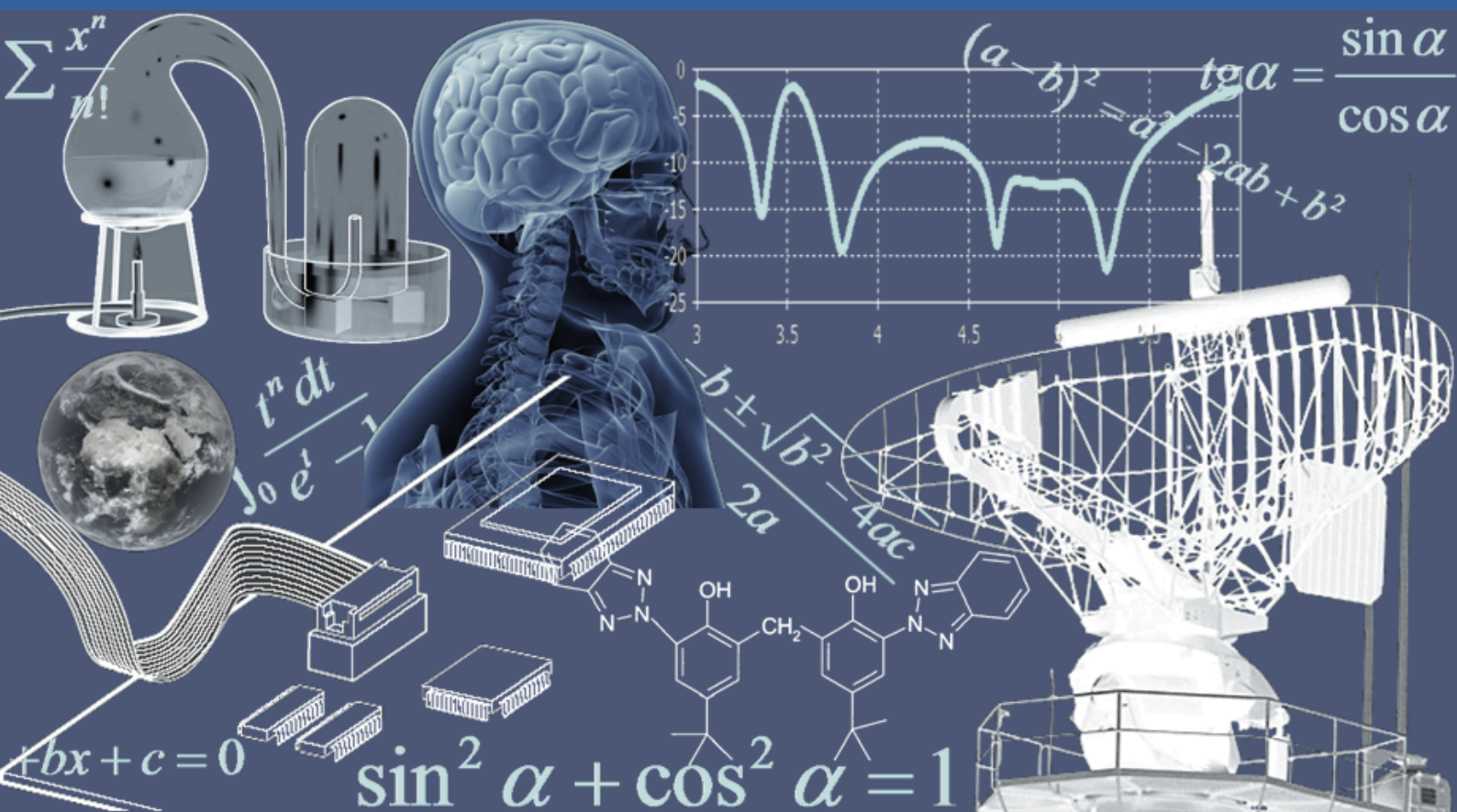


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 32 N. 2 March 2021



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, Ph.D. of Science in Chemical engineering, Process Engineer & Risk Specialist of Oil and Gas Refinery Company, 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
Malika Maataoui, Mohammed V University, Morocco
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 Jula, 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

De quelques évolutions du cadre réglementaire et institutionnel de la microfinance au Bénin depuis la loi PARMEC (Projet d'Appui à la Réforme des Mutuelles d'Épargne et de Crédit): État des lieux <i>Appoline Fonton</i>	200-210
Total Phenolic Content, flavonoids, tannins and Antioxidant Activity of endocarps fruits of <i>Argania spinosa</i> (L.) Skeels (sapotaceae) <i>H.S. Sebaa and F. Cherifi</i>	211-219
Utilisation du calcaire comme agent précipitant des impuretés des solutions cobaltifères des usines de Ruashi Mining en R.D.C. <i>L. Zeka, A. Kafat, F. Manene, and A. Ilunga</i>	220-229
Analyse comparative des systèmes de production de soja basés sur l'utilisation de l'inoculum dans un contexte de gestion durable des terres au Centre du Bénin <i>Firmin Ibidon Akpo, Modeste Djromahuton Dohou, Zachée Houessingbe, and Jacob Afouda YABI</i>	230-239
Production Planning under uncertainty in the aerospace companies in Morocco: State of the art <i>Soumaya Idrissi Jazouli, Kenza Sahaf, and Said Rifai</i>	240-248
Machinery and Calligraphy in Mounir Fatmi's Art <i>Rawya Alijared</i>	249-254
Geochemical characterization and evaluation of the Upper Cretaceous petroleum source rock of Donga in the Termit Basin (East Niger) <i>Ibrahim Sarki Laouali and Moussa Harouna</i>	255-270
L'Algorithme de rétro-propagation de gradient dans le perceptron multicouche: Bases et étude de cas <i>Héritier Nsenge Mpia and Inipaivudu Baelani Nephtali</i>	271-290
Utilisation de drone pour le suivi écologique de la faune dans un ranch au Nord Bénin <i>Sediro Gilles A. Nago, Gérard Nounagnon Gouwakinnou, Joël E. Kpatchia, Etotépé A. Sogbohossou, Franck Mitchozounon, Olivier Ahouandjinou, José E. Gnele, Bagari Kiatti, Michel Le Cornec, Madjidou Oumou, and Brice Sinsin</i>	291-302
Impacts environnementaux des déchets de couches jetables à usage unique dans la ville de Yaoundé <i>Valerie Tsama Njitat, F. Brice Nicolas Atékoa Mbarga, Francis Kom Meliphe, and Hervé Tchékoté</i>	303-312

De quelques évolutions du cadre réglementaire et institutionnel de la microfinance au Bénin depuis la *loi PARMEC* (Projet d'Appui à la Réforme des Mutuelles d'Épargne et de Crédit): État des lieux

Appoline Fonton

Université Laval, Canada

Copyright © 2021 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 future of contemporary microfinance depends to a large extent on the evolution of regulatory and legislative frameworks, both in terms of financial activity and the status and conditions under which the activity is carried out. In Benin, the legal and institutional framework has undergone several changes characterized by innovations at both the regulatory and institutional levels. In this article, we take stock of the various changes and innovations in the regulatory and institutional framework, focusing on some concrete examples.

