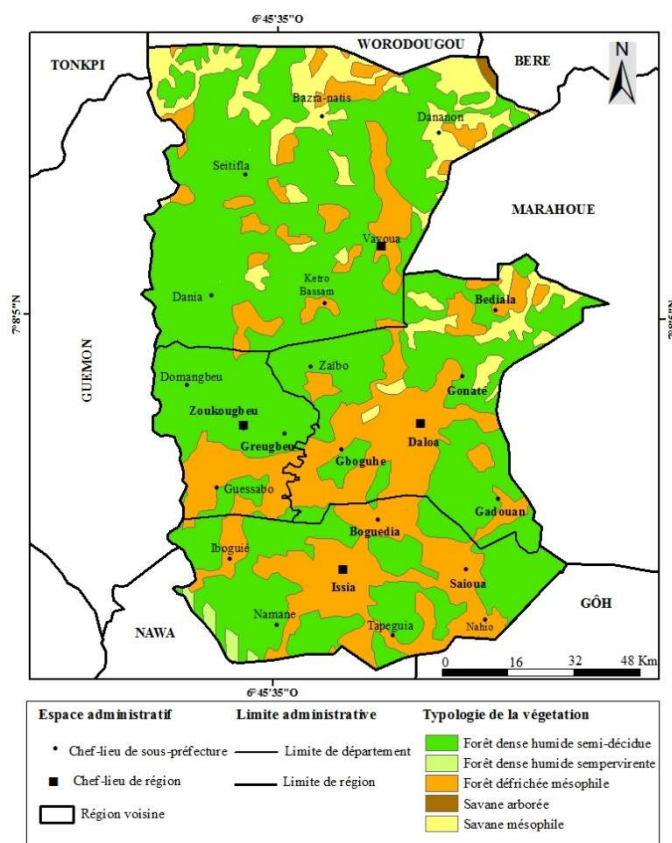


Fig. 1. Végétation de la Région du Haut Sassandra

L'évaluation du patrimoine forestier dans la Région du Haut Sassandra montre que la superficie de la forêt dense est quasiment réduite à quelques lambeaux de forêt secondaires, qui alternent avec des plantations villageoises ou industrielles et des jachères. Cette dégradation avancée du patrimoine forestier résulte de la conjonction de plusieurs facteurs, notamment la dynamique de l'agriculture extensive basée sur la technique des cultures itinérantes sur brûlis, portant sur environ 40 à 50% de la surface forestière, les prélèvements de bois d'énergie, l'exploitation forestière industrielle du bois pour l'acquisition de devises, la pression démographique, les feux de brousse. Ces pratiques ont largement bouleversé la végétation dans notre aire d'étude et ont pour conséquences directes la perturbation du régime pluviométrique dans la région qui est facteur de développement de l'agriculture de plantation. Pour circonscrire cette forte dégradation du patrimoine forestier, l'Etat a mis en place, sur le long terme, un Plan Directeur Forestier (PDF 1988-2015). Parmi les mesures d'ordre structurelles du PDF visant un renforcement de la conservation dynamique de la diversité et des massifs forestiers, on cite notamment la création de l'Office Ivoirien des Parcs et Réserves.

3.1.2 INSTABILITÉ DES DISPONIBILITÉS HYDRIQUES : UN CONTEXTE CLIMATIQUE DÉTÉRIORÉ

Les mobilités spatiales des populations agricoles affectent non seulement la disponibilité foncière, mais aussi conduisent à l'épuisement des réserves forestières et la destruction du régime climatique. La dégradation forestière serait donc responsable de la récession climatique. Même si les signes de l'humanisation de la forêt ivoirienne sont perceptibles depuis bien des siècles, c'est à partir de la seconde moitié du 20^{ème} siècle, et notamment après les indépendances des années 60, que commence la transformation véritable. Alors que les superficies dépassaient les 12 millions d'hectares en 1960, elles n'atteignent plus les 2 millions d'hectares en 2010. Par le passé, la région du haut Sassandra qui a connu d'importantes vagues de migration enregistrait entre 1400 et 1600 mm de pluie. Mais depuis la fin de la décennie 1970, elle enregistre de plus faibles niveaux de précipitations. Les pluies sont inférieures à 1500 mm avec des maxima annuels moyens de 1400 mm. La moyenne pluviométrique connaît une baisse de 325 mm, soit une diminution de 20% du niveau initial des précipitations, [14]. L'on perçoit plus nettement le caractère irrégulier des précipitations à travers la figure 2.

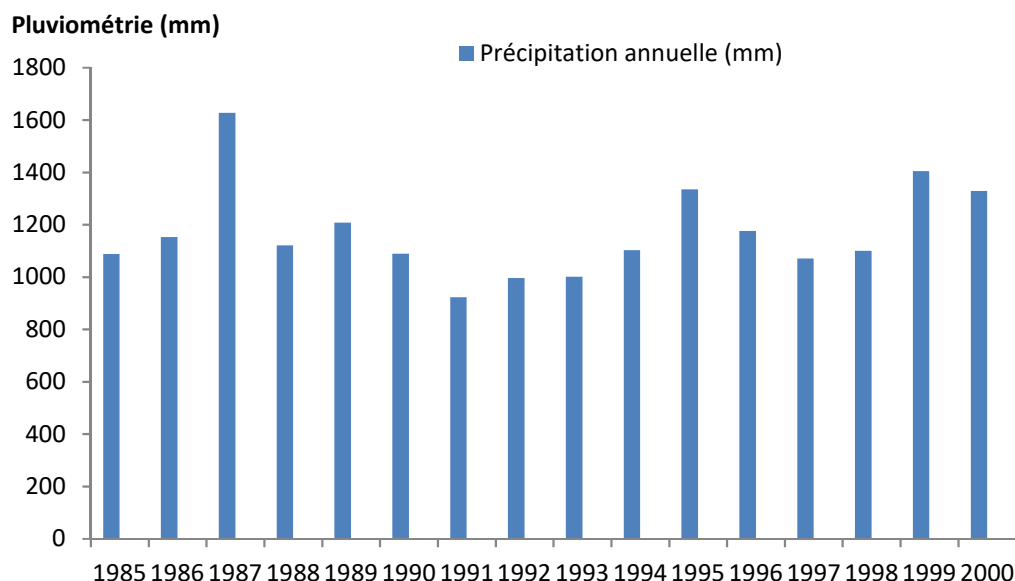


Fig. 2. Niveau moyen annuel des précipitations en millimètre

Source : SODEXAM, 2001

L'analyse de la figure 2 ci-dessus présente une évolution des précipitations allant sur 10 ans c'est-à-dire la période de 1985 à 2000. Il révèle une variation des précipitations dans la région du Haut Sassandra d'année en année. Les précipitations faibles des années observées correspondant respectivement aux années (1985, 1990, 1991, 1992, 1993, 1997) sont en deçà de la moyenne au niveau national qui est de 1200 mm de pluie par an. Les années plus pluvieuses où la somme des précipitations est supérieure à 1200 mm de pluie par an, dominent moins cette distribution. Il s'agit notamment de 1987, 1989, 1995, 1999 et 2000 avec respectivement 1627,6 mm ; 1207,3 mm ; 1334,9 mm et 1403,9 mm, 1329,1mm de pluie par an. Les précipitations enregistrées entre 1991 et 1992 ont de façon générale constituée un frein au rendement des cultures agricoles, voire à la baisse de l'économie de plantation. Nous assistons à une réduction de la pluviométrie, stabilisant entre 900 mm et 1200 mm de pluie jusqu'en 1998. Le niveau des précipitations dans la région du Haut Sassandra, avec des précipitations comprises entre 1000-1400 mm en moyenne, contre 2000-2500 mm en milieu forestier et la longue durée de la saison sèche, associés à la surexploitation des quelques reliques de forêts, réduisent en effet les aptitudes culturelles des sols, compromettant ainsi les récoltes.

3.1.3 THÉORIE DE FLUCTUATION DES PRIX DES PRODUITS AGRICOLES

3.1.3.1 EVOLUTION DES COURS DES PRODUITS DE RENTE : CAFÉ-CACAO

Comme la plupart des régions de Côte d'Ivoire, l'activité agricole constitue un secteur essentiel pour l'économie régionale. Zone de forte production de cultures d'exportation, et notamment de cacao et de café, le Haut Sassandra n'est pas épargné par la crise que traversent ces spéculations agricoles de rentes depuis trois décennies. Cette récession agricole a des incidences sévères sur la situation économique et sociale des planteurs et celle de leur famille. Après une période de croissance régulière de 36% en moyenne par année, entre 1961 et 1978, [16],[4], les cours des principales cultures de rente de la Côte d'Ivoire forestière, que sont le café et le cacao, sont entrés dans une phase de crise, marquée par de fortes baisses et entrecoupée par de brèves remontées. Cette chute des prix des principaux produits agricoles s'est traduite, au niveau de l'Etat, par une restriction des investissements dans le secteur social et dans les équipements publics, et au niveau des paysans par une déstabilisation des rétributions agricoles. De 1966 à 1990, le prix bord champ moyen a peu fluctué. Il a plutôt augmenté progressivement de 65 Francs CFA/kg et 75 Francs CFA/kg pour la fève de cacao et de café, à 400 Francs CFA pour les deux. Cependant, entre 1993 et 2004, le kilogramme de cacao et celui du café ont varié entre 200 francs CFA (valeur minimale) et 700 francs CFA (valeur maximale), [17]. La réalité dans le secteur agricole qui emploie plus de 60% de la population L'on perçoit plus nettement la chute des prix des matières agricoles à travers la figure 3.

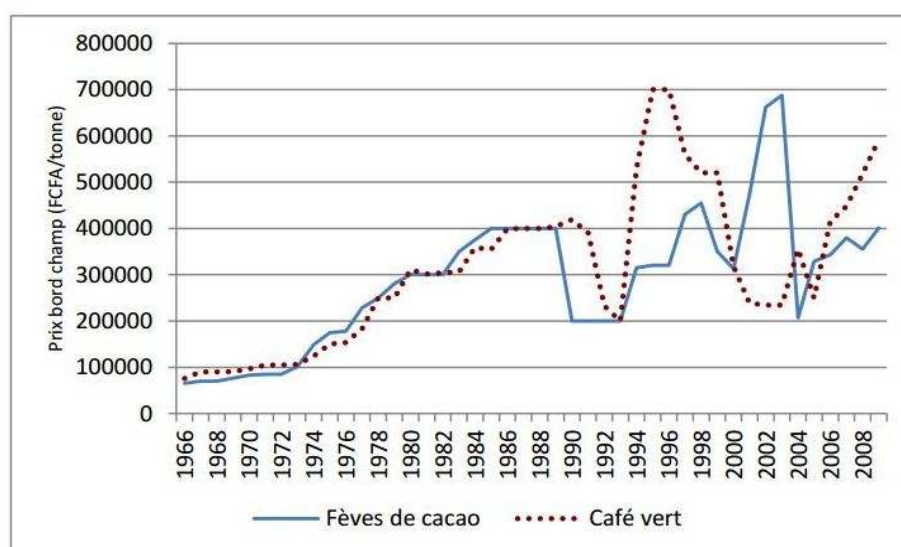


Fig. 3. Fluctuation des prix en Franc CFA « bord champ » du café et du Cacao des campagnes de 1966 à 2008

Source : KOUADIO Olivier, adapté de Malan 2012

A l'analyse de la figure 3 ci-dessus, nous constatons en effet la volatilité du prix bord champ moyen sur la période considérée c'est-à-dire de 1966 à 2008. La fluctuation s'est accentuée à partir de 1990, période au cours de laquelle le gouvernement ivoirien a projeté de mettre en place un programme renonçant ainsi à la stabilisation pluriannuelle des prix bord champ pour une stabilisation intra-annuelle. Ainsi, entre 1993 et 2004, le kilogramme de fève de cacao et celui du café ont varié entre 200 francs CFA (valeur minimale) et 700 francs CFA (valeur maximale). Par contre de 1966 à 1990, le prix bord champ moyen a peu fluctué. Il a plutôt augmenté progressivement sur cette période, partant respectivement de 65 francs FCA/KG et 75 francs CFA pour la fève de cacao et de café à 400 francs CFA/KG pour les deux. Les prix internationaux du café et cacao sont volatiles et les fluctuations de ces prix se transmettent au bord champ (Malan, 2012)¹⁷. Ainsi d'une année à une autre, et à l'intérieur de chaque année, les prix internationaux de café et de cacao sont fortement dispersés autour de la moyenne de la période considérée. Face à ce drame économique et à la précarité foncière, on constate cependant que le pouvoir d'achat des paysans de café et de cacao en Côte d'Ivoire, a significativement diminué en général et ceux de la Région du Haut Sassandra en particulier. En plus de l'instabilité des prix du café et du cacao, ceux-ci seront confrontés à la gestion foncière suite à la saturation des terres arabes. Face à cet épuisement de leurs réserves, les ménages n'ont pu se tourner vers les circuits formels de crédit qui restent peu actifs en milieu rural, voire inexistants dans certaines localités de la région figure 4.

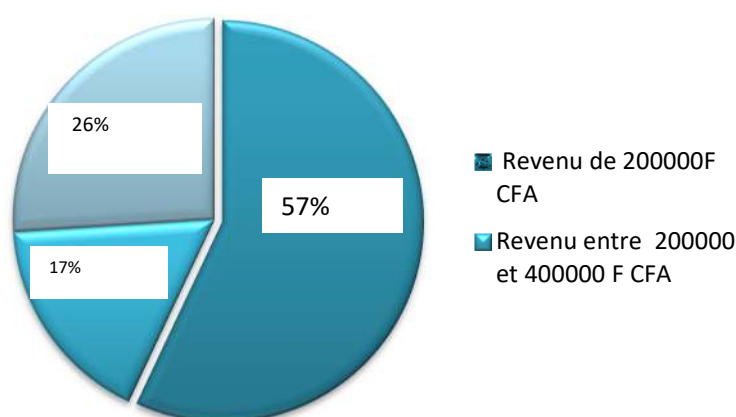


Fig. 4. Revenu annuel des planteurs de café et de cacao (1985-2005)

Source : INS 2006

L'analyse de cette figure ci-dessus, nous permet d'affirmer que les revenus dans l'ensemble des planteurs est faible. Cette situation aurait plusieurs raisons, entre, le non entretien des plantations et à l'abandon partiel de celles-ci. Notre enquête de terrain nous a permis de constater que dans la population des planteurs convertis aujourd'hui en paysans-pisciculteurs (5%) ont abandonné ou mis en jachère leur plantation cacaoyère. Quant aux planteurs qui cultivaient le café, nous avons dénombré 49% d'abandon. La principale raison évoquée est la baisse du prix qui dé motive les producteurs à la pratique de ces deux types de cultures. Cette situation s'est traduite au niveau de l'Etat par une réduction des investissements dans le secteur social et dans les équipements publics, et au niveau des paysans par une déstabilisation des rétributions agricoles. Entre 1970 et 2001, les cours du café et du cacao ont respectivement chuté de 53,7% et 73%. Selon la banque mondiale, en prix constant le kilogramme de cacao est passé de 1575francs CFA en 1970 à 728 francs en 2001, le café arabica de 2683francs CFA à 931francs CFA, le café Robusta de 2165 à 413francs CFA, [18]. Cette détérioration des coûts des matières premières, va considérablement diminuer le pouvoir d'achat des paysans ivoiriens en général et ceux de la Région du Hautassandra en particulier. Les rémunérations que leur générerait la production en commercialisation du café et du cacao ne leur permettent plus de maintenir le niveau de vie qu'ils avaient au début des années 1980. La faible diversification des cultures entraine des problèmes de trésoreries, mettant ainsi bon nombre de paysans de la région dans une situation de dépendance économique et alimentaire ou encore de pauvreté. On l'estime à environ 24,5%, contre 50,1% en 1995 [19]. La seconde raison évoquée est le manque de main d'œuvre agricole qui est lié à la faiblesse des prix. En effet, les métayers étant rémunérés par le partage du revenu des plantations, ces derniers refusent de travailler dans les plantations en période de bas prix. Le manque de moyens financiers met les paysans agriculteurs dans l'incapacité d'acquérir des intrants chimiques, du matériel végétal sélectionné et embaucher la main d'œuvre salariée. C'est l'une des principales raisons de la reconversion des plantations agricoles.

3.1.3.2 EVOLUTION COMPARATIVE DES COURS DES PRODUITS DE RECONVERSION AGRICOLE ET DES PRODUITS DE RENTE

L'engagement des paysans pour pallier les contraintes économiques et aléas alimentaires, a bénéficié de l'assistance des structures publiques et parapubliques (ANADER, Direction Régionale de la Production Animale et Halieutique) et des Organisations Non Gouvernementales (APDRACI). Les initiatives paysannes mises en œuvre sont essentiellement de type vivrier. Il s'agit entre autre de la riziculture, du maraîchage, de la pisciculture et de la culture de maïs. L'analyse des initiatives paysannes de bas-fonds dans la Région du Haut Sassandra, porte sur le fort recours à la pisciculture. Elle se développe assez bien dans toutes les localités outre le département de Vavoua (enquêtes personnelles, 2014-2015). Au niveau des espèces produite, le tilapia est un poisson de grande valeur en Afrique en général et en Côte d'Ivoire en particulier. C'est l'espèce où le cycle de production et reproduction est le mieux maîtrisé par les paysans-pisciculteurs, [20]. Il est également en termes de tonnages, la première espèce produite en pisciculture. Les volumes de tilapia ont assuré 81,4% de la production piscicole, [21]. Les prix sur le marché dépendent de l'état des disponibilités sur le marché, de la taille du poisson et de la distance. Le prix évolue régulièrement contrairement aux prix des produits de rente tels que le café et le cacao, figure 5.

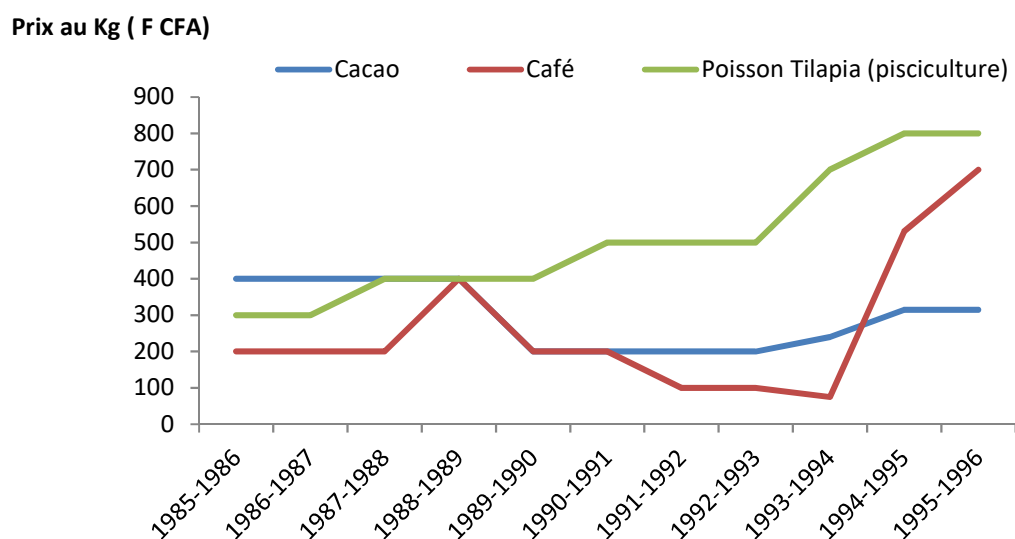


Fig. 5. Prix bord champ du café, du cacao et du poisson tilapia de pisciculture de 1985 à 1996

Source : DGA, DAP (annuaire statistique de l'aquaculture et des pêches, 1997)

L'instabilité des cours des produits agricoles de rentes (qui constituent la base des systèmes de production locaux) sur les marchés mondiaux, associée à la hausse du prix des intrants agricoles et de produits de grande consommation, est un facteur qui menace la sécurité alimentaire des populations rurales. Entre 1985 et 1996, les prix d'achat aux producteurs de café et de cacao n'ont respectivement évolué entre 200 francs et 700 francs CFA comme valeur maximale. De façon spécifique, le kilogramme bord champ de cacao était de 400 francs CFA pendant les campagnes agricoles 1985 à 1988. Ce prix va connaître une baisse de 50% à partir de la campagne 1989 pour se maintenir à une baisse de 21,25% pendant les campagnes 1994 à 1996, soit 315 francs CFA le kilogramme bord champ. Quant au kilogramme bord champ de café fixé à 200 francs CFA pendant les campagnes 1985 à 1991. Ce prix connaîtra une baisse similaire à celui du cacao soit 50% pendant les campagnes agricoles 1992 et 1993 (100 francs CFA), puis à 75 francs le kilogramme à la campagne 1994. La campagne 1995 verra une hausse de 455 francs CFA soit 530 francs le kilogramme, pour 700 francs à la campagne 1996. Contrairement à l'évolution irrégulière des produits des prix des produits de rente (café-cacao), dû à une demande inélastique par rapport au prix, celui des produits de pisciculture, connaît une évolution régulière et uniforme. La pisciculture dans la Région du Haut Sassandra a enregistré une progression positive, tant en volume qu'en chiffre d'affaire. De 300 francs CFA le kilogramme en 1985, ce prix est passé à 400 francs en 1987 puis à 500 francs CFA en 1990 pour se stabiliser à 800 francs CFA en 1996, [22]. L'explication réside dans le fait que la région rencontre d'énormes difficultés pour s'approvisionner en protéine halieutique. Le projet d'appui à la profession piscicole du Centre-Ouest (PPCO), exécuté entre 1992 et 2000, a également contribué à la diffusion de cette innovation.

3.2 IDENTIFICATION DES ACTEURS DE LA PISCICULTURE DANS LA RÉGION DU HAUT SASSANDRA

Elle vise à expliquer le profil socio-démographique des propriétaires des unités piscicoles et des systèmes de pisciculture. Il s'agit de les appréhender à travers leur origine, leur sexe et leur âge. Les différentes activités piscicoles développées dans la Région du Haut Sassandra sont partagées entre les migrants nationaux et les non nationaux qui sont généralement les ressortissants des pays limitrophes tels que les burkinabés et les maliens. Contrairement au domaine de la pêche, la structure des exploitants piscicoles par nationalité révèle une prédominance des migrants ivoiriens (allochtones) par rapport aux ressortissants des autres pays (allogènes), Tableau 1.

Tableau 1. Répartition des pisciculteurs selon leur statut migratoire et le type pisciculture

Statut migratoire Type de pisciculture	Autochtone	Allochtone	Allogène	Total
Simple	34	131	25	190
	11,15%	42,95%	8,19%	62,30%
Intégrée	21	76	18	115
	06,88%	24,91%	5,90%	37,70%
Total	55	207	43	305
	18,03%	67,87%	14,10%	100%

Source : Enquête personnelle 2014-2015

L'analyse du tableau 1 révèle que la pisciculture dans la Région du Haut Sassandra est dominée par les migrants, soit 81,97% de l'effectif total. Dans le détail, les migrants ivoiriens (allochtones) sont majoritaire avec environ 207 exploitants piscicoles enquêtés, soit 67,87% du total des pisciculteurs. Ces allochtones sont, d'une part, des populations migrantes venues d'autres régions de la Côte d'Ivoire (allochtones nationaux). Elles sont donc ivoiriennes, mais vivent hors de leurs régions et de leurs villages d'origine. Quant aux Les migrants non ivoiriens (allogènes), ils ne représentent que 14,10% contre 18,03% d'autochtones. Les ivoiriens allochtones sont composés essentiellement de Sénoufo (58,3%), de malinké (31,2%), de Baoulé (5,6%) et 4,9% composés d'autres groupes ethniques originaires de la Côte d'Ivoire. D'autre part, il s'agit des exploitants piscicoles originaires des pays autres que la Côte d'Ivoire (allogènes). Ce sont des populations non-ivoiriennes composées de Burkinabé (49,3%), de Malien (31,4%) et 22,3% composés Ghanéens, Nigériens et de béninois.

De façon générale, 85,90% des exploitants piscicoles qui pratiquent la pisciculture sont des ivoiriens, contrairement au domaine de la pêche où ils sont totalement absents. Cette forte proportion des ivoiriens au sein de cette sous-activité halieutique est révélatrice de l'appropriation de la pisciculture intégrée par les nationaux et particulièrement les allochtones. Cette observation générale connaît des spécificités à l'échelle des départements de la région, figure 5.

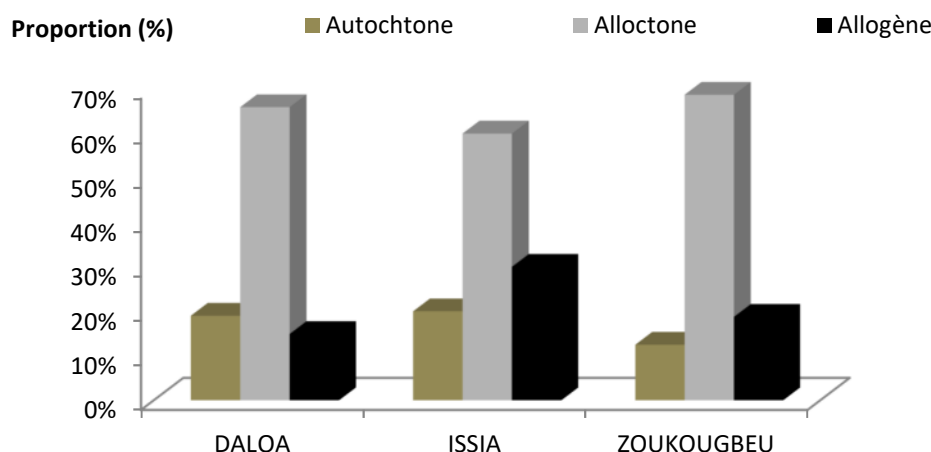


Fig. 6. Répartition des pisciculteurs selon le statut migratoire par département

Source : Enquête personnelle 2014-2015

L'analyse de la figure 5 ci-dessus, nous permet d'affirmer que les allochtones nationaux Sénoufos, Malinké et Baoulé sont majoritaires dans les départements de Zoukougbeu (68,75%), Daloa (65,95%) et Issia (60%). Concernant les autochtones Bété, Gouro et Gwandéboua, ils sont en nombre réduit à Zoukougbeu (12,5%) et Daloa (19,15%) contrairement au département d'Issia (20%). Les non-nationaux (allogènes) représentent moins de (20%) des pisciculteurs pratiquant la pisciculture intégrée enquêtés dans chacun des départements, outre le département d'Issia (30%).

Spatialement, les allochtones nationaux constituent la masse la plus importante des exploitants piscicoles pratiquant la pisciculture intégrée dans la région du Haut Sassandra (66,09%). Les raisons qui expliquent cette forte représentation des allochtones dans la pisciculture intégrée sont diverses. Ils ont été les premiers à s'engager dans l'innovation piscicole pour diversifier leur exploitation et faire face aux incertitudes liées aux cultures de rentes (chute des cours, saturation des terres, baisse des aptitudes culturelles des sols), [23]. Aussi, à la fin des années 1950, de nombreux migrants (allochtones nationaux) qui ont afflué dans cette région pour y pratiquer la cacao-culture ont adhéré massivement au Projet Piscicole du Centre Ouest (PPCO) initié entre 1992 et 2000, [24]. Ce projet avait pour objectif de faire de la pisciculture une diversification complémentaire des économies de plantation (Oswald 1997). Ce taux est plus représentatif à Bediala (68,32%), ce qui pourrait s'expliquer par leur adhésion total au projet piscicole en 1992.

L'intérêt des autochtones (Bété, Gouro et Gwandéboua) pour les bas-fonds est récent, ce qui explique leur faible taux (18,26%). Ces derniers considéraient les bas-fonds comme des milieux nuisibles, donc concédés aux migrants (allochtones et allogènes) qui trouvaient une opportunité de disposer du foncier et de s'insérer dans le tissu économique rural, [23]. Ce n'est qu'à la suite de la diminution des disponibilités forestières et de la crise des cultures de rentes que les populations autochtones ont véritablement commencé à s'intéresser aux bas-fonds, [25], [13]. La faible représentativité des allogènes ou étrangers pourrait s'expliquer en partie par la nouvelle loi foncière qui est plus ou moins contraignante pour les étrangers. Cette présence massive des allochtones est similaire en pisciculture extensive avec 85,3% à Issia. De façon générale, cette activité est dominée par les allochtones du fait qu'ils avaient le monopole du foncier (bas-fond) avant les différents politiques piscicoles développés dans la localité.

3.3 PISCICULTURE, UNE ACTIVITÉ DE RECOMPOSITION SPATIAL : LES BAS-FONDS

Dans le Haut Sassandra, la progression de la frontière agricole sur les terres couvertes de forêts a constitué le principal mode d'accès au foncier cultivable. L'engagement des paysans dans la mise en valeur des bas-fonds à divers enjeux, dont celui d'assurer en quantité et en qualité les besoins alimentaires. Ces espaces se prêtaient de plus mal aux cultures de rente (café-cacao) d'où leur maintien dans l'ombre des systèmes de production. Ce n'est qu'avec la saturation des massifs forestiers et surtout la mise en œuvre de divers projets publics et parapublics que les paysans ont commencé à s'intéresser aux bas-fonds.

Outre la production de poissons, l'activité piscicole permet un meilleur stockage de l'eau qui est un élément du développement agricole. A partir de ces projets, les paysans-pisciculteurs ont trouvé l'intérêt de se tourner vers d'autres bas-fonds jusque-là sous exploités et qui n'étaient pas concernés par le projet. Les activités des bas-fonds incombent aussi aux hommes qu'aux femmes. Une division sexuelle des activités de production s'observe toutefois au niveau de la pisciculture et du maraîchage. La pisciculture aux hommes et le maraîchage est l'affaire des femmes, figure 6.