KEYWORDS: Microfinance, regulation, legal, institutional, mutation, Benin.

RESUME: L'avenir de la microfinance contemporaine dépend en large partie de l'évolution des cadres réglementaires et législatifs, tant en ce qui concerne l'activité financière que le statut et les conditions d'exercice de l'activité. Au Bénin, le cadre juridique et institutionnel a subi plusieurs mutations caractérisées par des innovations aussi bien au plan réglementaire qu'au plan institutionnel. Dans le présent article, nous faisons l'état des lieux des diverses évolutions récentes du cadre réglementaire et institutionnel de la microfinance au Bénin en nous focalisant sur certains exemples concrets.

MOTS-CLEFS: Microfinance, réglementation, juridique, institutionnel, mutation, Bénin.

1 INTRODUCTION

S'il est vrai que l'essor spectaculaire de la microfinance trouve son fondement dans son potentiel en matière d'inclusion financière, d'amélioration de l'accès au financement et de réduction de la pauvreté, il faut dire que des enjeux éthiques entrent aussi en ligne de compte.

En effet, les nombreuses faillites bancaires enregistrées, notamment dans le sillage de la crise économique des années 1970-80, ont laissé un goût amer au sein de la clientèle qui a vu ces épargnes spoliées. De plus, les nombreuses frasques bancaires relevant de la criminalité financière, dont le détournement de fonds, la fraude pyramidale et la diffusion d'information fausse et trompeuse¹, ont permis de mettre en exergue avec acuité la problématique de l'éthique en finance².

¹Affaire Madoff aux États-Unis : Voir sur le site de Lemonde.fr <http://www.lemonde.fr/economie/article/2008/12/19/comprendre-l-affaire-madoff_1133354_3234.html>, consulté le 2 avril 2011 ; affaires Norbourg, Mount Real, iForum et Argentum au Canada : lire Raymonde CRÊTE et al., dir, *La confiance au cœur de l'industrie des services financiers*, Cowansville (Qc), Yvon Blais, actes de colloque du 18 septembre 2009 ; affaire Kerviel en France

Voir en ligne : le figaro.fr <<http://www.lefigaro.fr/actualite-france/2010/06/08/01016-20100608ARTFIG00768-de-l-affaire-kerviel-au-proces-de-la-societe-generale.php>>, consulté le 4 juillet 2019.

² Amartya SEN, « Éthique et finance » (1998) 49, *Revue d'économie financière*, Amartya Sen : La jeune recherche en économie financière, 23. En ligne :

<http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/ecofi_0987-3368_1998_num_49_5_3723>. Consulté le 18 décembre 2013.

La problématique de l'éthique en finance n'est donc pas nouvelle. Napoléon disait déjà au XVIII^e siècle que: lorsqu'un gouvernement est dépendant des banquiers pour l'argent, ce sont ces derniers, et non les dirigeants du gouvernement qui contrôlent la situation, puisque la main qui donne est au-dessus de la main qui reçoit. L'argent n'a pas de patrie ; les financiers n'ont pas de patriotisme et n'ont pas de décence ; leur unique objectif est le gain³.

Le recul de l'éthique en finance, la crise de confiance envers le système bancaire soupçonné d'être trop axé sur ces intérêts personnels et le surendettement des emprunteurs bancarisés, ont donc progressivement mis à rude épreuve le système bancaire classique et justifient le développement relativement récent d'un intérêt accru pour la finance alternative et socialement responsable. À cet effet, la microfinance du fait de son positionnement social, propose des avenues éthiques en matière de développement économique et se positionne comme un secteur dont le but n'est pas affiché comme étant la recherche d'intérêt, mais l'aide aux plus pauvres (responsabilité sociale). Il ne s'agit cependant pas non plus d'une panacée.

Même si la microfinance est souvent présentée comme étant une industrie sensible à l'éthique en finance, elle n'est pas à l'abri d'une recherche effrénée de l'intérêt au détriment de la responsabilité sociale, ce qui pose avec insistance la problématique du cadre institutionnel et réglementaire dans le secteur et amène à imaginer un droit de la microfinance.

L'avenir de la microfinance est donc tributaire de l'évolution des cadres réglementaires et législatifs, en ce qui concerne l'activité financière ainsi que le statut et les conditions d'exercice de l'activité⁴. Dans un cas ou dans l'autre, les enjeux ne sont pas seulement techniques, mais ils sont aussi éthiques et porteurs d'un modèle de société.

Selon Sen, la finance est une matière dont les préceptes éthiques ont été examinés sous plusieurs aspects depuis des milliers d'années, allant de Kautilya et d'Aristote au IV^e siècle avant J.-C. à Adam Smith au XVIII^e siècle⁵.

Plusieurs préoccupations ont progressivement conduit vers un interventionnisme étatique dans l'économie politique moderne et particulièrement dans le secteur de la finance. Deux processus empruntés à Adam Smith sont utilisés afin de développer la richesse morale des nations et de leurs institutions: il s'agit du droit et de l'éthique⁶. D'après cette conception, le droit procède de la loi et la jurisprudence, et utilise des mécanismes de motivation comme la sanction. L'éthique quant à elle procède de l'empathie et des convictions, utilisant les processus de l'expérience et de l'éducation⁷.

Trois types de préoccupations conduisent généralement à l'intervention de l'État dans le secteur sensible de la finance, malgré le libéralisme économique moderne⁸. La première renvoie aux objectifs qu'une société financière et/ou commerciale doit poursuivre (entre) son optimum social (et) sa responsabilité financière envers les actionnaires. Une seconde préoccupation vise la contrainte instrumentale qui devrait limiter toute entreprise dans la poursuite des objectifs choisis, comme pour la maximisation du profit. Enfin, une autre préoccupation concerne les contraintes de comportement qui pourraient restreindre notablement la recherche de profits privés par des agents financiers individuels. La recherche de gains personnels par les agents eux-mêmes pourrait créer des situations conflictuelles allant à l'encontre des intérêts des actionnaires, ou de la communauté en général. Il s'agit donc pour le droit de veiller aux intérêts des parties et à l'équité.