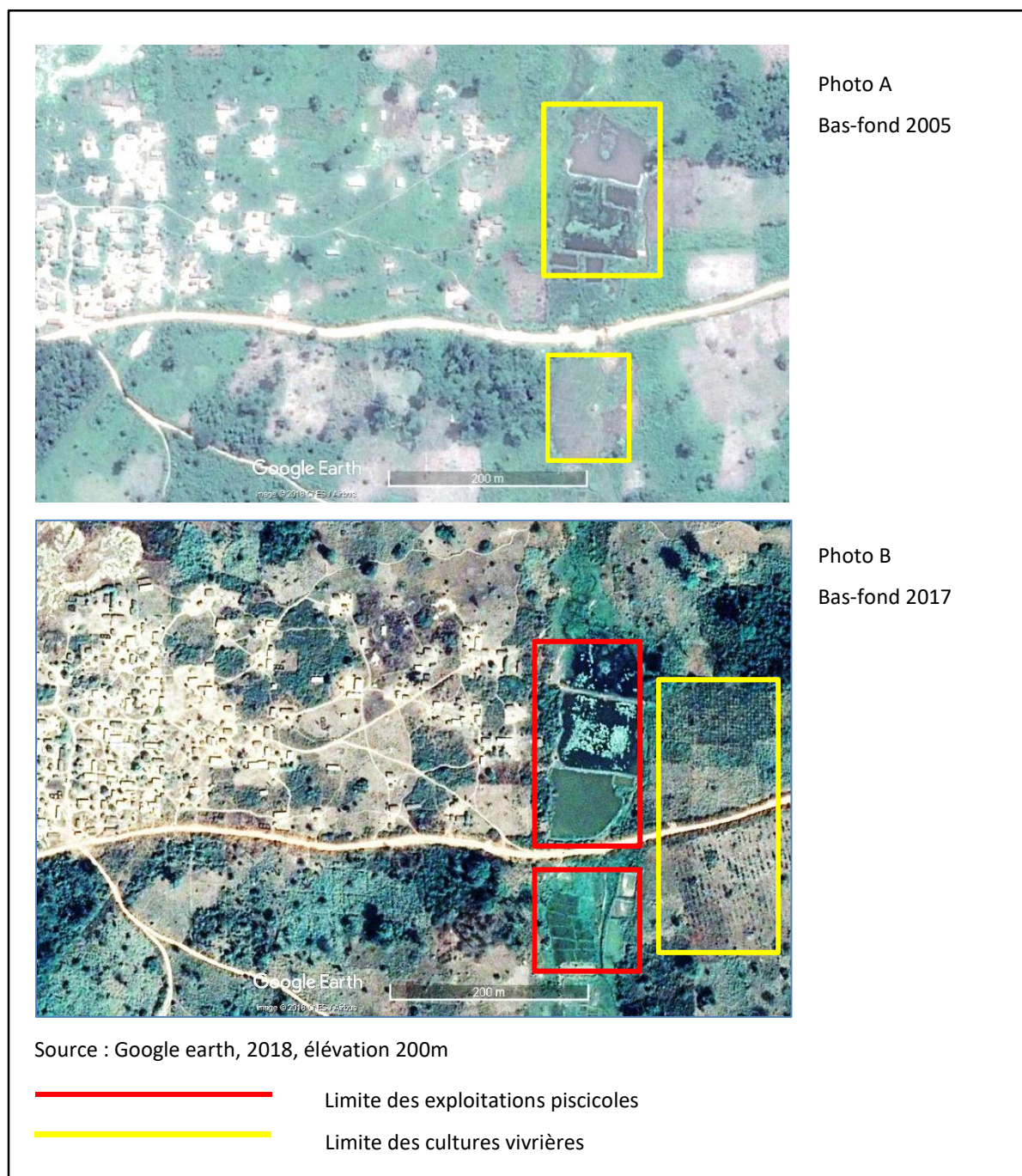


Fig. 7. Vue aérienne de la valorisation des bas-fonds à Gnanagonfla

Auteur : KOUADIO Olivier 2018

Le bas-fond est un espace que l'essor de l'agriculture de rente, particulièrement celui du binôme café-cacao, des années 1960-1980 et la grande disponibilité des terres forestières semble avoir mis au revers. Le bas-fond était faiblement intégré dans les systèmes de production agricole traditionnel. Les rares initiatives agricoles qui s'y déroulaient portaient sur la culture

du riz, du maïs et des maraîchers, photo ci-dessus. Elles étaient menées par les femmes et les migrants. La production était destinée essentiellement à l'autoconsommation. Le durcissement de la crise agricole depuis le milieu des années 1980 avec l'instabilité davantage à la baisse qu'à la hausse, des prix des produits agricoles et surtout la saturation foncière et des aptitudes culturelles des plantations de café et de cacao, va augmenter l'intérêt pour le bas-fond.

Une décennie plus tard l'émigration urbaine, relative à la crise d'emploi dans les villes, a aussi contribué à ce regain d'intérêt pour les bas-fonds, [25]. Ils vont réussir à s'insérer dans le tissu économique en valorisant les bas-fonds avec des activités innovantes telles que la pisciculture, figure 48 ci-dessus. La disponibilité en terre autour des bassins piscicoles permet à de nombreuses femmes de disposer un tant soit peu du foncier pour développer des activités vivrières capables de leur procurer des revenus. En effet, ces agricultrices sont épouses ou non des pisciculteurs. Les femmes qui font la demande de ces espaces, y ont accès dans la limite de la surface disponible. Les pisciculteurs sont dans la majeure des cas favorables à ces mises en valeurs, du fait qu'en plus du vivrier développé par ces agricultrices, elles entretiennent les exploitations piscicoles. Il leur ait cependant, déconseillé d'utiliser des pesticides pour l'entretien, [13].

3.3.1 PISCICULTURE, UNE ACTIVITÉ ESSENTIELLE DANS LA DIVERSIFICATION DES REVENUS AGRICOLES

La diversification des activités de production et des rétributions agricoles est la première source de motivations avancées par les paysans pour justifier leur engagement dans l'activité piscicole. La crise que traverse l'économie de plantation du binôme café-cacao qui constituait leur première source de revenu, a compromis la situation financière et surtout alimentaire des ménages. Cette situation est davantage marquée chez les ménages autochtones que chez ceux des migrants, 29,2% contre 75%, [23]. Par des initiatives de création de parcelles piscicoles, les paysans souhaitent diversifier leur agricole longtemps dépendant des cultures d'exportation. C'est aussi une stratégie de réduction de la dépendance vis-à-vis du marché et de contournement des achats en denrées vivrières afin de maintenir de la trésorerie. Ainsi, de nombreux systèmes piscicoles dont la pisciculture intégrée.

3.3.2 PISCICULTURE INTÉGRÉE, COMME SOURCE DE RENTABILITÉ FINANCIÈRE

La plupart des cultures associées à la pisciculture dans le Haut Sassandra sont des cultures d'appoint, exclusivement destinées à la consommation et le surplus est commercialisé. Cette production rizicole est estimée pour l'année 2014 à Gnanagonfla (4200kg), Luenoufla (4000 kg), Belle-ville (4500 kg) et Gregbeu (420 kg). Dans ces localités le système de l'intégration est mieux maîtrisé. La production piscicole estimée à Gnanagonfla (65 000 kg), Luenoufla (57 000 kg), Belle-ville (6180 kg) et Greubgé (2300 kg), Gonaté (2000 kg) et Saïoua (600 kg), [11]. La production moyenne est respectivement de 1,3t/ha pour le riz et 0,75t/ha pour le poisson.

De façon générale, les localités de Luenoufla et de Gnanagonfla pourvoient en effet à 62,5% de la production du riz et 51,5% de la production du poisson, ce qui leur permet d'avoir des revenus assez intéressants. Au terme des activités de récolte, le riz et le poisson obtenus empruntent deux voies. La première est l'autoconsommation et la seconde, la vente sur les marchés locaux ou environnants. Le riz est en grande majorité destiné à l'autoconsommation. Près de 70% des récoltes servent à l'alimenter le grenier familial. Les productions piscicoles sont quant à elles prioritairement destinées au marché. Environ 58% des récoltes de poissons font l'objet de vente, [4]. Il est par contre difficile d'avoir des chiffres précis et synthétiques sur le maraîchage. Cependant, il est important de noter que les productions sont variées, les surfaces cultivées par chaque femme changent et évoluent au cours de l'année ainsi que les itinéraires techniques. Les intrants apportés, les ventes effectuées ne sont pas notées et les réponses à ces questions sont souvent vagues, tableau 2.

Tableau 2. Données de production intégrée (F.CFA) d'une exploitation de 1,02 ha à Gnanagonfla : point des dépenses

Charges	Pisciculture	Riziculture	Maraîchage
Alevins et semences (F CFA)	55500	15000	0
Matériels divers (F CFA)	75000	17000	8000
Autres Charges	20.000	15000	0
Durée du cycle (jrs)	330	150	0
Sous-total des charges	150.500	47150	8000
Total (FCFA)	205 650		

Source : Enquêtes personnelles 2014-2015

L'analyse du tableau 2 ci-dessus révèle que le système de pisciculture intégrée est un peu couteux (205650 francs CFA) par rapport au revenu moyen annuel en milieu rural. Le total des charges montre qu'il nécessite de modestes moyens financiers (en se référant au pouvoir d'achat en milieu paysan). Cependant, du fait que ces dépenses soient échelonnées, les paysans pisciculteurs ne perçoivent pas sur le coup les poids de ces investissements. Ils arrivent à couvrir leur besoin pour chaque cycle de production parce qu'ils travaillent en partie à crédit pour certains soit 27,6% de l'effectif total. Cette situation de crédit impose un suivi vraiment attentionné des exploitations piscicoles afin d'assurer une bonne production dans l'optique de rembourser entièrement ce qui est dû afin de pouvoir bénéficier à nouveau d'autres prestations. Le rendement moyen de l'exploitation est de 0,853 tonnes/ha par cycle, tableau 3.

Tableau 3: Données de production intégrée (F CFA) d'une exploitation de 1,02 ha à Gnanagonfla : Point des revenus

Exploitation	Prix unitaire pisciculture (F CFA)	Production (KG)	Total (F CFA)
Pisciculture	1 000	853	8 53 000
riziculture	150	1 425	213 750
Maraîchage	0	0	140 000
Revenu brute (F CFA)	1 206 750		
Revenu net (F CFA)	1 001 100		

Source : Enquêtes personnelles juillet 2015

L'analyse du tableau 3 ci-dessus laisse apparaître que pour une exploitation intégrée de 1,02 hectare, les charges de production sont à 205 650 francs CFA. Vu la situation de crise actuelle dans l'économie rurale, les modèles piscicoles intégrant les systèmes d'entraide présentent bien plus d'avantages pour les paysans que les autres modèles qui exigent la mobilisation d'importants moyens. Le revenu brut obtenu sur le nombre de mois de travail, nous donne une valeur de 1 206 750 francs CFA. Le revenu net est de 1 001 100 francs CFA, lorsque la production obtenue est commercialisée. Avec un tel revenu net, le revenu mensuel tiré de la pisciculture intégrée dans la Région du Hautassandra s'élève à 83 425 francs CFA. Un revenu qui valorise ce sous-secteur d'activité tout en améliorant la trésorerie des paysans. Partant de ce constat, nous pouvons déduire que dans l'ensemble, la pisciculture intégrée est rentable financièrement lorsqu'elle est entièrement commercialisée, figure 7.

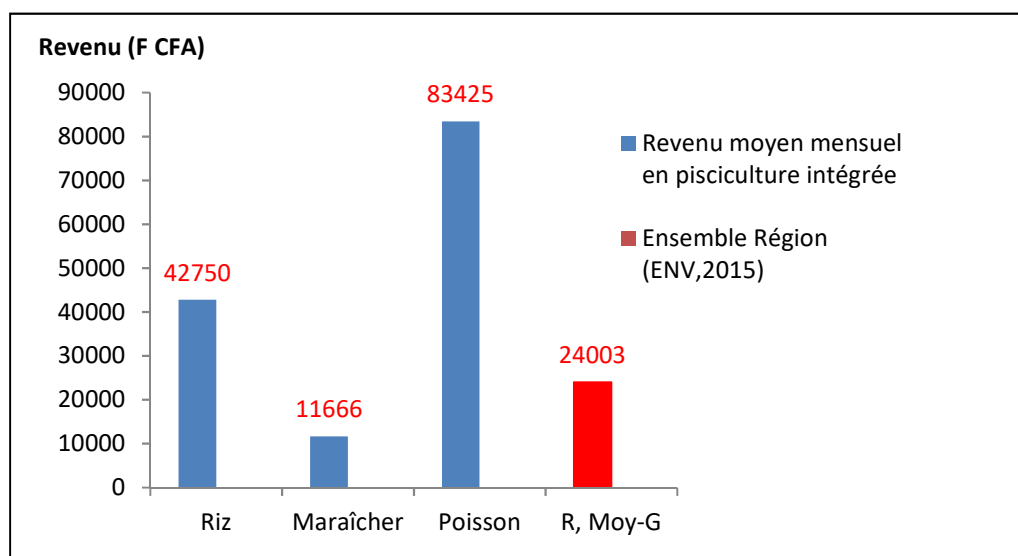


Fig. 8. Revenu mensuel par type de culture dans la Région du Hautassandra
R Moy-G : Revenu moyen mensuel en milieu rural (Région du Hautassandra en 2015= 24003 francs CFA)

Source : Enquête personnelle 2014 -2015

Le revenu du poisson (8 3425 francs CFA) en système de pisciculture intégrée reste largement supérieur au revenu moyen mensuel en milieu rural observé dans la Région du Hautassandra qui est de 24 003 francs CFA (Env., 2015). Outre la

pisciculture, on remarque que les cultures vivrières que sont le riz (42 750 francs CFA) et le maraîcher (11 666 francs CFA), occupent également une position non moins négligeable dans les revenus de l'unité agricole. Le numéraire généré par les cultures vivrières joue un rôle social particulièrement important. Ceux-ci se positionnent en effet de plus en plus comme la principale tirelire des ménages ruraux du Centre-Ouest, [4]. Ces revenus reviennent cependant en priorité aux hommes.

En ce qui concerne la pisciculture, le numéraire provenant de la vente des poissons échoit en quasi-totalité aux maris. Dans l'ensemble, on constate que le revenu piscicole est supérieur à ceux du riz et du maraîcher. Ceci pourrait s'expliquer par un savoir-faire piscicole. Le revenu de chaque production est fonction de la quantité commercialisée. Au regard des revenus tirés à la fin de chaque cycle dans ces trois types d'exploitation du système intégré, il se dégage deux tendances production. L'une pour un gain monétaire (pisciculture) et l'autre pour assurer leur propre alimentation au point d'occasionner des pertes financières (maraîcher, riziculture).

4 CONCLUSION

Les difficultés en cours dans les campagnes forestières ivoiriennes en général et dans la Région du Haut Sassandra en particulier, entre autres la saturation des terres agricoles, la dégradation des aptitudes culturales des sols, l'instabilité des prix des matières premières agricoles, ont entraîné une situation de pauvreté et d'insécurité alimentaire qui menace les campagnes ivoiriennes. Devant cette paupérisation, diverses politiques publiques et des stratégies paysannes, assistées ou pas par les institutions de coopération internationale, sont mises en œuvre afin de redynamiser les activités économiques, l'agriculture en particulier et l'économie rurale et sécuriser l'avenir des populations. La vulgarisation de la pisciculture au modèle paysan et la mise en œuvre de divers projets publics et parapublics de développement du vivrier au cours des années 1990 ont également joué un rôle essentiel dans ces initiatives de développement de l'espace rural. Cette réorientation de la politique agricole ivoirienne en général et en particulier dans le Haut Sassandra s'inscrit dans le cadre général du Projet d'Appui aux services agricoles (PNASA). De façon spécifique, le PNASA avait pour objectif d'améliorer l'organisation et la gestion des services de vulgarisation, d'améliorer la connaissance et le savoir-faire des producteurs pour augmenter de façon durable leur productivité et leurs productions et de promouvoir des systèmes de productions stables et durables au plan environnemental [26].