C'est donc le modèle de société où l'État est appelé à réglementer et à superviser les secteurs sensibles comme celui des services financiers qui a aussi conduit à l'intervention du droit dans le domaine de la microfinance.

Cependant, les opérations de microfinance ne peuvent s'épanouir dans le cadre réglementaire applicable de façon générale aux services financiers et spécifiquement aux banques étant donné les particularités importantes de ce secteur financier alternatif. La spécificité de la microfinance entraîne ou devrait entraîner une spécificité du droit qui lui est applicable. Cette spécificité s'est traduite au Bénin par des innovations caractérisées par une adaptation progressive du droit bancaire puis par l'instauration de mesures spécifiques en faveur des services financiers décentralisés, mais aussi par des innovations institutionnelles aussi bien en ce qui concerne la supervision du secteur que l'organisation des institutions de microfinance.

³ Lucian S. REGENBOGEN. *Napoléon a dit : aphorismes, citations et opinions*. Paris : Les belles lettres, 1996.

⁴ Jean-Michel SERVET et Isabelle GUÉRIN, *Exclusion et liens financiers*, Rapport du Centre Walras, 2002 p. 391.

⁵ Amartya SEN, *supra* note 2, à la p 24.

⁶ Adam SMITH. *The Theory of Moral Sentiments* (Ed. By D.D. Raphael and A.L. Macfie). (1982), Indianapolis, Liberty Fund/Oxford University Press/Glasgow University Press (Orig. 1759).

⁷ Pauchant, T.C., C. Coulombe, C. Gosselin, Y. Leunens et J. Martineau (2007). Deux outils pour encourager des pratiques morales et éthiques en gestion. *Revue internationale de Gestion*, 32, 1, 31-38

⁸ Amartya SEN, *supra* note 2, à la p 24.

Au sens large, la régulation est un ensemble de règles qui permettent de limiter ou diriger les actions des agents sur le marché, ce qui, finalement, a pour effet d'altérer le résultat de ces actions⁹. La régulation d'un système peut donc être exercée par le marché lui-même, mais également par le gouvernement ou d'autres autorités régulatrices. Lorsqu'elle est exercée par les autorités publiques on parle généralement de réglementation. La réglementation est donc un ensemble de règles adoptées par le corps législatif (lois) ou ordonnées par le pouvoir exécutif (rèlements, ordonnances, décrets) qui ont une force obligatoire¹⁰ et régissent le comportement des personnes morales et physiques¹¹.

L'arsenal législatif et réglementaire de la microfinance au Bénin est riche d'une panoplie de lois et décrets d'application ainsi que de diverses instructions et décisions de la BCEAO (1). Dans cet arsenal législatif et réglementaire, la régulation et la surveillance sont sous la responsabilité de quatre types d'institutions nationales et sous-régionales (2). Enfin, certaines innovations bien qu'ayant fourni des résultats encourageants dans le contexte béninois ont connu une évolution discontinue possiblement préjudiciable au secteur de la microfinance (3).

2 APERÇU DES TRANSFORMATIONS LÉGISLATIVES ET RÉGLEMENTAIRES DANS LE SECTEUR DE LA MICROFINANCE AU BÉNIN

Le secteur de la microfinance au Bénin évolue dans un environnement juridique prioritairement défini par les réglementations issues de la BCEAO. Jusqu'en 2008, la réglementation était donc constituée pour l'essentiel par la loi PARMEC¹² (Projet d'appui à la réforme des mutuelles d'épargne et de crédit) de 1993 et la convention-cadre de 1996¹³. Les institutions de microfinance (IMF) visées par cette loi PARMEC¹⁴, étaient uniquement les mutuelles et les coopératives d'épargne et de crédit. Avec la diversification des types d'IMF, la banque centrale des États de l'Afrique de l'Ouest (BCEAO) adopta dès 1996 la convention-cadre qui permettait légalement aux autres types d'institutions d'offrir des services de microfinance. Le cadre réglementaire défini par la loi PARMEC¹⁵ et la convention-cadre de 1996 ont fait l'objet de plusieurs critiques¹⁶. D'abord, ce cadre réglementaire privilégiait les institutions de type mutualistes et coopératives par rapport aux institutions non mutualistes et non coopératives. En effet, l'exemption d'impôts et de taxes n'est valable que pour les mutuelles ou coopératives, les structures signataires de conventions sont quant à elles sujettes à la taxation. Outre l'inégalité de traitement fiscal, les structures signataires de la convention-cadre de 1996 sont tributaires du ministère des Finances en ce qui concerne leur futur puisqu'ils ont un agrément sur cinq ans, renouvelable.

Ensuite, les normes réglementaires édictées par la loi PARMEC n'étaient pas suffisamment adaptées aux spécificités de la microfinance, encore moins à la diversification des types d'IMF. Par exemple, le ratio de liquidité y est fixé à 80 % par la loi, ce qui

⁹ Chaves, R. A., et Gonzales-Vega, C. « Principles of regulation and prudential supervision: should they be different for microenterprise finance organizations? » (1992) Columbus : Rural Finance Program of Department of Agricultural Economics and Rural Sociology of The Ohio State University à la p 2.

¹⁰ Robert PECK CHRISTEN, Timothy R. LYMAN et Richard ROSENBERG, supra note 130 à la p 7.

¹¹ Cette définition est de portée positiviste. La difficulté pour la réglementation de régir sans effectivement et efficacement les comportements de tous les acteurs concernés constitue la critique principale à cette définition et le fondement même du positionnement théorique de la thèse.

¹² Voir la loi PARMEC en ligne :

<http://lamicrofinance.org/files/15733_file_law_PARMEC_10_Fre.pdf>. consulté le 20 juillet 2019 ;

Zahia LOLILA-RAMIN, « Regulation and supervision of microfinance in the West Africa monetary union: how the Parmec law impedes access to finance for smes and the poor » (2005) 5, Essays on regulation and supervision

En ligne: <<http://www.microfinancegateway.org/sites/default/files/mfg-en-paper-regulation-and-supervision-of-mfis-in-the-west-african-monetary-union-how-the-parmec-law-impedes-access-to-finance-for-smes-2005.pdf>> consulté le 15 juillet 2019.

¹³ Convention-cadre, en ligne : <http://www.microfinancegateway.org/sites/default/files/publication_files/file_law_parmec_03_fre.pdf> consulté le 2 juin 2016.

¹⁴ Ibid.

¹⁵ Ibid.

¹⁶ Voir Abdou FALL, « Les mutations juridiques et institutionnelles de la microfinance au Sénégal » (janvier 2012), Écrire pour partager les expériences et innovations dans le secteur de la microfinance au Sénégal », Atelier d'écriture sur la microfinance au Sénégal, en ligne :

<http://www.microfinance.sn/docs/atelier_ecriture/texte_Abdou_fd_V0.pdf> consulté le 2 juin 2016 ; K. OUATTARA, « Microfinance Regulation in Benin: Implications of the PARMEC Law for Development and Performance of the Industry » (2003) 50, Washington, D.C., World Bank Africa Region Working Paper; Ashta, Arvind and Ndeye Salimata Fall, (2012) "Institutional analysis to understand the growth of microfinance institutions in West African economic and monetary union", Corporate Governance: The international journal of business in society, Vol. 12 Issue: 4, pp.441-459 ; Arun, T. « Regulating for development: the case of microfinance » (2005), 45 The Quarterly Review of Economics and Finance, 346–357.; Robert Peck CHRISTEN et Richard ROSENBERG « La course à la réglementation : Établissement de cadres juridiques pour la microfinance » (2000), 4 Études spéciales N° 4., CGAP, en ligne <<https://www.cgap.org/sites/default/files/CGAP-Occasional-Paper-The-Rush-to-Regulate-Legal-Frameworks-for-Microfinance-Apr-2000-French.pdf>>.

signifie que les valeurs disponibles, mobilisables et réalisables à court terme doivent couvrir 80 % du passif à court terme de l'institution.

Enfin, le cadre réglementaire ne faisait aucune différence entre les activités exercées par les IMF et, de ce fait, imposait des coûts de supervision inutiles à plusieurs IMF.

À partir de 2007, la BCEAO a conçu un nouveau cadre qui régleme désormais le secteur sous l'intitulé : loi uniforme portant réglementation des systèmes financiers décentralisés¹⁷. En effet, les conditions d'exercice des Systèmes Financiers Décentralisés (SFD) étaient définies par un dispositif adopté par l'ensemble des pays de l'UEMOA lors de sa session tenue le 17 décembre 1993 à Dakar. Après une décennie d'application soldée par plusieurs insuffisances, ce dispositif réglementaire a été amélioré puis adopté le 23 avril 2007 à Lomé. L'amélioration a été nécessaire pour prendre en compte les imperfections de l'ancienne loi, mais aussi les transformations et l'expansion qu'a connue le secteur en matière d'accès aux services financiers, de flux financiers et de diversification des types d'IMF. Sous la houlette de la BCEAO, autorité de régulation ayant piloté les travaux de révision du cadre réglementaire de la microfinance dans l'UEMOA, les améliorations apportées visaient aussi à renforcer les obligations d'obtention d'agrément, la supervision et les standards de publication des résultats.

Depuis 2007, le cadre réglementaire de la microfinance dans les pays de l'UEMOA est donc principalement défini par la loi uniforme portant réglementation des systèmes financiers décentralisés. Les principales innovations figurant dans cette nouvelle législation applicable aux SFD portent essentiellement sur six éléments majeurs :

- La réglementation de la microfinance s'effectue désormais en fonction de l'activité plutôt qu'en fonction du type d'institution, ce qui ouvre la voie à l'équité de traitement de l'ensemble des types d'IMF : sociétés à responsabilité limitée, sociétés anonymes ainsi que sociétés coopératives ou mutualistes ou associations constituées selon les règles issues des Actes uniformes de l'OHADA¹⁸. La nouvelle réglementation s'étend donc à l'ensemble des SFD ;
- L'instauration d'un régime unique d'agrément en guise d'autorisation d'exercice ;
- La participation active de la BCEAO à l'instruction des dossiers d'autorisation d'exercice ;
- L'intervention de la BCEAO et de sa commission bancaire dans la surveillance des institutions qui ont atteint un certain niveau d'activité ;
- Le renforcement du dispositif prudentiel et des sanctions applicables ainsi que la certification obligatoire des comptes pour les SFD d'une certaine taille financière.

Au Bénin, ce nouveau cadre juridique et réglementaire a été voté par le parlement le 24 janvier 2012 et promulgué le 21 mars 2012 par le président de la République. On parle alors désormais de la loi n° 2012-14 du 21 mars 2012 portant réglementation des SFD en République du Bénin¹⁹. Elle s'applique à toutes les IMF exerçant leurs activités sur le territoire béninois, quels que soient la forme juridique et les produits offerts.

Selon la nouvelle réglementation, les institutions de microfinance doivent solliciter un agrément spécifique auprès du ministre chargé des finances selon le type de produits offerts. Mais au-delà d'une certaine taille, les autorisations d'exercice seront soumises à l'avis de la BCEAO. Une fois l'agrément reçu, les petites institutions seront sujettes à la supervision du ministère des Finances uniquement, alors que les grandes institutions seront surveillées et contrôlées conjointement par le ministère des Finances et la Commission bancaire de la BCEAO. La nouvelle réglementation modifie les ratios prudentiels²⁰ afin de les adapter aux réalités de l'ensemble des catégories d'institutions de microfinance. Ainsi, certaines limitations²¹ qui étaient déterminées sur la base du total

¹⁷ BCEAO « Recueil des textes légaux et réglementaires régissant les SFD de l'UEMOA », en ligne : <<http://www.bceao.int/IMG/pdf/recueil-des-textes-legaux-et-reglementaires-regissant-les-sfd-de-lumoa.pdf>> consulté le 18 octobre 2018.

¹⁸ Acte uniforme révisé relatif au droit des sociétés commerciales et du groupement d'intérêt économique, en ligne : <<http://www.ohada.com/actes-uniformes/1299/1301/champs-d-application-des-dispositions-du-present-acte-uniforme.html>> consulté le 02 mai 2016.

¹⁹ Assemblée nationale de Bénin « Répertoire des lois votées et promulguées de la 1^{re} à la 6^e législature » (mars 2014) Service de la Documentation et des Archives de l'Assemblée nationale, à la p 128, en ligne <http://assemblee-nationale.bj/images/docman/arborescence_principale/6_Repertoires_des_lois/REPertoire_DES_LOIS_VOTEES_ET_PROMULGUEES.pdf> consultée le 2 mai 2016.