REFERENCES

- [1] YEBOUE K., 2016, *Problématique de la riziculture dans région de Gbêkê*. Thèse de Doctorat à l'Université Alassane Ouattara, 335p
- [2] PND, 2012, *République de Côte d'Ivoire, Tome I: résumé analytique, 2012-2015*, 61p.
- [3] RUF, 1995, *Boum et crise du cacao, les vertiges de l'or brun*, Montpellier, CIRAD, SAR Kartthala, 1995
- [4] ASSI-Kaudjhis, 2008, *Crise agricole et reconversion des bas-fonds par la rizipisciculture dans le centre-ouest de la Côte d'Ivoire : enjeux de l'implication des femmes*, in *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement (GEOTROPE)*, Abidjan, Educ, pp. 20-35
- [5] JANIN P., 2001, « L'insécurité alimentaire rurale en Côte d'Ivoire, une réalité cache, aggravée par la société et le marché », In *Cahiers Agricultures* n°10, 2001; pp 233-241.
- [6] PAM, FAO, 2009, *Evaluation approfondie de la sécurité alimentaire des ménages ruraux en Côte d'Ivoire*. Programme alimentaire mondiale des Nations Unies, Rome 2009.
- [7] DABBADIE I., 2008, *L'optimisation de la densité d'empeusement d'un étang de pisciculture, pratique de l'aquaculture*/encyclopédie/www.Aquatrop.fr. (Consulté le 10 septembre 2015).
- [8] FAO 2008, *Aperçu général du secteur national d'aquaculture*, Département de Pêches et Aquaculture, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (consulté en Août 2016). Rome FAO, [http://www.fao.org/fishery//countrysector/naso_Côte d'Ivoire](http://www.fao.org/fishery//countrysector/naso_Côte%20d'Ivoire) 43p.
- [9] MIPARH (Ministère de la Production Animale et des ressources Halieutiques), 2014 : *Plan Stratégique de Développement de l'Elevage, de la Pêches et de l'Aquaculture 2014-2020* ; 102p
- [10] FAO 2014, *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture*. Rome, Italie, 255p
- [11] APDRACI, (2016), *Rapport final, volet appui à l'installation et au renforcement des capacités des pisciculteurs*, 34p.
- [12] AVIT, Pediel, Sankaré, 1999 : *Diversité biologique de la Côte d'Ivoire et au Maroc, étude du Centre de développement*, OCDE, Paris, 108p.
- [13] ASSI-Kaudjhis 2005, *Thèse de Doctorat : étude géographique de l'aquaculture en Afrique subsaharienne : exemple de la Côte d'Ivoire*, 368p.
- [14] BROU, 2005, *Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire*, HDR, Université des sciences et technologies de Lille. 212p.

- [15] GUEHI 2009, Impacts des changements climatiques dans les différentes zones agro-climatiques de l'Afrique de l'Ouest en zone sub-humide : cas de la Côte d'Ivoire, communication personnelle présentée à l'atelier international sur l'adoption de l'agriculture Ouest-Africaine aux changements climatiques, Ouagadougou, Burkina Faso 27-30 Avril 2009.
- [16] DIAN 1985, L'économie de plantation en Côte d'Ivoire forestière, Abidjan NEA 1985. Direction des statistiques de la Documentation et de l'Informatique (DSDI), recensement national de l'agriculture 2001, Abidjan, DSDI 2005.
- [17] MALAN 2012, Stabilisation des prix du café et du cacao en Côte d'Ivoire, BUPED n°19/2012, 20p.
- [18] BANQUE Mondiale, 2002- 2007, Data and Statistics <http://www.Worldbank.org>, consulté le 15 Mai 2017 à 17h.
- [19] OUATTARA, 1999, Profil de pauvreté en Côte d'Ivoire, Document projet piscicole, 62p.
- [20] HEM S., AVIT J., 1994, *First results on "acadjas-enclos" as an extensive aquaculture system West Africa Bull*, 13p.
- [21] FAOSTAT, 2010, Statistique de la FAO de 1961 à 2009 , www.fao.org, consulté le 16 Mai 2017 à 19h.
- [22] MINAGRA, 1998, Rapport de mission de suivi et d'évaluation du projet de développement rural de la Région Forestière Ouet. Abidjan Direction de la Programmation 13p. + annexes.
- [23] ASSI-KAUDJHIS J. P. ; 2011, « *Fonctions et contraintes de l'aquaculture en Afrique de l'Ouest* ». *Le journal des sciences sociales*, pp 77-81.
- [24] OSWALD ; Léonard, 1998, Projet de développement de la pisciculture en milieu rural MH/E, CIRADEMVT, 123p.
- [25] BEAUCHEMIN, 2002, Des villes aux villages : l'essor de l'émigration urbaine en Côte d'Ivoire, *Annales de Géographie*, n°624, Paris, Armand Colin, pp.157-179.
- [26] GLOUNAH, 2000, Etude sur la vulgarisation agricole en Côte d'Ivoire, <http://www.fao.org/frdirect/exer0028htm>, consulté 28 Avril 2017 à 16h.

METHODES ANALYTIQUES D'AMELIORATION DE LA CONVERGENCE DES SERIES NUMERIQUES REELLES

[ANALYTICAL METHODS OF AMELIORATION OF CONVERGENCE OF REELS NUMERICALS SERIES]

Théodore Mapendo Wendo

Département de Mathématique-physique,
Institut Supérieur Pédagogique d'Idjwi (ISP-IDJWI),
Idjwi, Sud-Kivu, RD Congo

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: To study the convergence of a real digital series; it calculates the sum S_n of the first n terms. Therefore $\lim_{n \rightarrow \infty} S_n$ is calculated (if this limit exists and is equal to S , then the series converges and it converges to S ; if this limit doesn't exist or is infinite, then the series diverges). In practice, it is difficult to calculate S_n for some series. In wanting to get around that, mathematicians have developed convergence criteria deciding on the convergence of the series without calculating the sum. Such is the case of D'Alembert, Cauchy, Riemann, RAABE, DUHAMEL, Gauss ... When a series is recognized convergent, we calculate the approximate sum: the series is converging slowly (for its sum precisely, it is necessary take a large number of words), the series is rapidly convergent (for its sum precisely, take a small number of terms). The transition from slow convergence to the rapid convergence is a numerical analysis problem. So, in this article we would like to get this problem of forgetting. The improvement of the convergence of digital series is obtained from certain transformations using various methods.

KEYWORDS: KUMMER'S method, Euler's method, Krylov's method, Trigonometrics series.

RESUME: Pour étudier la convergence d'une série numérique réelle; on en calcule la somme S_n de n premiers termes, on calcule $\lim_{n \rightarrow \infty} S_n$ (si cette limite existe et est égale à S , alors la série converge et elle converge vers S ; si cette limite n'existe pas ou est infinie, alors la série diverge). Dans la pratique, il est difficile de calculer S_n pour certaines séries. En voulant contourner cette difficulté, les mathématiciens ont élaboré des critères de convergence : on décide de la convergence de la série sans en calculer la somme. Tel est le cas de D'ALEMBERT, CAUCHY, RIEMANN, RAABE, DUHAMEL, GAUSS,...Lorsqu'une série est reconnue convergente, on en calcule la somme approchée : la série est lentement convergente (pour obtenir sa somme avec précision, il faut prendre un grand nombre de termes), la série est rapidement convergente (pour obtenir sa somme avec précision, il faut prendre un petit nombre des termes). Le passage de la convergence lente à la convergence rapide est un problème d'analyse numérique. Ainsi, dans cet article nous voudrions faire sortir ce problème de l'oubli. L'amélioration de la convergence des séries numériques est obtenue à partir de certaines transformations utilisant diverses méthodes.

MOTS-CLEFS: méthode de KUMMER, méthode d'Euler, méthode de Krylov, séries trigonométriques.

1 INTRODUCTION

1.1 NOTE LIMINAIRE

L'étude des séries est une notion complexe de l'analyse mathématique. Les notions de généralité présentées dans cet article sont supposées être connues. Ces notions font allusion à la convergence lente ou rapide des séries. Cet article sera plus focalisé au développement de certaines méthodes comme la méthode de KUMMER, ABEL, KRYLOV,...expliquant l'amélioration de la convergence des séries numériques réelles.

1.2 GENERALITES

1.2.1 DÉFINITION ET PROPRIÉTÉ

1.2.1.1 DÉFINITION

- Considérons la suite (u_n) avec $n \in \mathbb{N}$. Soit la suite (S_n) définie par $S_n = u_0 + u_1$; $S_2 = u_0 + u_1 + u_2$; ...; $S_n = u_0 + u_1 + u_2 + \dots + u_n = \sum_{k=0}^n u_k$. (S_n) est une série de nombres réels associée à (u_n) . Elle est appelée série numérique et $u_0, u_1, u_2, \dots, u_n, \dots$ en sont les termes. S_n est appelé somme partielle d'ordre n de la série.
- Une série (S_n) est dite convergente, si la suite (S_n) des sommes partielles tend vers une limite S quand n augmente indéfiniment; c'est-à-dire $S = \lim_{n \rightarrow \infty} S_n$. S est appelée somme de la série. On note $S = \sum_{n=0}^{\infty} u_n$ ou $\sum u_n$.
- La série (S_n) sera divergente si la limite de la suite (S_n) n'existe pas ou est infinie quand n tend vers l'infini.

EXEMPLES:

- 1) considérons la série de terme général $u_n = \frac{1}{2^n}$.
 $S_0 = 1 = 2 - 1$; $S_1 = 1 + \frac{1}{2} = 2 - \frac{1}{2}$; ..., $S_n = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \dots + \frac{1}{2^n} = 2 - \frac{1}{2^n}$. On a: $\lim_{n \rightarrow \infty} S_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(2 - \frac{1}{2^n}\right) = 2$. La série est convergente et sa somme vaut 2
- 2) Considérons la série de terme général $u_n = (-1)^n$. $S_n = 1 - 1 + 1 - \dots + (-1)^n$. Pour cette série, $S_0 = 1$, $S_1 = 1 - 1$, $S_2 = 1 - 1 + 1$, ..., $S_{2n} = 1$, $S_{2n+1} = 0$ ($n \in \mathbb{N}$). La suite (S_n) des sommes partielles d'ordre n n'a pas de limite, elle est divergente: la série est divergente
- 3) soit la série de terme général a_n et de somme $S_n = \frac{n^2+1}{n-1}$, est divergente. En effet, $S = \lim_{n \rightarrow \infty} S_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n^2+1}{n-1} = \infty$, avec $n \in \mathbb{N}^*$.

1.2.1.2 PROPRIÉTÉS

PROPRIÉTÉ 1 :

- A toute suite (u_n) des nombres réels est associée une série de terme général u_n
- A toute série (S_n) est associée une suite u_n

PROPRIÉTÉ 2 :

Pour qu'une série numérique converge, il est nécessaire que son terme général tende vers zéro lorsque n tend vers l'infini. C'est-à-dire $\lim_{n \rightarrow \infty} u_n = 0$.

DEMONSTRATION :

Soit la série $V_0 + V_1 + V_2 + \dots + V_n + \dots$. Si la limite de la suite S_n des sommes partielles $S_0, S_1, S_2, \dots, S_n, \dots$ existe, alors $S_n - S_{n-1}$ tend vers zéro n tend vers l'infini

En effet, si $\lim_{n \rightarrow \infty} S_n = a$, alors $\lim_{n \rightarrow \infty} S_{n-1} = a$ et $\lim_{n \rightarrow \infty} (S_n - S_{n-1}) = a - a = 0$ or $S_n - S_{n-1} = u_n$

Donc $S_n - S_{n-1} = 0$. Par suite, $\lim_{n \rightarrow \infty} 0 = 0$.

EXEMPLES :

Considérons les séries des termes généraux $a_n = \frac{1}{2^n}$ et $b_n = \frac{1}{n}$. On a $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{2^n} = 0$ et $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} = 0$.

Mais la première est convergente tandis que la seconde est divergente. 2) La série de terme $a_n = e^{\frac{1}{n^2}}$. $\lim_{n \rightarrow \infty} e^{\frac{1}{n^2}} = e^0 = 1$. Cette série diverge.

PROPRIETE 3 :

On ne change pas la nature d'une série en supprimant un nombre fini par des termes.

EXEMPLES :

Considérons la série réelle de terme général $S_n = \frac{1}{n(n+1)}$. $S_n = \left(1 - \frac{1}{2}\right) + \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3}\right) + \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{4}\right) + \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{5}\right) + \dots + \left(\frac{1}{n-2} - \frac{1}{n-1}\right) + \left(\frac{1}{n-1} - \frac{1}{n}\right)$.
 $S_n = 1 - \frac{1}{n+1}$ et $\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{1}{n+1}\right) = 1$.

Si nous supprimons les dix premiers termes de la série, alors nous avons $u_{10+1} + u_{10+2} + u_{10+3} + \dots = (S_n) - (S_{10})$.

$$S - S_{10} = 1 - \left[\left(1 - \frac{1}{2}\right) + \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3}\right) + \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{4}\right) + \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{5}\right) + \left(\frac{1}{5} - \frac{1}{6}\right) + \left(\frac{1}{6} - \frac{1}{7}\right) + \left(\frac{1}{7} - \frac{1}{8}\right) + \left(\frac{1}{8} - \frac{1}{9}\right) + \left(\frac{1}{9} - \frac{1}{10}\right) + \left(\frac{1}{10} - \frac{1}{11}\right) \right]$$

$$= 1 - 1 + \frac{1}{11} = \frac{1}{11}.$$

1.2.2 QUELQUES SÉRIES PARTICULIÈRES

1.2.2.1 SÉRIE HARMONIQUE

C'est la série $\sum_{i=1}^n \frac{1}{i}$.

Pour tout naturel non nul n , $2n \geq n$

$$\text{Et } |S_{2n} - S_n| = \left| \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n} + \frac{1}{n+1} + \frac{1}{n+2} + \dots + \frac{1}{2n}\right) - \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n}\right) \right|$$

$$= \left| \frac{1}{n+1} + \frac{1}{n+2} + \dots + \frac{1}{2n} \right|$$

$$= \frac{1}{n+1} + \frac{1}{n+2} + \dots + \frac{1}{2n}$$

$$\geq \frac{1}{2n} + \frac{1}{2n} + \dots + \frac{1}{2n} \geq \frac{1}{2n} \cdot n \geq \frac{1}{2}.$$

$$\text{D'où } |S_{2n} - S_n| \geq \frac{1}{2};$$

Ce qui traduit que la suite considérée n'est pas convergente. Ainsi la série harmonique est divergente.

1.2.2.2 SÉRIE GÉOMÉTRIQUE

Soit u_1 un réel fixe. On appelle série géométrique de premier terme u_1 et de raison k , la série de terme général $u_n = u_1 \cdot k^n$.

$$\triangleright b_n = \sum_{i=0}^n u_1 \cdot k^i = u_1 (1 + k + k^2 + \dots + k^n)$$

- Si $k = 1$, alors $S_n = u_1(n+1)$. $\lim_{n \rightarrow \infty} S_n = +\infty$: la série est divergente.
- Si $k = -1$, alors $\sum_{i=0}^n (-1)^i$: la série est divergente (la limite de S_n n'existe pas lorsque n tend vers l'infini)

$$\triangleright \text{Si } |k| \neq 1, \text{ alors } S_n = u_1 \frac{1-k^{n+1}}{1-k}$$

- Si $k < 1$, alors $\lim_{n \rightarrow \infty} S_n = \frac{u_1}{1-k} \in \mathbb{R}$: la série est convergente et on écrit $\sum_0^n u_1 k^i = \frac{u_1}{1-k}$
- Si $k > 1$, alors $\lim_{n \rightarrow \infty} S_n = +\infty$: la série est divergente.

1.2.3 SÉRIE À TERMES POSITIFS

1.2.3.1 DÉFINITION

Une série numérique réelle de terme général u_n est dite à termes positifs si pour tout naturel non nul n , $u_n \geq 0$. Toute série à termes positifs a toujours une somme finie ou infinie.

1.2.3.2 CRITÈRES DE CONVERGENCE

Pour les séries à termes positifs, le calcul de S_n pour l'étude de convergence, pose problème. Ainsi, pour décider de la convergence de ces types des séries, on se sert des critères de convergence.