²⁰ Un ratio prudentiel est un ratio en deçà duquel une institution de service financier présente un risque d'insolvabilité. Dans le cas d'une Banque par exemple, ce ratio se mesure en comparant le niveau des engagements de la banque (le montant qu'elle prête) au montant de ses fonds propres (capital apporté par les actionnaires et profit de la banque). Cette méthode a été utilisée aussi dans le domaine de la microfinance avant que l'on adopte désormais l'utilisation des ressources en lieu et place des dépôts.

²¹ Il s'agit de la limitation des opérations autres que les activités d'épargne et de crédit, la limitation des risques portés par une institution et la limitation des prêts aux personnes liées.

des dépôts le sont désormais sur la base des ressources, permettant ainsi d'adapter ces limitations aux institutions de type non mutualistes et non coopératives. Aussi, la norme de liquidité n'est plus fixée à 80 %. Elle varie maintenant selon les types d'IMF pour atteindre un maximum 100 % au niveau des institutions mutualistes non affiliées à un réseau. La nouvelle loi impose aux IMF de s'affilier à l'association nationale professionnelle en l'occurrence le consortium Alafia au Bénin.

Au total, le cadre légal et réglementaire de la microfinance au Bénin est actuellement composé notamment de la loi portant réglementation des systèmes financiers et de son décret d'application adopté le 6 avril 2007 par le conseil des ministres de l'Union Monétaire Ouest-Africain (UMOA). L'arsenal comprend aussi la loi n° 2012-14 du 21 mars 2012 portant réglementation des SFD en République du Bénin et son décret d'application.

À ces lois et décrets, s'ajoute plus d'une vingtaine d'instruments juridiques applicables au secteur de la microfinance au Bénin.

Par exemple, la loi n° 2003-22 portant modification de la loi n° 83-008 du 17 mai 1983 portant définition et répression de l'usure²² et les dispositions de l'ODAHA définissent les taux d'intérêt maximum qui peuvent être chargés aux clients par les banques commerciales et les institutions de microfinance. Pour les banques, ce taux s'élève à 18 %. Et pour les SFD, la limite maximale autorisée est de 27 %. La loi n° 2003-22 du 11 novembre²³ est une version modifiée de la loi n° 83-008 du 17 mai 1983 portant définition et répression de l'usure au Bénin. Il définit et précise la notion de l'usure en finance tout en faisant état des sanctions applicables en cas de non-respect des dispositions. À cet effet, le taux d'usure est de 24 % l'an depuis le 1er janvier 2014²⁴ dans les services financiers décentralisés.

La sécurité des renseignements personnels dans les SFD est soumise à la loi n° 2009-09 du 22 mai 2009 portant protection des données à caractère personnel en République du Bénin et son décret d'application, qui définissent les standards en matière de protection des renseignements personnels au Bénin.

Dans le cadre de la lutte contre le surendettement et les défauts de paiement, la loi uniforme portant réglementation des bureaux d'information sur le crédit (BIC) dans les États membres de l'UMOA, a été élaborée²⁵. Cette loi vise à permettre la mise en place harmonieuse de bureaux de centralisation d'informatisation sur le crédit. Ces bureaux d'information permettent en l'occurrence d'éviter l'endettement croisé, mais surtout les problèmes d'asymétrie d'information tout en favorisant une meilleure évaluation de la capacité de remboursement des clients en tenant compte des dettes en cours et des habitudes de remboursement auprès d'autres IMF. Plusieurs instructions sont reliées à cette loi. Il s'agit de:

- L'instruction n° 009-06-2015 relative aux dispositifs de sécurité des systèmes d'information des bureaux d'information sur le crédit.
- L'instruction n° 002-01-2015 relative aux modalités d'obtention du consentement du client par les fournisseurs des données aux bureaux d'information sur le crédit (BIC) dans le cadre du système de partage d'information sur le crédit dans les États membres de l'union.
- L'instruction n° 010-06-2015 relative au plan de continuité d'activité des bureaux d'informations sur le crédit.

Plusieurs autres instructions et décisions précisent les modalités liées à l'octroi et le retrait d'agrément, l'exercice des activités des SFD, l'admission de ces derniers au crédit bancaire pour leur financement et l'obligation de reddition de comptes:

- Instruction n° 007-06-2010: elle a pour objet de fixer les modalités de contrôle et de sanction des systèmes financiers décentralisés (SFD) par la Banque Centrale des États de l'Afrique de l'Ouest ci-après dénommée « BCEAO » ou « Banque Centrale » et la Commission bancaire de l'union monétaire ouest-africaine (UMOA).

²² Assemblée nationale de Bénin « Répertoire des lois votées et promulguées de la 1re à la 6e législature » (mars 2014) Service de la Documentation et des Archives de l'Assemblée nationale, en ligne : <<http://assemblee-nationale.bj/fr/telecharger/359-repertoire-des-decisions-et-des-lois-votees-et-promulguees/file>> consulté le 10 mars 2016.

²³ loi n° 2003-22 portant modification de la loi n° 83-008 du 17 mai 1983 portant définition et répression de l'usure, en ligne : <<https://sgg.gouv.bj/doc/loi-2003-22/>>. (loi portant modification)

²⁴ BCEAO, Avis n° 003 - 08 - 2013 aux établissements de crédit et aux systèmes financiers décentralisés, relatif à la fixation du taux de l'usure dans les États membres de l'union monétaire ouest-africaine (UMOA) du 28 juin 2013, en ligne : <http://www.bceao.int/IMG/pdf/avis_aux_ec_taux_de_l_usure-derniere_version.pdf>, consulté le 10 mars 2016.