1° CRITÈRE DE RIEMANN :

Soit (u_n) une série à termes positifs. Supposons qu'il existe $\alpha \in \mathbb{R}$ tel que $\lim_{n \rightarrow \infty} n^\alpha u_n = l$. Alors, on a :

- $\alpha > 1$ et $l \in \mathbb{R} \Rightarrow$ la série (u_n) converge.
- $\alpha \leq 1$ et $l \in \overline{\mathbb{R}} \setminus \{0\} \Rightarrow$ la série diverge.

2° CRITÈRE DE CAUCHY :

Soit u_n une série telle que $\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{u_n} = l$. Alors on a :

- $l < 1 \Rightarrow$ la série converge
- $l > 1 \Rightarrow$ la série diverge
- $l = 1$: on ne peut rien conclure (cas douteux). Si en particulier $l = 1$ par valeurs inférieures, alors la série diverge.

3° SÉRIES DE D'ALEMBERT :

Soit (u_n) une série telle que $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{u_{n+1}}{u_n} = L$. Alors on a :

- $l < 1 \Rightarrow$ la série converge
- $l > 1 \Rightarrow$ la série diverge
- $l = 1$: on ne peut rien conclure (cas douteux). Si en particulier $l = 1$ par valeurs supérieures, alors la série diverge.

4° REMARQUES :

- Lorsque le critère de D'ALEMBERT est en défaut, on applique le critère de RAABE :
Si $\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{u_{n+1}}{u_n}\right) = L$, alors la série converge si $L > 1$; diverge si $L < 1$ et peut ou ne pas converger si $L = 1$.
- Lorsque, de plus, le critère de RAABE fait défaut, alors on peut recourir au critère de GAUSS :
Si $\frac{u_{n+1}}{u_n} = 1 - \frac{L}{n} + \frac{C_n}{n^2}$; $|C_n| < p \forall n > k$, alors la série converge si $L > 1$ et diverge si $L \leq 1$.
- Si la série (u_n) n'est pas nécessairement à termes positifs, alors on remplace u_{n+1} et u_n par $|u_{n+1}|$ et $|u_n|$ dans le critère de CAUCHY de D'ALEMBERT.

EXEMPLE :

Considérons la série numérique dont le terme général est $u_n = \frac{n}{n^2+1}$.

En appliquant le critère d'ALEMBERT, on a : $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{u_{n+1}}{u_n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{(n+1)(n^2+1)}{(n^2+2n+2)n} = 1$.

Comme $l = 1$, on ne peut rien conclure.

D'après le critère de RAABE, $\lim_{n \rightarrow \infty} n \left(\frac{u_{n+1}}{u_n} - 1 \right) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{(n^2+n-1)}{(n^2+2n+2)} = 1$; ce qui fait défaut.

Appliquant le critère de GAUSS, on obtient : $\frac{u_{n+1}}{u_n} = \frac{n^3+n^2+n+1}{n^2+2n^2+2n} = 1 - \frac{1}{n} + \frac{1}{n^2} \cdot \frac{1+\frac{3}{n}}{1+\frac{2}{n}+\frac{2}{n^2}} = 1 - \frac{1}{n} + \frac{C_n}{n}$

Avec $C_n = \frac{1+\frac{3}{n}}{1+\frac{2}{n}+\frac{2}{n^2}} \forall n \in \mathbb{N}^*, \frac{4}{5} < C_n < 1$: la série est donc divergente.

1.2.4 SÉRIES ALTERNÉES

1.2.4.1 DÉFINITION

On appelle série réelle alternée, toute série (u_n) dont les termes sont alternativement positifs ou négatifs: c'est-à-dire $u_n = (-1)^n |u_n|$ ou $u_n = (-1)^{n+1} |u_n|, \forall n \in \mathbb{N}$. Si on pose $|u_n| = X_n$, alors la série alternée s'écrit : $X_1 + X_2 + X_3 - X_4 + \dots + (-1)^{n+1} X_n + \dots$ Ou $-X_1 + X_2 + X_3 - X_4 + \dots + (-1)^n X_n + \dots$

1.2.4.2 CONDITION DE CONVERGENCE

Soit (u_n) une série alternée telle que, pour tout naturel non nul, $|u_{n+1}| \leq |u_n|$.

Alors la série est convergente et $\lim_{n \rightarrow \infty} u_n = 0$. On dit que la série alternée (u_n) est absolument convergente si la série $(|u_n|)$ est convergente.

Notons que la convergence de toute série positive (u_n) entraîne sa convergence absolue. La réciproque est vraie. Si la série alternée (u_n) converge et que la série $(|u_n|)$ diverge, alors on dit que la série (u_n) est semi-convergente.

EXEMPLES :

- La série de terme général est $u_n = (-1)^n \cdot \frac{1}{n}$ est semi-convergente.
En effet, $|u_n| = \frac{1}{n}$ et $|u_{n+1}| = \frac{1}{n+1}$. Or $n \leq n+1 \Rightarrow \frac{1}{n+1} \leq \frac{1}{n}$. Donc $|u_{n+1}| \leq |u_n|$: c'est la série de LEIBNTZ. Mais la série est divergente (série harmonique).
- Considérons la série $\sum_{n=0}^{\infty} u_n = 1 - \frac{1}{2} + \frac{1}{4} - \frac{1}{8} + \dots$ Cette série est alternée, son terme général est $(u_n) = (-1)^n \cdot \frac{1}{2^n}$.
i.e. $(|u_n|) = \left| (-1)^n \cdot \frac{1}{2^n} \right| = \left| \frac{1}{2^n} \right| = \frac{1}{2^n}$ qui est une série géométrique de raison $\frac{1}{2} < 1$; donc convergence.
On conclut que la série alternée est absolument convergente.

2 METHODE DE KUMMER

Pour améliorer la convergence d'une série donnée par cette méthode, on divise cette série donnée par une autre série auxiliaire choisie et on calcule la somme du reste de la division. Si la série donnée est une série dont les termes sont des fonctions rationnelles, alors on utilise d'abord l'idée de STIRLING qui consiste à mettre le terme général de la série donnée sous la forme d'une somme finie des factorielles inverses avant la division de la série donnée par sa série auxiliaire et le calcul de la somme du reste. Soit $a_1 + a_2 + \dots + a_n + \dots$ une série lentement convergente. En effet, pour obtenir sa somme avec une précision voulue, il faut prendre un très grand nombre de ses termes. Supposons, par exemple, qu'il faut trouver la somme de la série $S_n = \frac{1}{1^2} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{3^2} + \dots + \frac{1}{n^2} + \dots$ à 10^{-6} près. L'estimation du $n^{\text{ième}}$ reste de la série s'écrit $R_n < \int_n^{\infty} \frac{dx}{x^2} = \frac{1}{n} = \varepsilon$.

Par conséquent, la précision imposée ne peut être assurée que par la somme de 1000 000 de termes ; ce qui est pratiquement impossible. Dans la recherche de la solution du problème donné, la série doit être considérée comme lentement convergente. D'une manière générale, c'est très difficile et même pratiquement impossible d'obtenir immédiatement la somme d'une telle série avec précision imposée à ε . C'est pourquoi, nous recourons à la transformation de KUMMER, souvent utile pour la réalisation de la somme A et $b_1 + b_2 + \dots + b_n + \dots$ sa série auxiliaire choisie de somme B connue et telle que $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_n}{b_n} = q \neq 0$ avec $b_n \neq 0$.

Alors $\sum_{n=1}^{\infty} a_n = q \sum_{n=1}^{\infty} b_n + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n - qb_n) \Leftrightarrow A = qB + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n - qb_n) = qB + \sum_{n=1}^{\infty} r_n$.

En particulier, si $a_n \rightarrow b_n$, on a $q = 1$ et $A = B + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n - b_n)$.

Ainsi, dans le cas général, la recherche de la somme de la série a_n est remplacée par la recherche de la somme de la série r_n . Le reste de la série r_n aussi peut se mettre sous la forme :

$$\overline{R}_N = \sum_{n=N+1}^{\infty} \left(1 - q \frac{b_n}{a_n}\right) a_n = \sum_{n=N+1}^{\infty} \varepsilon_n a_n ; \text{ où } \varepsilon_n = 1 - q \frac{b_n}{a_n} \rightarrow 0 \text{ quand } n \rightarrow \infty.$$

C'est pourquoi la série r_n converge en général plus vite que la série initiale a_n .

Soit $a_n = \frac{a_0 n^p + a_1 n^{p-1} + \dots + a_p}{\beta_0 n^q + \beta_1 n^{q+1} + \dots + \beta_q}$ ($n=1,2,\dots$) une série dont les termes sont des fonctions rationnelles d'une variable entière n et aux signes positifs où p et q sont des entiers non négatifs et $a_0 > 0, \beta_0 > 0$. Pour que cette série converge, il faut et il suffit que $q \geq p + 2$. Dans ce cas, $a_n = O\left(\frac{1}{n}\right)$ c'est-à-dire a_n est infiniment petit d'ordre m par rapport à $\frac{1}{n^2}$.

Si $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_n}{\left(\frac{1}{n}\right)^m} = c \neq \infty$ et si $c \neq 0$, alors a_n est un infiniment petit exactement d'ordre m par rapport à $\frac{1}{n}$. Considérons la série auxiliaire

$$S^{(m)} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n \prod_{k=0}^m (n+k)} ; m \in \mathbb{N}^*.$$

Etant donné que

$$\frac{1}{n \prod_{k=0}^m (n+k)} = \frac{1}{k} \left[\frac{1}{n \prod_{k=0}^m (n+k-1)} - \frac{1}{\prod_{k=0}^m (n+k)} \right];$$

$$\text{Il vient que } S_N^{(m)} = \sum_{n=1}^N \frac{1}{n \prod_{k=0}^m (n+k)} = \frac{1}{k} \left[\frac{1}{1.2 \dots k} - \frac{1}{(N+k)} \right].$$

Par conséquent,

$$S^m = \lim_{n \rightarrow \infty} S_N^{(m)} = \frac{1}{k!}. \text{ D'après STIRLING, } a_n = \frac{A_1}{n(n+1)} + \frac{A_2}{n(n+1)(n+2)} + \dots + \frac{A_k}{n \prod_{k=0}^m (n+k)} + a_n^{(k)}$$

Où $A_1, A_2, \dots, A_m$ sont les coefficients indéterminés et le reste. Choisissons les coefficients A_i ($i = 1, 2, \dots, k$) de telle sorte que $a_n^{(k)} = O\left(\frac{1}{n^{2+k}}\right)$.

A cet effet, il suffit de définir successivement les coefficients A_i d'après les formules : $A_1 = \lim_{n \rightarrow \infty} n(n+1)a_n$, $A_2 = \lim_{n \rightarrow \infty} \left[a_n - \frac{A_1}{n(n+1)} \right] n(n+1)(n+2), \dots$

$$A_k = \lim_{n \rightarrow \infty} a_n - \sum_{i=1}^{k-1} \frac{A_i}{n(n+1) \dots (n+i)} \quad n \prod_{k=0}^m (n+k). \text{ Conformément au schéma général,}$$

$$B = \sum_{n=1}^{\infty} b_n = \sum_{i=1}^{\infty} \left[\frac{A_1}{n(n+1)} + \frac{A_2}{n(n+1)(n+2)} + \dots + \frac{A_k}{n \prod_{k=0}^m (n+k)} \right] \Rightarrow B = A_1 S^{(1)} + A_2 S^{(2)} + \dots + A_k S^{(k)} = \frac{A_1}{1!1} + \frac{A_2}{2!2} + \dots + \frac{A_k}{k!k}$$

(i) qui est une série auxiliaire que nous prenons.

Par suite, il est clair que

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_n}{b_n} = 1 \text{ et } S = \sum_{n=1}^{\infty} a_n = B + \sum_{n=1}^{\infty} a_n^{(k)} \text{ (ii).}$$

Donc ; $r_n = \sum_{n=1}^{\infty} a_n^{(k)}$. D'où r_n converge plus rapidement que a_n .

En effet, soit a_{p+1} un terme de la série a_n .

$$\begin{aligned} \text{On a : } S &= S_p + \sum_{i=1}^{\infty} \left[\frac{A_1}{n(n+1)} + \frac{A_2}{n(n+1)(n+2)} + \dots + \frac{A_k}{n \prod_{k=0}^m (n+k)} + a_n^{(k)} \right] \\ &= S_p + A_1 \sum_{n=p+1}^{\infty} \left(\frac{1}{n} - \frac{1}{n+1} \right) + \frac{A_2}{2} \sum_{n=p+1}^{\infty} \left(\frac{1}{n(n+1)} - \frac{1}{(n+1)(n+2)} \right) + \dots + \frac{A_k}{k} \sum_{n=p+1}^{\infty} \left(\frac{1}{n \prod_{k=0}^m (n+k-1)} - \frac{1}{n \prod_{k=0}^m (n+k)} \right) + \\ &\dots + \sum_{n=1}^{\infty} a_n^{(k)} \\ &= S_p + A_1 \frac{1}{p+1} + \frac{A_2}{2} \frac{1}{2(p+1)(p+2)} + \dots + \frac{A_k}{k} \frac{1}{\prod_{k=0}^m (p+k)} + \dots + \sum_{n=1}^{\infty} a_n^{(k)}. \end{aligned}$$

Ainsi, lorsque $k \rightarrow \infty$ et $a_n^{(k)} \rightarrow 0$, nous obtenons le développement de STIRLING.

$$\sum_{n=1}^{\infty} a_n = \sum_{n=1}^{\infty} a_n + A_1 \frac{1}{p+1} + \frac{A_2}{2} \frac{1}{(p+1)(p+2)} + \dots + \frac{A_k}{k} \frac{1}{\prod_{k=0}^m (p+k)} + \dots$$

EXEMPLE :

Trouver la somme de la série $S_n = \frac{1}{n^2+1}$ à 0,001 près.

SOLUTION :

posons ;

$$\frac{1}{n^2+1} = \frac{A_1}{n(n+1)} + \frac{A_1}{n(n+1)(p+2)} + a_n^{(2)}.$$

$$\text{On a : } A_1 = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n(n+1)}{n^2+1} = 1$$

$$A_1 = \lim_{n \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{n^2+1} - \frac{1}{n(n+1)} \right] n(n+1)(n+2) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{(n+1)(n+2)}{n^2+1} = 1$$

Par conséquent,

$$\begin{aligned} a_n^{(2)} &= \frac{1}{n^2+1} - \frac{1}{n(n+1)} + \frac{1}{n(n+1)(n+2)} \\ &= \frac{n^3 + 3n^2 + 2n - n^3 - 2n^2 - n - 2 - n^2 - 1}{n(n+1)(n+2)(n^2+1)} \\ &= \frac{n-3}{n(n+1)(n+2)(n^2+1)}. \end{aligned}$$

$$\text{D'après (i) et (ii), on a : } S = \frac{1}{1.1!} + \frac{1}{2.2!} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n-3}{n(n+1)(n+2)(n^2+1)}.$$

$$\text{Puisque } n \geq 3, \text{ on a : } \frac{n-3}{n(n+1)(n+2)(n^2+1)} \leq \frac{1}{n^4}.$$

$$\text{Il vient : } \rho = \frac{n-3}{n(n+1)(n+2)(n^2+1)} < \int_N^{\infty} \frac{dx}{x^2+1} < \int_N^{\infty} \frac{dx}{x^2} = \frac{1}{N} \leq \frac{1}{2} \cdot 0,001.$$

Il en résulte que le nombre suffisant des termes à calculer est $N=10$; en outre, ces termes doivent être calculés avec quatre décimales au sens strict. Ainsi, on a :

$$\begin{aligned} S &\approx 1,25 + (-0,1667) + (-0,0083) + 0 + 0,0005 + 0,0002 + 0,0002 + 0,0001 \\ &+ 0,0001 + 0,0002 + 0,0002 + 0,0001 + 0,0001 + 0,0001 + 0,0001 = 1,0766. \end{aligned}$$

De plus, en retenant que la somme de quatre premiers termes est exacte, on obtient pour l'erreur absolue l'estimation : $\Delta < \frac{1}{3} \cdot 10^{-3} + 7 \cdot \frac{1}{2} \cdot 10^{-4} < 0,7 \cdot 10^{-3}$. On tire, en arrondissant, la quantité $S \approx 1,077$ avec une borne d'erreur absolue $\bar{\Delta} = 0,7 \cdot 10^{-3} + 0,4 \cdot 10^{-3} = 1,1 \cdot 10^{-3}$. Constatons que l'estimation du reste de S_n s'écrit :

$$R_N < \int_N^{\infty} \frac{dx}{x^2+1} < \int_N^{\infty} \frac{dx}{x^2} = \frac{1}{N} \leq \frac{1}{2} \cdot 0,001.$$

D'où $N \geq 2000$. Donc pour obtenir la même précision sans transformation, il faut environ 2000 termes de la série.