²⁵ loi uniforme portant réglementation des bureaux d'information sur le crédit (BIC), en ligne : <<https://www.tresorbenin.bj/uploads/files/loi%20portant%20r%C3%A8glementation%20des%20Bureaux%20d'Information%20sur%20le%20Cr%C3%A9dit%20en%20R%C3%A9publique%20du%20B%C3%A9nin.pdf>>

- Instruction n° 010-08-2010 relative aux règles prudentielles applicables aux systèmes financiers décentralisés des États membres de l'union monétaire ouest-africaine (UMOA). Elle définit les règles et normes prudentielles applicables aux systèmes financiers décentralisés (SFD).
- Instruction n° 017-12-2010 relative à l'organisation du contrôle interne au sein des systèmes financiers décentralisés.
- Instruction n° 018-12-2010 relative à l'obligation pour les systèmes financiers décentralisés de produire un rapport annuel. Elle précise le mode de transmission ainsi que le contenu du rapport annuel qui comportent en dehors des informations sur les activités de l'institution, les états financiers approuvés par l'Assemblée générale, constituée du bilan, du compte de résultat et des états annexes.
- Instruction n° 019-12-2010 relative à la mise en place d'un fonds de sécurité ou de solidarité au sein des réseaux d'institutions mutualistes ou coopératives d'épargne et de crédit.
- Instruction n° 020-12-2010, elle fixe les indicateurs périodiques à communiquer par les systèmes financiers décentralisés (SFD) au ministre chargé des Finances, à la Banque Centrale des États de l'Afrique de l'Ouest ci-après dénommée « BCEAO » ou « Banque Centrale » et à la Commission bancaire de l'union monétaire ouest-africaine (UMOA), ainsi que les modalités et périodicités de leur transmission.
- Instruction n° 030-02-2009 fixant les modalités d'établissement et de conservation des états financiers des systèmes financiers décentralisés de l'union monétaire ouest-africaine ;
- Instruction n° 004-06-2010 relative au retrait de la reconnaissance des groupements d'épargne et de crédit en activité dans les États membres de l'union monétaire ouest-africaine (UMOA) ;
- Instruction n° 005-06-2010 déterminant les éléments constitutifs du dossier de demande d'agrément des systèmes financiers décentralisés dans les États membres de l'union monétaire ouest-africaine (UMOA) ;
- Décision n° 397/12/2010 portant règles, instruments et procédures de mise en œuvre de la politique de la monnaie et du crédit de la BCEAO.
- Décision n° 061-03-2011 relative aux critères d'admissibilité des crédits bancaires octroyés aux systèmes financiers décentralisés en support des refinancements de la BCEAO.

On peut ajouter à l'ensemble de ces dispositions légales et réglementaires des instruments para juridiques comme le code de déontologie du réseau des institutions de microfinance du Bénin (Consortium Alafia). Ce code est le recueil des principes éthiques qui s'imposent aux membres du réseau et a pour ambition de contribuer à la professionnalisation du secteur au Bénin²⁶.

Afin de conduire à une microfinance inclusive au Bénin, quatre types d'institutions jouent, le rôle de superviseur dans le secteur de la microfinance.

3 LES INSTITUTIONS CHARGÉES DE LA SUPERVISION DU SECTEUR DE LA MICROFINANCE AU BÉNIN

3.1 LES MINISTÈRES RESPONSABLES DE LA SUPERVISION DE LA MICROFINANCE

Les ministères responsables de la supervision de la microfinance, avec à leur tête le ministère des Finances, ont un rôle important à jouer dans la surveillance du secteur de la microfinance. Les autres ministères sont ceux qui ont un lien avec l'activité de microfinance. Le Bénin s'est doté en 2006 d'un ministère de la Microfinance. Ce ministère était chargé d'assurer la promotion de l'industrie à travers, entre autres, le Fonds national de microfinance. Mais, depuis avril 2016, les activités de microfinance sont à nouveau rattachées au ministère des Finances et de l'Économie. C'est d'ailleurs au niveau de ce ministère qu'on délivre les agréments et supervise les IMF de petite taille, qu'est logée la cellule de surveillance des services financiers décentralisés ainsi que le comité de stabilité financière et d'assainissement du secteur de la microfinance. En effet, le ministère de l'Économie et des Finances est responsable de la formalisation des SFD, de l'assainissement, de la supervision et de la surveillance du secteur suivant le décret n° 2008_111 du 12 mars 2008 portant attributions, organisation et fonctionnement du ministère de l'Économie et des Finances. Cette mission est réalisée en collaboration, au besoin, avec les autres ministères concernés. En dehors des ministères responsables de la supervision de la microfinance, la Banque centrale des États de l'Afrique de l'Ouest (BCEAO) joue également un rôle primordial.

²⁶ Art 1 du Code de déontologie des institutions de microfinance au Bénin. Voir Consortium ALAFIA. « Code de déontologie des institutions de microfinance » (2005), Cotonou, Bénin, en ligne : <<http://www.microfinancegateway.org/sites/default/files/mfg-fr-etudes-de-cas-code-de-deontologie-des-imf-benin-2000.pdf>> consulté le 15 janvier 2019.

3.2 LA BANQUE CENTRALE DES ÉTATS DE L'AFRIQUE DE L'OUEST (BCEAO)

La BCEAO a, principalement, la charge de la définition et de la surveillance de la réglementation applicable aux SFD dans l'espace UEMOA. Si son rôle de définition de la réglementation de la microfinance est connu depuis les années 1990, il faut dire que ce sont les nouvelles dispositions qui consacrent l'intervention de la BCEAO et de sa commission bancaire²⁷ comme institution chargée de la surveillance du secteur de la microfinance. Par exemple, la BCEAO et la commission bancaire procèdent, après information du ministre des Finances, au contrôle des SFD qui ont atteint un certain seuil d'activités (montant des dépôts et encours de crédits supérieur ou égal à 2 milliards de francs CFA [XOF]). Dans le même ordre d'idées, la BCEAO et la commission bancaire peuvent susciter l'adoption diligente de mesures (redressement, administration provisoire) pour les institutions susvisées.

De plus, les dispositions relatives à l'agrément des SFD mettent l'accent sur le rôle de la BCEAO qui intervient en amont dans l'instruction des dossiers de demande d'agrément. À terme, l'autorisation d'exercice est prononcée par le ministre responsable des finances après avis conforme de la BCEAO.

3.3 DE LA CELLULE D'APPUI ET DE SUIVI DES INSTITUTIONS DE MICROFINANCE À L'AGENCE NATIONALE DE SURVEILLANCE DES SYSTÈMES FINANCIERS DÉCENTRALISÉS (ANSSFD)

La Cellule d'appui et de suivi des institutions de microfinance au Bénin a été créée, par arrêté n° 002/MF/DC/DGTCP/DAMF du 12 janvier 1998, en application de la loi n° 97-027 du 08 août 1997, portant réglementation des institutions mutualistes ou coopératives d'épargne et de crédit (PARMEC). En 2003, cet arrêté a été modifié par un autre arrêté n° 607/MFE/DC/MICROFIN du 27 mai 2003 portant création, attributions, organisation et fonctionnement de la Cellule de Microfinance. Par la suite, la Cellule de microfinance va connaître plusieurs changements de dénomination et d'ancrage de mars 2006 à décembre 2009 pour devenir Cellule de surveillance des structures financières décentralisées (CSSFD) par l'arrêté n° 1379/MEF/DC/SGM/CSSFD/SAF du 22 décembre 2009.

Ainsi, la CSSFD assure la supervision des activités du secteur de la finance décentralisée au moyen de la loi citée plus haut encore appelée loi PARMEC.

Afin de redynamiser la surveillance du secteur de la finance décentralisée en tenant compte de la nouvelle loi portant réglementation des systèmes financiers décentralisés après une décennie d'application, dont plusieurs insuffisances ont été relevées, la Cellule de surveillance des structures financières décentralisées se transforme en une agence. Cette dernière a été consacrée par le décret n° 2015-346 du 15 juin 2015 portant attributions, organisation et fonctionnement de l'Agence nationale de surveillance des systèmes financiers décentralisés (ANSSFD). Ainsi, l'ANSSFD devient une structure à caractère social sous tutelle du MEF et ayant une personnalité juridique, une autonomie administrative, financière et de gestion.

Quelques-unes des missions de l'ANSSFD est²⁸ d'assurer l'assainissement du secteur de la microfinance et la vulgarisation des textes réglementaires qui le régissent ; de contribuer à l'élaboration et à l'amélioration du cadre juridique, comptable et financier applicable aux SFD ; d'assurer le contrôle sur pièces et sur place, la surveillance permanente du secteur et la mise à jour des bases de données du secteur de la microfinance, à travers la collecte, le traitement et la diffusion des informations statistiques concernant les SFD et de veiller entre autres, à la protection des dépôts faits auprès des SFD.

En plus de l'agence nationale de surveillance des systèmes financiers décentralisés, il existe le comité de stabilité financière et d'assainissement du secteur de la microfinance (CSFASM) toujours dans le but d'une amélioration du secteur.

3.4 LE COMITÉ DE STABILITÉ FINANCIÈRE ET D'ASSAINISSEMENT DU SECTEUR DE LA MICROFINANCE (CSFASM) ²⁹

Le CSFASM est composé de treize membres, dont cinq représentants du ministre de l'Économie et des Finances et un représentant de chacun de sept autres ministères ayant un lien avec l'activité de microfinance, auquel s'ajoute un représentant de la cellule nationale de traitement des informations financières. Ce comité, placé sous l'autorité du ministre chargé des Finances, a pour

²⁷ BCEAO, en ligne : <<http://www.bceao.int/Mission-et-composition-de-la.html>> consulté 20 février 2019.

²⁸ Agence Nationale de Surveillance des Systèmes Financiers Décentralisés « Missions et Attributions »

En ligne : <<https://www.finances.bj/old/anssfd/presentation/missions-et-attributions/>>

²⁹ Voir en ligne : <www.microfinancebenin.bj/index.php?fct=cssfd&rub=supervision> consulté le 20 février 2019.

<https://www.bceao.int/sites/default/files/inline-files/BENIN%20Com%20_Mesures%20d%27assainissement%20du%20%20secteur%20de%20la%20microfin_v3W.pdf> consulté le 18 juin 2019. <<https://www.finances.bj/anssfd/accueil/>> consulté le 18 juin 2019.

mission la sécurisation du secteur financier, l'identification et la fermeture des structures de collecte d'épargne et/ou d'octroi de crédit qui opèrent dans le secteur financier sans une autorisation préalable et au mépris des textes en vigueur. En effet, selon le décret n° 2011-892 du 30 décembre 2011 portant création, attributions, organisation et fonctionnement du comité de stabilité financière et d'assainissement du secteur de la microfinance, ce comité est chargé :

- D'exercer et de coordonner la fonction de veille permanente sur l'ensemble du secteur financier, y compris le secteur informel ;
- De créer un cadre sécurisé de gestion et d'échanges d'informations entre les institutions de surveillance afin de faire une détection précoce, de procéder à l'arrêt des violations de la loi, d'éliminer les menaces contre le public et les institutions financières liées à ces violations de la loi ;
- De contribuer à l'assainissement du secteur financier en procédant progressivement à la fermeture systématique de toutes les structures non autorisées qui collectent l'épargne et/ou octroient de crédit ;
- De veiller au renforcement des actions d'information et de prévention menées par la cellule nationale de traitement des informations financières (CENTIF) sur les établissements de crédit en matière de lutte contre le blanchiment des capitaux ;
- De veiller à la transposition dans la législation nationale des textes communautaires et à leur application ;
- D'informer l'autorité judiciaire (les tribunaux) et le régulateur principal (BCEAO) des opérations de collecte illégale d'épargne ;
- De mettre en application les dispositions légales et réglementaires de nature prudentielle relatives à l'activité financière ;
- De veiller à l'application stricte des sanctions prévues par les textes législatifs et réglementaires visant notamment la collecte illégale de l'épargne.

4 LE BUREAU D'INFORMATION ET DE CRÉDIT (BIC) AU BÉNIN

Dans le processus de souscription à un microcrédit, une bonne analyse de la solvabilité des emprunteurs peut permettre à l'institution d'anticiper un éventuel risque de surendettement. S'il n'existe pas véritablement de textes de loi spécifiques concernant les critères de solvabilités et l'étude de la capacité de remboursement des emprunteurs de microcrédit, on note par contre l'existence de certaines dispositions contenues dans diverses instructions de la BCEAO relatives au bureau d'information et de crédit (BIC) qui est considéré comme un instrument d'aide à l'analyse de la solvabilité, par le biais d'un archivage national de l'ensemble des informations sur les crédits en cours et les crédits remboursés d'un individu. Le Bénin a adopté la loi Uniforme n° 2016-36 du 23 janvier 2017 portant réglementation des Bureaux d'Information sur le Crédit (BIC). Dans le contexte ouest-africain en général et béninois en particulier où l'archivage représente un défi, cette innovation réglementaire est très salubre, mais pose plusieurs inquiétudes quant à son applicabilité.

4.1 QU'EST-CE QU'UN BUREAU D'INFORMATION SUR LE CRÉDIT (BIC) ?

Le Bénin a adopté la loi Uniforme n° 2016-36 du 23 janvier 2017 portant réglementation des Bureaux d'Information sur le Crédit (BIC). Elle est constituée de soixante-seize (76) articles, répartis entre les douze (12) suivants : - Définitions ; - Objet et champ d'application de la loi ; - Agrément et retrait d'agrément d'un BIC ; - Dirigeants et personnel d'un BIC ; - Réglementation des BIC ; - Supervision des BIC ; - Activités autorisées, obligations et droits des parties ; - Protection des renseignements personnels ; - Partage d'informations sur le crédit ; - Sanctions ; - Dispositions relatives à l'organisation des procédures collectives d'apurement du passif ; - Dispositions transitoires et finales.