REMARQUE :

- 1) La difficulté principale de l'application de la transformation de KUMMER consiste à choisir la série auxiliaire convenable.
- 2) Pour calculer la somme approchée de la série a_n de terme général

$$a_n = \frac{a_0 + a_1 n^{p-1} + \dots + a_p}{\beta_0 n^q + \beta_1 n^{q+1} + \dots + \beta_q} \quad (\text{Avec } n \in \mathbb{N}^*).$$

$$\text{On peut faire également appel aux séries } \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} = \frac{\pi^2}{6} ; \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^4} = \frac{\pi^4}{90} ; \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^6} = \frac{\pi^6}{945}, \text{ etc.}$$

$$\text{En général } \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^{2p}} = \frac{(-1)^{p-1}}{2} \cdot \frac{B_{2p}(2\pi)^{2p}}{(2p)!} ;$$

B_n ($n=1,2,\dots$) sont les nombres de BERNOULLI définis par la formule symbolique de récurrence $(B+1)^n - B^n = 0$, dans laquelle, après le développement suivant le binôme de NEWTON, on pose $B^n = B_n$.

On a en particulier $B_2 = \frac{1}{6}$; $B_4 = -\frac{1}{30}$; $B_6 = \frac{1}{42}$; $B_8 = -\frac{1}{30}$; $B_{10} = \frac{1}{66}$.

3 METHODE D'EULER-ABEL

Cette méthode étant applicable sur les séries entières, il convient de parler en premier lieu d'une manière brève des séries entières et leurs convergences. On appelle série entière ou une série de puissance, une série de la forme $a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n + \dots$ où $a_0, a_1, a_2 \dots a_n, \dots$ sont des constantes données appelées coefficients de la série de puissances des constantes données appelées coefficients de la série. Un intervalle pouvant se réduire à un point est l'ensemble des points de convergence d'une série entière. D'où les théorèmes suivants :

THÉORÈME 1 :

- 1) Si une série entière converge pour une certaine valeur X_0 non nulle, elle converge absolument pour toute valeur de x telle que $|x| < |x_0|$;
- 2) Si une série entière converge pour une certaine valeur X'_0 , elle diverge pour tout x telle que $|x| < |x'_0|$.

THÉORÈME 2 :

L'ensemble des points de convergence d'une série entière est un intervalle centré sur l'origine des coordonnées.

EXEMPLES :

- 1) Déterminer l'intervalle de convergence de la série $1+x+x^2+x^3+\dots+x^n+\dots$

SOLUTION :

En appliquant la règle de D'ALEMBERT, on obtient $\lim_{n \rightarrow \infty} \left| \frac{x^{n+1}}{x^n} \right| = |x|$.

Par conséquent, la série converge pour $|x| < 1$ et diverge pour $|x| > 1$. Elle diverge aux points $x = \pm 1$.

- 2) Déterminer l'intervalle de convergence de la série $\left(\frac{(2x)^n}{n} \right)$.

RÉSOLUTION :

Appliquons la règle de D'ALEMBERT ; $\lim_{n \rightarrow \infty} \left| \frac{(2x)^{n+1}}{(2x)^n} \right| = \lim_{n \rightarrow \infty} \left| \frac{n}{n+1} \right| \cdot |2x| = |2x|$.

La série converge pour $|2x| < 1$ c'est-à-dire si $|x| < \frac{1}{2}$; elle converge au point $x = \frac{1}{2}$ et diverge au point $x = -\frac{1}{2}$.

- 3) Déterminer l'intervalle de convergence de la série $u_n = \frac{x^n}{n!}$.

RÉSOLUTION :

Appliquons la règle de D'ALEMBERT ; $\lim_{n \rightarrow \infty} \left| \frac{u^{n+1}}{u^n} \right| = \lim_{n \rightarrow \infty} \left| \frac{x^{n+1}n!}{x^n(n+1)!} \right| \lim_{n \rightarrow \infty} \left| \frac{x}{n+1} \right| = 0 < 1$.

Comme la limite ne dépend pas de x et qu'elle est plus petite que 1, la série converge quel que soit x .

Parlons maintenant de la méthode d'EULER-ABEL qui ne consiste à chercher la variation de la série donnée selon le degré de transformation et le rayon de convergence de la série entière donnée.

Considérons la série entière convergente $f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n x^n$ où $f(x)$ est la somme de la série.

Supposons que le rayon de convergence R de la série $f(x)$ soit fini et différent de Zéro. Sans porter atteinte à la généralité du raisonnement, on peut considérer la série $f(x)$ sous la forme

$$f(x) = a_0 + \varphi(x), \text{ où } \varphi(x) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n a_{n+1} x^n \text{ (i).}$$

En multipliant les deux membres de cette égalité par le binôme $1 - x$, on obtient : $(1 - x)\varphi(x) = \sum_{n=0}^{\infty} a_{n+1}x^{n+1}$ (ii).

En posant dans la deuxième somme $n + 1 = m$ et en tenant compte de ce que la somme ne dépend pas de la désignation de l'indice de sommation, on a : $\sum_{n=0}^{\infty} a_{n+1}X^{n+1} = \sum_{n=0}^{\infty} a_mX^n = \sum_{n=0}^{\infty} a_nX^n$.

En effet, si $0 < R < \infty$ et $R \neq 1$, en posant $t = \frac{x}{R}$, on obtient une série entière par rapport à la variable t de rayon de convergence $p=1$.

$$\text{Donc } (1 - x)\varphi(x) = \sum_{n=0}^{\infty} a_{n+1}X^n - \sum_{n=0}^{\infty} a_nX^{n+1}$$

$$= a_0 + \sum_{n=0}^{\infty} (a_{n+1} - a_n)X^n$$

$$= a_0 + \sum_{n=0}^{\infty} \Delta a_n X^n,$$

où $\Delta a_n = a_{n+1} - a_n$; $\forall n \in \mathbb{N}$: sont les différences premières des coefficients a_n .

Par conséquent, les formules (i) et (ii) permettent de déduire:

$$\varphi(x) = \sum_{n=0}^{\infty} a_{n-1}x^n = \frac{a_0x}{1-x} + \frac{x}{1-x} \sum_{n=0}^{\infty} \Delta a_n x^n \text{ et donc } f(x) = a_0 + \frac{a_0x}{1-x} + \frac{x}{1-x} \sum_{n=0}^{\infty} \Delta a_n x^n = \frac{a_0x}{1-x} + \frac{x}{1-x} \sum_{n=0}^{\infty} \Delta a_n x^n.$$

$$\text{soit } \sum_{n=0}^{\infty} a_n x^n = \frac{a_0x}{1-x} + \frac{x}{1-x} \sum_{n=0}^{\infty} \Delta a_n x^n \quad (a).$$

D'où la transformation considérée de la série entière s'appelle transformation d'EULER-ABEL.

En appliquant d'une façon analogue la transformation d'EULER-ABEL à la série $\sum_{n=0}^{\infty} \Delta a_n x^n$ on trouve : $\sum_{n=0}^{\infty} \Delta a_n x^n = \frac{\Delta a_0 x}{1-x} + \frac{x}{1-x} \sum_{n=0}^{\infty} \Delta^2 a_n x^n$;

où $\Delta^2 a_n = \Delta(\Delta a_n) = \Delta a_{n-1} - \Delta a_n$ sont les différences secondes des coefficients a_n .

On en tire en vertu de la formule (a) :

$$\sum_{n=0}^{\infty} \Delta a_n x^n = \frac{a_0x}{1-x} + \frac{x}{1-x} \left(\frac{a_0x}{1-x} + \frac{x}{1-x} \sum_{n=0}^{\infty} \Delta^2 a_n x^n \right) = \frac{a_0x}{1-x} + \frac{x\Delta a_0}{(1-x)^2} \left(\frac{x}{1-x} \right) \sum_{n=0}^{\infty} \Delta^2 a_n x^n.$$

En prenant successivement p fois la transformation d'EULER-ABEL, on a :

$$\sum_{n=0}^{\infty} a_n x^n = \frac{a_0x}{1-x} + \frac{x\Delta a_0}{(1-x)^2} + \dots + \left(\frac{x}{1-x} \right)^p \sum_{n=0}^{\infty} \Delta^p a_n x^n ; \text{ où } \Delta^p a_n = \Delta^{p-1} a_{n+1} = \Delta^{p-1} a_n ; \forall n \in \mathbb{N}$$

sont les différences d'ordre p des coefficients a_n et $\Delta^k a_n$ ($k \in \mathbb{N}$) les différences finies consécutives des coefficients a_n avec $n = 0$.

$$\text{Ainsi, } f(x) = \sum_{n=0}^{p-1} \Delta^2 a_n x^n \frac{x^2}{(1-x)^{k+1}} = \left(\frac{x}{1-x} \right)^p \sum_{n=0}^{\infty} \Delta^2 a_n x^n \quad (b) ;$$

où l'on a posé $\Delta^0 a_0$, si l'ordre de décroissance des différences finies $\Delta^p a_n$ pour $n \rightarrow \infty$ est supérieur à celui des coefficients a_n , il est plus avantageux d'employer (b).

Cette condition se présente assez souvent par exemple, si $a_n = \frac{1}{n}$, on obtient : Ici quand $n \rightarrow \infty$, Δa_n diminue plus que a_n .

En particulier, si $a_n = P(n)$ où $P(n)$ est un polynôme entier de degré $p - 1$, la formule (b) donne sous une forme finie la somme de la série $\sum_{n=0}^{\infty} P(n) x^n = \sum_{k=0}^{p-1} \Delta^k P(0) \frac{x^k}{(1-x)^{k+1}} \quad (c) ; (|x| < 1)$ du fait que $\Delta^p P(n) = 0$.

La formule (b) n'a pas de sens avec $x = 1$.

Pour ce cas, la transformation d'EULER-ABEL peut être modifiée en posant $x = -t$ pour avoir :

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} (-t)^n = \sum_{n=0}^{\infty} a_n t^n = \sum_{n=0}^{p-1} \Delta^k [(-1)^n a_n] n$$

$$= 0 \frac{x^k}{(1-t)^{k+1}} + \left(\frac{x}{1+x} \right) \sum_{n=0}^{\infty} \Delta^k [(-1)^n a_n] t^n.$$

En revenant à l'ancienne variable on obtient:

$$f(x) = \sum_{k=0}^{p-1} (-1)^k \Delta^k [(-1)^n a_n] n = 0 \frac{x^k}{(1+x)^k} + \left(\frac{x}{1+x} \right)^p \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^{n+p} \Delta^p [(-1)^n a_n] x^n.$$

Cette formule a également un sens pour $x=1$.

EXEMPLE1:

Calculer à 0,001 près la somme de la série

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^n}{(n+1)(n+2)} \text{ pour } x = -1.$$

SOLUTION :

Appliquons deux fois la transformation d'EULER ($p=2$), on a :

$$a_n = \frac{1}{(n+1)(n+2)}, \Delta a_n = a_{n+1} - a_n = \frac{1}{(n+2)(n+3)} - \frac{1}{(n+1)(n+2)} = -\frac{2}{(n+1)(n+2)(n+3)};$$

$$\Delta^2 a_n = \Delta a_{n+1} - \Delta a_n = -\frac{2}{(n+2)(n+3)(n+4)} + \frac{2}{(n+1)(n+2)(n+3)} = \frac{6}{(n+1)(n+2)(n+3)(n+4)}.$$

$$\text{Par conséquent, } a_0 = \frac{1}{1.2}; \Delta a_0 = \frac{2}{1.2.3}.$$

La formule (b) entraîne :

$$f(-1) = \frac{1}{1.2} \cdot \frac{1}{2} + \frac{2}{1.2.3} \cdot \frac{1}{4} + \left(-\frac{1}{2}\right)^2 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{6}{(n+1)(n+2)(n+3)(n+4)} (-1)^n = \frac{1}{4} + \frac{1}{12} + \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{24} - \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{120} + \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{840} + \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{3024} + \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{5040} - \dots$$

La série $f(-1)$ est une série alternée à termes décroissantes en module ; par conséquent, si nous nous arrêtons au terme $\frac{3}{2} \cdot \frac{1}{3024} = \frac{1}{2016}$, le reste de la série ne pas supérieur en module au premier terme négligé: $|R| < \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{5040} = \frac{1}{3360} < 3 \cdot 10^{-4}$.

Ainsi, si l'on prend deux chiffres de réserves, on a :

$$f(-1) = 0,25000 + 0,08333 + 0,06250 - 0,01250 + 0,00417 - 0,00179 + 0,00089 - 0,00050 = 0,38610.$$

$$\text{Avec une erreur absolue } \Delta < 5 \cdot \frac{1}{2} \cdot 10^{-5} + 3 \cdot 10^{-4} < 4 \cdot 10^{-4}.$$

En arrondissant le membre obtenu à trois chiffres, on obtient la valeur approchée de $f(-1) = 0,386$; avec une borne de valeur absolue : $\Delta < 4 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 10^{-4} = \frac{1}{2} \cdot 10^{-3}$. La valeur exacte de la somme est : $f(-1) = 21n2 - 1 = 0,38630 \dots$ Notons que si l'on applique la série $f(x)$ pour calculer directement $f(-1)$, la précision imposée ne peut s'obtenir qu'en prenant à peu près quarante-cinq termes de cette série.

EXEMPLES :

trouvez la somme de la série $f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} (n^2 + n + 1)x^n$.

SOLUTION :

$$\text{Soit } P(n) = n^2 + n + 1. \text{ La formule c amène : } S(x) = \frac{1}{1-x} + \frac{2x}{(1-x)^2} + \frac{2x^2}{(1-x)^3}; (|x| < 1)$$

4 ESTIMATIONS DES COEFFICIENTS DE FOURIER

Rappelons qu'une série trigonométrie ou série de FOURIER est une forme « coefficient de FOURIER » se calculant d'après les formules suivantes :

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx ;$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos nx dx ;$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin nx dx.$$

Avec $f(x)$ une formation de période 2π .

THÉORÈME DE CONVERGENCE :

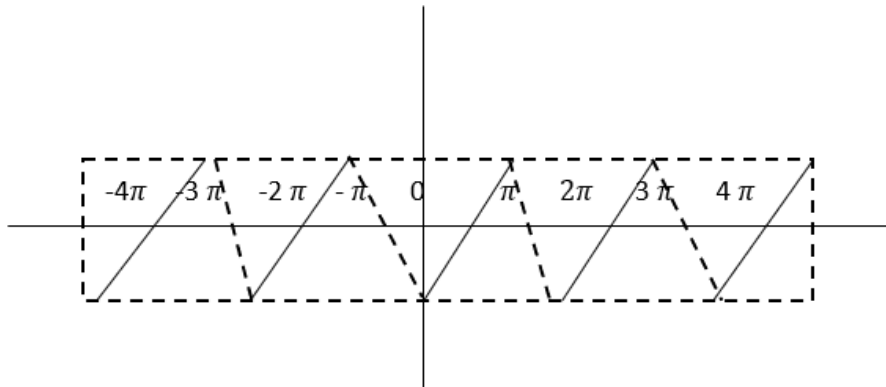
Si la convergence périodique $f(x)$ de période 2π est monotone par tranche et bornée sur le segment $-\pi, \pi$ sa série de FOURIER converge en tous les points. La somme de la série obtenue $S(x)$ est égale à la valeur de la fonction $f(x)$ aux points de continuité. Aux points de discontinuité de $f(x)$, la somme de la série est égale à la moyenne arithmétique des limites de la fonction à gauche et à droite, c'est-à-dire si $x = c$ est un point de discontinuité.

$$\text{De } f(x), s(x)_{x=c} = \frac{f(c-0) + f(c+0)}{2}; \text{ avec } f(c-0) \text{ et } f(c+0).$$

Respectivement limite à gauche et limite à droite.

EXEMPLE :

soit $f(x)$ une fonction périodique de période 2π définie comme suit : $f(x) = x, -\pi \leq x \leq \pi$. Représentons graphiquement cette fonction et interprétons :



Cette fonction est monotone par tranches et bornée. Elle admet donc un développement en série de FOURIER. Calculons les coefficients :

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} x dx = \frac{1}{\pi} \left[\frac{x^2}{2} \right]_{-\pi}^{\pi} = 0,$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} x \cos nx dx = \frac{1}{\pi} \left[x \frac{\sin nx}{n} \Big|_{-\pi}^{\pi} - \frac{1}{n} \int_{-\pi}^{\pi} \sin nx dx \right] = 0,$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} x \sin nx dx = \frac{1}{\pi} \left[-x \frac{\cos nx}{n} \Big|_{-\pi}^{\pi} + \frac{1}{n} \int_{-\pi}^{\pi} \cos nx dx \right] = (-1)^{n+1} \frac{2}{n}.$$

$$\text{On obtient ainsi la série : } f(x) = 2 \left[\frac{\sin x}{1} - \frac{\sin 2x}{2} + \frac{\sin 3x}{3} - \dots + (-1)^{n+1} \frac{\sin nx}{n} + \dots \right].$$

Cette égalité a lieu partout sauf aux points de discontinuité. En de tels points, la somme de la série est égale à la moyenne arithmétique des limites de la fonction à gauche et à droite, c'est-à-dire à zéro.

DÉFINITION:

On dit qu'une fonction $f(x)$ définit sur le segment $[-\pi, \pi]$ appartient à la classe de périodicité $C^{(m)}$ si :

- 1) $f(x)$ et ses dérivées jusqu'à l'ordre m y compris sont continues sur le segment $[-\pi, \pi]$.
- 2) $f^{(k)}(-\pi + \pi) = f^{(k)}(\pi - 0)$ ($k = 0, 1, 2, \dots, m$). De ces deux conditions, on déduit que le prolongement périodique de la fonction $f(x)$ appartient à la classe $C^{(m)}$ $[-\infty, +\infty]$.

LEMME :

Si la fonction $f(x)$ appartient à la classe de périodicité $C^{(m)}$ sur le segment $[-\pi, \pi]$, ses coefficients de FOURIER a_n et b_n sont des infiniment petits (lorsque $n \rightarrow \infty$) d'ordre supérieur $a_n = O\left(\frac{1}{n^m}\right)$ et $b_n = O\left(\frac{1}{n^m}\right)$.

DÉMONSTRATION :

Intégrons par parties m fois les deuxièmes membres des égalités suivantes :

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos nx dx; \forall n \in N, b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin nx dx; \forall n \in N.$$

Si on pose $u = f(x)$ et $du = \cos nx dx$, on obtient $du = f(x) dx$ et $v = \frac{1}{n} \sin nx$.

Par conséquent, la formule d'intégration par parties à :

$$a_n = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{n} f(x) \sin nx \right]_{-\pi}^{\pi} - \frac{1}{n\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f'(x) \sin \left(\frac{\pi}{2} + nx \right) dx = \frac{1}{n\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f'(x) \cos \left(\frac{\pi}{2} + nx \right) dx.$$

En procédant encore une fois à l'intégration par parties et en considérant que $f'(-\pi) = f'(\pi)$, on obtient:

$$a_n = \frac{1}{\pi n} \left\{ \left[\frac{1}{n} f'(x) \sin \left(\frac{\pi}{2} + nx \right) \right]_{-\pi}^{\pi} + \frac{1}{n} \int_{-\pi}^{\pi} f''(x) \cos \left(\frac{\pi}{2} + nx \right) dx \right\} = \frac{1}{n\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f'(x) \cos \left(\frac{\pi}{2} + nx \right) dx.$$

Après m intégrations par parties, on trouve : $a_n = \frac{1}{\pi n^m} \int_{-\pi}^{\pi} f^{(m)}(x) \cos \left(\frac{\pi}{2} + nx \right) dx$

De façon analogue : $b_n = \frac{1}{\pi n^m} \int_{-\pi}^{\pi} f^{(m)}(x) \sin \left(\frac{\pi}{2} + nx \right) dx$.

Les intégrales : $u_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f^{(m)}(x) \cos \left(\frac{\pi}{2} + nx \right) dx$ et $v_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f^{(m)}(x) \sin \left(\frac{\pi}{2} + nx \right) dx$

sont aussi à peu près les coefficients de FOURIER de la fonction $f^{(m)}(x)$ continue selon l'hypothèse. Sachant que même si la série de FOURIER converge ou diverge ses coefficients d'une fonction continue tendant vers zéro lorsque leur rang tend vers l'infini, ou en déduit que $u_n \rightarrow 0$ et $v_n \rightarrow 0$ quand $n \rightarrow \infty$.

Or $a_n = \frac{u_n}{n^m}$ et $b_n = \frac{v_n}{n^m}$. Donc les coefficients a_n et b_n de la fonction $f(x)$ sont des infiniment petits d'ordre supérieur par rapport à $\frac{1}{n^m}$: $a_n = o\left(\frac{1}{n^m}\right)$ et $b_n = o\left(\frac{1}{n^m}\right)$ cqd

REMARQUES :

- 1) La notation $a_n = o\left(\frac{1}{n^m}\right)$ signifie que $\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{a_n}{\frac{1}{n^m}} \right) = 0$
- 2) Si $f^{(m)}(x)$ satisfait aux conditions du théorème de convergence, on montre sans peine que:

$$u_n = o\left(\frac{1}{n^m}\right) \text{ et } v_n = o\left(\frac{1}{n^m}\right).$$

Dans ce cas l'estimation des coefficients de FOURIER est bien meilleure : $a_n = o\left(\frac{1}{n^{m+1}}\right)$ et $b_n = o\left(\frac{1}{n^{m+1}}\right)$.

- 3) Le résultat du lemme démontré a été utilisé par A. KRYLOV qui l'a mis à la base de sa méthode d'amélioration de la convergence des séries de FOURIER. Parlons maintenant de cette méthode.

5 METHODE DE A. KRYLOV

Nous venons de dire au paragraphe précédent qu'une fonction $f(x)$ définie sur le segment $[-\pi, \pi]$ appartient à la classe de périodicité $C^{(m)}$. Maintenant la méthode de KRYLOV, que nous voulons développer, consiste à extraire une fonction élémentaire $g(x)$ (qui en générale est une fonction polynomiale par morceaux) de même discontinuité que la fonction $f(x)$; les dérivées $g^{(i)}(x) (i = 1, 2, \dots, m)$, jusqu'à l'ordre m y compris possédant les même discontinuités que les dérivées correspondantes $f^{(i)}(x)$ de la fonction considérée $f(x)$.

De plus, la fonction $g(x)$ étant telle que $f^{(i)}(-\pi + 0) - g^{(i)}(-\pi + 0) = f^{(i)}(\pi - 0) - g^{(i)}(\pi - 0) (i = 1, 2, \dots, m)$ dans ce cas, la différence $\varphi(x) = f(x) - g(x)$ appartient à la classe de périodicité $C^{(m)}$. La série de FOURIER de la fonction $f(x)$ est composée : a) de la partie lentement convergente dont la somme est évidemment la fonction $g(x)$. b) du reste à convergence rapide qui est une série de FOURIER de la fonction $\varphi(x) \in C^{(m)}[-\pi, \pi]$.

Montrons comment en pratique on construit la fonction auxiliaire $g(x)$ à partir de la fonction donnée $f(x)$.

Soit $f(x) = g(x) + \left[\frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + \beta_n \sin nx) \right]$;

où a_n et β_n désignent les coefficients de FOURIER et en général convergeant rapidement ; c'est-à-dire sont des infiniment petits d'ordre supérieur à m par rapport à $\frac{1}{n}$ quand $n \rightarrow \infty$. Construisons à cet effet par la méthode de récurrence sur le segment $[-2\pi, 2\pi]$, la suite des fonctions $\sigma_0(x), \sigma_1(x), \dots, \sigma_m(x)$ jouissant de la propriété suivante :

$$\sigma_{k(k)}(+0) - \sigma_{k(k)}(-0) = \pi$$

($k = 0, 1, 2, 3, \dots, m$) et de plus les dérivées $\sigma_{k(j)}(x)$ ($j = 0, 1, 2, 3, \dots, m$) soient continues sur les segments $[-2\pi, 2\pi]$.

La fonction $\sigma_0(x)$ est définie de la manière suivante :

$$\sigma_0(x) = \begin{cases} \frac{-\pi - x}{1} \text{ pour } 2\pi < x < 0 \\ \frac{\pi - x}{1} \text{ pour } 0 < x < 2\pi \\ 0 \text{ pour } x = -2\pi, 0, 2\pi \end{cases}$$

Etant une fonction impaire, sa série de FOURIER ne contient donc que les sinus des arcs multiples :

$$\sigma_0(x) = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin nx,$$

$$\text{où } b_n = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \frac{\pi - x}{2} \sin nx dx = \frac{2}{\pi} \left[\frac{-\pi - x}{2} \frac{\cos nx}{n} \Big|_0^x - \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \cos nx dx \right] = \frac{2}{\pi} \left[\frac{\pi}{2\pi} - \frac{1}{2n^2} \sin nx \Big|_0^x \right] = \frac{1}{n}.$$

$$\text{D'où } \sigma_0(x) = \frac{\sin x}{1} + \frac{\sin 2x}{2} + \frac{\sin 3x}{3} + \dots + \frac{\sin nx}{n} + \dots$$

Il est évident que la fonction $\sigma_0(x)$ comporte une discontinuité au point $x = 0$ avec un saut égal à π .

$$\sigma_0(+0) - \sigma_0(-0) = \frac{\pi}{2} - \left(-\frac{\pi}{2}\right) = \pi.$$

Ainsi, la fonction $\psi(x) = \sigma_0(x - x_0)$ ($-\pi \leq x \leq \pi; -\pi \leq x_0 \leq \pi$) fait en x_0 le même saut que la fonction $\sigma_0(x)$: $\psi(x_0 + 0) - \psi(x_0 - 0) = \pi$; le point de discontinuité étant unique sur le segment $[-\pi, \pi]$.

Soient $\sigma_1(x)$ une fonction et C_1 une constante certaine telles que $\sigma_1(x) = C_1 + \int_0^x \sigma_0(x) dx$. Intégrons terme à terme la série $\sigma_0(x)$ pour obtenir : $\sigma_1(x) = C_1 + \int_0^x \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin nx}{n} dx = C_1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos nx}{n^2}$.

Choisissons la constante C_1 de sorte que le terme constant de cette série soit nulle; $C_1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} = 0 \Leftrightarrow C_1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2}$.

La série $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2}$ égale évidemment au terme constant de la série de FOURIER de la fonction $\int_0^x \sigma_0(x) dx$. on en tire en utilisant $\sigma_0(x) : \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} = \frac{1}{\pi} \int_0^x dx \int_0^x \sigma_0(x) dx \frac{1}{\pi} \int_0^x \left[\frac{\pi^2}{4} - \frac{(\pi-x)^2}{4} \right] dx = \frac{1}{\pi} \left(\frac{\pi^3}{4} - \frac{\pi^3}{12} \right) = \frac{\pi^3}{6}$.

D'où $C_1 = \frac{\pi^2}{6}$. En outre

$$\sigma_0(x) = \begin{cases} \frac{-\pi^2}{6} + \int_0^x \frac{\pi-x}{2} dx = \frac{\pi^2}{6} - \frac{(\pi-x)^2}{4}, \text{ avec } 0 \leq x \leq 2\pi \\ \frac{-\pi^2}{6} - \int_0^x \frac{\pi+x}{2} dx = \frac{\pi^2}{6} - \frac{(\pi+x)^2}{4}, \text{ avec } -2\pi \leq x \leq 0 \end{cases}$$

Cette fonction est continue sur le segment $[-2\pi, 2\pi]$ alors que sa dérivée $\sigma'_0(x) = \sigma_0(x)$ admet une discontinuité en $x = 0$.

De plus $\sigma'_1(+0) = \sigma'_1(-0) = \pi$.

Nous définissons de la même façon les fonctions suivantes :

$$\sigma'_2(x) = C_2 + \int_0^x \sigma_1(x) dx, \sigma'_3(x) = C_3 + \int_0^x \sigma_2(x) dx, \dots, \sigma'_m(x) = C_m + \int_0^x \sigma_{m-1}(x) dx$$

Où les constantes arbitraires $C_1, C_2, \dots, C_m$ sont choisies de façon que le terme constant de la dérivée de la série de FOURIER correspondante soit nul, c'est-à-dire que les constantes C_k ($k = 1, 2, \dots, m$) s'obtiennent successivement d'après les conditions : $\int_0^{\pi} [C_k + \int_0^x \sigma_{k-1}(x) dx]$.

Les fonctions $\sigma_{(x)}$ ($k = 1, 2, \dots, m$) et toutes les dérivées jusqu'à l'ordre $(k-1)$ y compris sont continues sur le segment $[-2\pi, 2\pi]$.

Par ailleurs, comme $\sigma_k^{(x)}(x) = \sigma_0(x)$ il vient : $\sigma_k^{(x)}(+0) - \sigma_k^{(x)}(-0) = \pi$ ($k = 1, 2, \dots, m$).

Donc la dérivée k-ième de la fonction $\sigma_k^{(x)}(x)$ a une discontinuité en $x = 0$; avec un saut égal à π . Il en résulte que la fonction $\psi_k(x) = \sigma_k(x - x_0)$ ($-\pi \leq x \leq \pi; -\pi$), obtenue par la translation de la fonction, n'a une discontinuité que la dérivée k-ième au point $x = x_0$: $\psi_k^{(k)}(x_0 + 0) - \psi_k^{(k)}(x_0 - 0) = \pi$.

Soient maintenant $x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, x_3^{(0)}, \dots, x_{k_0}^{(0)}$ les points de discontinuité de $f(x)$; $x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, x_3^{(1)}, \dots, x_{k_1}^{(1)}$ les points de discontinuité de $f'(x)$; $\dots$; $x_1^{(m)}, x_2^{(m)}, x_3^{(m)}, \dots, x_{k_m}^{(m)}$ les points de discontinuité de $f^{(m)}(x)$. Certains de ces points pouvant se répéter. Pour les sauts correspondants de la fonction et de ses dérivées, introduisons les notations :

$$f^{(1)}(x_j^{(1)} + 0) - f^{(1)}(x_j^{(1)} - 0) = h_j^{(1)} \quad (1=0, 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, K1).$$

Définissons la fonction $g(x)$ (fonctions des sauts) par la formule :

$$g(x) = \sum_{s=1}^{s=k_0} \frac{h_j^{(0)}}{\pi} \sigma_0(x - x_s^{(0)}) + \sum_{s=1}^{s=k_1} \frac{h_j^{(1)}}{\pi} \sigma_1(x - x_s^{(1)}) + \dots + \sum_{s=1}^{s=k_m} \frac{h_j^{(m)}}{\pi} \sigma_m(x - x_s^{(m)}).$$

La fonction $g(x)$ jouit des propriétés suivantes :

- i. Aux points $x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, x_3^{(0)}, \dots, x_{k_0}^{(0)}$ la fonction $g(x)$ est discontinue, les sauts en ces points étant égaux aux sauts de la fonction $f(x)$ en points correspondants :

$$g(x_j^{(1)} + 0) - g(x_j^{(1)} - 0) = \frac{h_j^{(0)}}{\pi} [\sigma_0(x_j - x_j + 0) - \sigma_0(x_j - x_j - 0)] = \frac{h_j^{(0)}}{\pi} \cdot \pi = h_j^{(0)}$$

- ii. La dérivée $g^{(1)}(x)$ ($1 = 0, 1, 2, \dots, m$) est discontinue aux points de $x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, x_3^{(0)}, \dots, x_{k_0}^{(0)}$.

De plus,

$$g(x_j^{(1)} + 0) - g(x_j^{(1)} - 0) = \frac{h_j^{(1)}}{\pi} [\sigma_1(x_j - x_j + 0) - \sigma_1(x_j - x_j - 0)] = \frac{h_j^{(1)}}{\pi} \cdot \pi = h_j^{(1)}$$

$$\text{C'est-à-dire } g^{(1)}(x_j + 0) - g^{(1)}(x_j - 0) = f^{(1)}(x_j + 0) - f^{(1)}(x_j - 0)$$

- iii. Pour $x \neq x_j^{(1)}$ la fonction $g(x)$ possède des dérivées continues de tout ordre.

Soit $\varphi(x) = f(x) - g(x)$. En vertu de i) et ii), on a : $\varphi^{(1)}(x_j^{(1)} + 0) - \varphi^{(1)}(x_j^{(1)} - 0) = 0$

où $\varphi(x) \in C^m[-\pi, \pi]$ ($1 = 0, 1, 2, \dots, m$). Ainsi, pour développer la fonction $f(x)$,

on peut faire appel à la série de FOURIER $f(x) = g(x) + \left[\frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + \beta_n \sin nx) \right]$ à convergence rapide.

REMARQUES :

- 1) Les développements $\sigma_0(x - x_s^{(0)}) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin n(x - x_s^{(0)})}{n}$;

$\sigma_0(x - x_s^{(1)}) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos n(x - x_s^{(1)})}{n}$; $\sigma_0(x - x_s^{(2)}) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin n(x - x_s^{(2)})}{n}$; ... permettent de développer aisément la fonction $g(x)$ en série de FOURIER.

- 2) Si aux extrémités du segment $[-\pi, \pi]$, les valeurs limites de la fonction $f(x)$ ou des dérivées $f'(x), f''(x), \dots, f^{(k)}(x)$ ($k \leq m$) ne coïncident pas, c'est-à-dire si $f^{(i)}(-\pi + 0) \neq f^{(i)}(\pi - 0)$, les points $x = -\pi$ doivent être considérés comme les points de discontinuité de la fonction $f(x)$ ou respectivement des dérivées $f^{(i)}(x)$.

En supposant que la fonction $f(x)$ soit prolongée périodiquement hors du segment $[-\pi, \pi]$ de 2π , on obtient que le saut des dérivées en $x = -\pi$ et $x = \pi$ est le même et égale à $h^{(i)} = f^{(i)}(\pi + 0) - f^{(i)}(\pi - 0)$.

Par suite de la périodicité de la fonction $\sigma_1(x + \pi) = \sigma_1(x - \pi)$. La fonction $\sigma_i^1(x + \pi)$ sur le segment $[-\pi, \pi]$ admettant deux points de discontinuité ($x = -\pi$ et $x = \pi$) de même saut égal à π . C'est pourquoi, il faut inclure dans la formule définissant $g(x)$ un seul point extrême, par exemple $x = \pi$. En effet, d'après la formule définissant $g(x)$, le saut de la dérivée $g^{(i)}$ au point $x = -\pi$ est égal à :

$$g^{(i)}(-\pi + 0) - g^{(i)}(\pi - 0) = \frac{h^{(1)}}{\pi} [\sigma^{(i)}(+0) - \sigma^{(i)}(-0)] = h^{(1)}.$$

La périodicité de $g^{(i)}(x)$ fait que le saut de cette dérivée est également le même pour $x = \pi$. donc, en formant la différence $f(x)-g(x)=\varphi(x)$, où on ne tient pas compte que du point $x = -\pi$, on suppose la discontinuité de la 1-ième de la fonction $\varphi(x)$ en $x = -\pi$, de même qu'en $x = \pi$.

EXEMPLE :

Améliorer par la méthode de KRYLOV la convergence de la série de FOURIER de la fonction $f(x)$ définie par :

$$f(x) = \begin{cases} x^2 + 1 & \text{si } -\pi < x < 0 \\ x^2 & \text{si } 0 < x < \pi \end{cases}$$

SOLUTION :

D'après la remarque (2), la fonction $f(x)$ a sur le segment $[-\pi, \pi]$ pour points de discontinuité $x_1 = -\pi, x_2 = 0, x_3 = \pi$. Le calcul des coefficients de FOURIER donne :

$$a_0 = 1 + \frac{2\pi^2}{3}; a_n = 1 + \frac{2\pi^2}{3} (-1)^n; b_n = \begin{cases} \frac{-2}{\pi n} & \text{pour } n \text{ impair} \\ 0 & \text{pour } n \text{ pair} \end{cases}$$

Par suite, la série de FOURIER de $f(x)$ s'écrit : $a_0 = \frac{1}{2} + \frac{\pi^2}{3} + 4 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n^2} \cos nx - \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{2k+1} \sin(2k+1)x$

La convergence de cette série est mauvaise du fait que les $b_n = 0(\frac{1}{n})$ coefficients décroissent lentement. Extrayons de la fonction $f(x)$ la fonction des sauts $g(x)$ de façon que

$$\varphi(x) = [f(x) - g(x)] \in C^{(m)}[-\pi, \pi].$$

Calculons les sauts $h_j^{(0)}(x)$ aux points $x_j (j = 1, 2, 3)$:

$$h_1^{(0)}(x) = f(-\pi + 0) - f(\pi - 0) = (\pi^2 + 1) - \pi^2 = 1$$

$$h_2^{(0)}(x) = f(+0) - f(-0) = 0 - 1 = -1$$

$$h_3^{(0)}(x) = h_1^{(0)} = 1$$

Ainsi, on obtient d'après la remarque (2) et la formule définissant $g(x)$.

$$g(x) = \frac{1}{\pi} \sigma_0(x + \pi) - \frac{1}{\pi} \sigma_0(x) \text{ ou } g(x) = \frac{1}{\pi} \frac{\pi - (x + \pi)}{2} - \frac{1}{\pi} \frac{(x + \pi)}{2} = -\frac{1}{2}; \text{ avec } -\pi < x < 0$$

$$g(x) = \frac{1}{\pi} \frac{\pi - (x + \pi)}{2} - \frac{1}{\pi} \frac{(x - \pi)}{2} = -\frac{1}{2}; \text{ avec } 0 < x < \pi$$

En retranchant de la fonction $f(x)$ de la fonction des sauts $g(x)$, on obtient $\varphi(x) = x^2 + \frac{1}{2}$; continue sur le segment $[-\pi, \pi]$.

Etant donné que $\sigma(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin nx}{n}$ et que

$$\sigma(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin n(x+\pi)}{n} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n \sin nx}{n},$$

Il vient

$$g(x) = \frac{1}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n \sin nx}{n} - \frac{1}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin n(x+\pi)}{n} = \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(2k+1)x}{2k+1}.$$

Donc

$$f(x) = \frac{1}{2} + \frac{\pi^2}{3} + 4 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n \sin nx}{n^2}.$$

L'ordre de décroissance des coefficients de la série de FOURIER transformée étant $O(\frac{1}{n^2})$.

REMARQUE :

La méthode de KRYLOV est également applicable à la série de FOURIER de période $T = 2l$.

En effet, soit la fonction $f(x)$ définie sur le domaine essentiel $a - l < x < a + l$.

Après avoir effectué la transformation linéaire $x = a + \frac{1}{\pi}t$, on obtient la fonction $F(t) = (a + \frac{1}{\pi}t)2\pi$ -périodique définie dans le domaine $-\pi < t < \pi$.

6 SOMMATION APPROCHÉE DES SÉRIES TRIGONOMETRIQUES

La sommation approchée des séries trigonométriques est une application de l'amélioration de la convergence d'une série. En effet, soit la série trigonométrique convergente $\sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx) = S(x)$ dont la somme $S(x)$ est inconnue. Il faut calculer la valeur approchée de cette somme avec précision donnée à l'avance. Il est évident que plus vite le coefficient a_n et b_n de la série donnée tendent vers zéro, moins il faut prendre les termes de la série pour assurer la précision imposée. Pour cette raison, avant de commencer le calcul, il convient d'améliorer la convergence de la série. A cette fin, on recourt en général à l'artifice suivant : on extrait de la série donnée une certaine série trigonométrique dont la somme $g(x)$ est connue pour que la série resta $\sum_{n=1}^{\infty} (\bar{a}_n \cos nx + \bar{b}_n \sin nx)$ ait une convergence plus rapide que la série initiale.

$$\text{Si } g(x) = \sum_{n=1}^{\infty} (\bar{a}_n \cos nx + \bar{b}_n \sin nx), \text{ vient } S(x) = g(x) + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx)$$

où $a_n = a_n - \bar{a}_n$ ($n=0, 1, 2, \dots$). Dans les cas les plus simples, pour construire les fonctions $g(x)$ on peut utiliser les développements décrits dans ce qui précède.

$$\begin{aligned}\sigma_0(x) &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin nx}{n} = \frac{\pi + x}{2} \quad (0 < x < 2\pi) \\ \sigma_1(x) &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin nx}{n^2} = \frac{(\pi + x)^2}{4} - \frac{\pi^2}{12} \quad (0 \leq x \leq 2\pi) \\ \sigma_2(x) &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin nx}{n^3} = \frac{\pi^2 x - 3\pi x^2 + x^3}{12} \quad (0 \leq x \leq 2\pi) \\ &\vdots\end{aligned}$$

Parfois, il est utile également de faire appel aux développements

$$\begin{aligned}\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin nx}{n} &= \ln(2 \sin \frac{x}{2}) \quad (0 < x < 2\pi) \\ \sigma(x) &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin nx}{n^2} = \int_0^x \ln(2 \sin \frac{x}{2}) dx \quad (0 < x < 2\pi) \\ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin nx}{n^3} &= \int_0^x dx \int_0^x \ln(2 \sin \frac{x}{2}) dx + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^3} \quad (0 < x < 2\pi) \\ &\vdots \\ \text{où } \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^3} &= 1,20205690\end{aligned}$$

EXEMPLE :

Trouver la somme de la série $S(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^{2+1}} \sin nx$ à 0,001 près.

SOLUTION :

L'ordre de décroissance des coefficients de la série $b_n = \frac{n}{n^2+1}$ est $O\left(\frac{1}{n}\right)$ puisque $\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{b_n}{\frac{1}{n}}\right) = 1$.

Améliorons la convergence de la série proposée : il est clair que $\frac{n}{n^2+1} = \frac{n}{n^2} \left(\frac{1}{1+\frac{1}{n^2}}\right) = \frac{1}{n} \left(1 - \frac{1}{n^2} + \frac{1}{n^3}\right) = \frac{1}{n} - \frac{1}{n^3} + u_n$;

$$\text{où } u_n = \frac{n}{n^2+1} - \frac{1}{n} + \frac{1}{n^3} = \frac{1}{n^3(n^2+1)}$$

$$\text{Alors, } \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n}{n^2+1} \sin nx = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin nx - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^3} \sin nx + \sum_{n=1}^{\infty} u_n \sin nx.$$

$$\text{Mais } \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin nx}{n} = \sigma_0(x) \text{ et } \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos nx}{n^3} = -\sigma_2(x).$$

$$\text{Donc } S(x) = \sigma_0(x) + \sigma_2(x) + \sum_{n=1}^{\infty} u_n \sin nx ;$$

où $u_n = \frac{1}{n^3(n^2+1)} = O\left(\frac{1}{n^5}\right)$. Soit N le nombre de termes de la série $\sum_{n=1}^{\infty} u_n \sin nx$ qu'il faut prendre que le reste R_n vérifie l'inégalité $|R_n| = \left|\sum_{n=1}^{\infty} u_n \sin nx\right| < 0,001$. Trouver le nombre N , on a :

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^3(n^2+1)} \sin nx < \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^5} < \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^5} = \frac{1}{4n^4}$$

En résolvant l'inégalité $\frac{1}{4n^4} < 0,001$, on voit qu'il suffit de prendre $N = 5$.

$$\text{Donc, on a avec la précision imposée : } S(x) = \frac{\pi+x}{2} - \frac{2\pi^2-3\pi x^2+x^3}{12} + \sum_{n=1}^5 \frac{\sin nx}{(n^3+1)} \quad (0 < x < \pi)$$

7 CONCLUSION

A travers ce travail, nous avons développé différentes méthodes de transformation des séries et qui permettent l'amélioration de leurs convergences. Et ce qui nous a permis de calculer la somme de la série considérée. La transformation de KUMMER, ABEL, KRYLOV, l'estimation des coefficients de FOURIER, la sommation approchée des séries trigonométriques facilitent la tâche. Nous avons apporté des analyses de ces méthodes tel était le socle et l'idéal de cet article. Des exemples sont donnés, des exercices résolus et certains résultats (théorèmes) sont vérifiés et pour d'autres qui ne les sont pas, les lecteurs peuvent se servir des différents ouvrages présentés à la bibliographie.

Nous avons focalisé notre attention sur l'amélioration de la convergence des séries numériques réelles et notre prochaine publication se portera sur l'amélioration de la convergence des séries numériques complexes et celle des séries des fonctions.

REFERENCES

- [1] AYERS JR, F. (1985), Théorie et applications du calcul différentiel et intégral, Séries-Schaum, Mc Graw-Hill, Paris.
- [2] CHILOV, G. (1973), Mathématique analyse, fonction d'une variable réelle, Mir, Moscou.
- [3] COUTY, R. et EZRA, J., (1985), Analyse MP 1^{ère} année et spéciales AA', Tome 1, Armand Colin, Paris.
- [4] CHEVALLARD, Y. (1979), Théories des séries : séries numériques, Cedec, Paris
- [5] DEMIDOVITCH, B. et MARON, I. (1973), Eléments de calcul numérique, Mir, Moscou.
- [6] LABORDE, J. (1965), Cours et exercices de calcul numérique, Dunod, Paris.
- [7] PISKOUNOV, N. (1970), Calcul différentiel et intégral, Tom 1, Mir, Moscou
- [8] QUINET, J. (1973), Cours élémentaires de Mathématique supérieur. Calcul intégral et séries, Dunod, Bordas, Paris.