Dans cette loi, le bureau d'information sur le crédit (BIC) est défini comme une personne morale agréée qui effectue, à titre de profession habituelle, la collecte, la compilation, le stockage, le traitement et la diffusion d'informations sur le crédit et autres données connexes qui sont reçues à partir de sources ou de fournisseurs de données, conformément à un accord spécifique signé par les parties, aux fins de compilation et de mise à disposition de rapports de crédit et offrant des services à valeur ajoutée aux utilisateurs³⁰.

³⁰ loi Uniforme n° 2016-36 du 23 janvier 2017 portant réglementation des Bureaux d'Information sur le Crédit (BIC) <https://apdp.bj/wp-content/uploads/2019/05/loi-portant-r%C3%A8glementation-des-Bureaux-d'Information-sur-le-Cr%C3%A9dit-en-R%C3%A9publique-du-B%C3%A9nin.pdf#:~:text=Article%204%20%3A%20Nul%20ne%20peut,et%20%22Cr%C3%A9dit%20Reference%20Bureau%22>.

Il s'agit d'une structure à statut privé dont l'activité est opérée sur une base régionale, avec une présence physique dans chaque État membre de l'UMOA³¹. La base de données centralisée du BIC est localisée dans un État membre de l'UMOA³².

Son activité est mise en œuvre suivant le modèle indirect de collecte des données des assujettis, avec la BCEAO comme interface entre les assujettis et le BIC.

Cette loi s'applique aux Bureaux d'Information sur le Crédit, aux fournisseurs et utilisateurs de données sur le crédit exerçant leurs activités sur le territoire de la République du Bénin, quel que soit leur statut juridique, le lieu de leur siège social ou de leur principal établissement dans l'UMOA et la nationalité des propriétaires de leur capital social ou de leurs dirigeants. Elle s'applique également aux clients des fournisseurs et utilisateurs de données visés³³.

4.2 LE PARTAGE D'INFORMATION

Les dispositions contenues dans les articles 60 et 61 de la loi uniforme portant réglementation des bureaux d'information sur le crédit dans l'UMOA prônent en effet le partage d'information sur le crédit selon des conditions bien précises. Selon l'article 60, les Établissements de crédit et les Systèmes financiers décentralisés soumis au contrôle de la BCEAO et de la Commission bancaire de l'UMOA doivent faire une requête au BIC afin d'obtenir un rapport de crédit en vue d'une évaluation du risque de crédit. À cet effet, il faut au préalable recueillir le consentement, libre et écrit de demandeur de microcrédit. Le rapport de crédit ainsi obtenu auprès du BIC doit être gardé dans le dossier de chaque client sollicitant un crédit. En retour, chaque institution de microcrédit a le devoir de divulguer auprès du BIC, les données sur tous les prêts octroyés, là encore avec le consentement clair des emprunteurs.

4.3 LES TYPES D'INSTITUTIONS

L'article 61 récapitule quant à lui, les types d'institutions soumis aux conditions précisées dans l'article 60. Il précise en effet que toute entité ou intermédiaire dont les activités comprennent l'octroi de crédits ou qui offrent des options de paiement en différé peuvent participer au système d'échanges d'informations sur le crédit dans les conditions définies à l'article 60 de la présente loi, adresser une requête au BIC aux fins d'obtenir un rapport de crédit dans les conditions définies à l'article 60 de la présente loi.

4.4 LE CONSENTEMENT DES CLIENTS

Le cadre législatif précise aussi les exigences relatives au consentement des emprunteurs en ce qui concerne le partage de leurs informations avec d'autres prestataires par le biais du BIC. Les articles 44, 45, 46 de la loi uniforme portant réglementation des Bureaux d'Information sur le Crédit dans les États membres de l'union monétaire ouest-africaine (UMOA) en donnent un aperçu. L'article 44 par exemple, recommande que les fournisseurs et utilisateurs de données soient tenus, avant de requérir le consentement du client, de lui fournir certaines informations relatives à l'utilisation à posteriori des renseignements collectés. L'article 45 recommande que « Le BIC doit mettre à la disposition du client les informations détaillées sur la procédure de saisine lui permettant d'accéder aux informations sur le crédit le concernant, de les faire corriger ou radier ». Le rapport de crédit mis à la disposition par le BIC doit être libellé sous une forme claire, complète et accessible (article 46). Que peut-il arriver au cas où l'emprunteur refuserait de donner son accord au prêteur en ce qui concerne le partage de ses informations. Cet éventuel refus de consentement pourrait avoir des effets pouvant se situer à deux niveaux:

- *Pour l'emprunteur:* Les dispositions concernant les BIC sont extrêmement importantes dans le cadre de la lutte contre le surendettement des clients, puisqu'ils permettent de tenir compte de l'ensemble des dettes contractées par les clients auprès d'institutions formelles de crédit, dans la détermination de sa capacité de remboursement et d'en tenir compte dans la décision d'octroi et au besoin dans la planification des remboursements. L'accès à un bureau d'information sur crédit peut donc permettre de sortir du circuit financier les mauvais payeurs et d'anticiper les problèmes d'endettement croisé conduisant au surendettement³⁴. De ce fait, l'absence de consentement de la part de l'emprunteur pourrait faire augmenter la méfiance des prêteurs à son endroit et entraîner une décision de refus à une demande de crédit de sa part, puisque ces derniers ne disposent

³¹ BCEAO, en ligne <<https://www.bceao.int/fr/documents/comment-fonctionnera-le-bic-dans-lumoa>>

³² *Ibid.*

³³ Article 3 de *loi Uniforme n° 2016-36 du 23 janvier 2017 portant réglementation des Bureaux d'Information sur le Crédit*

³⁴ Laurent LHÉRIAU « Précis de réglementation de la microfinance » dans collection Notes et Documents, t 2, Agence française de Développement, 2009 à la p 248.

d'aucune information sur l'historique de son comportement d'emprunteur au niveau des autres acteurs du dispositif de partage d'informations sur le crédit³⁵. En conséquence, les taux qui lui seront appliqués pour l'octroi d'un crédit pourraient être plus élevés comparativement aux emprunteurs ayant consenti au partage d'informations sur le crédit les concernant.

- *Pour les prêteurs*: le partage des informations des emprunteurs étant au cœur des objectifs du BIC afin de réduire un tant soit peu l'asymétrie d'information, le défaut de consentement de l'emprunteur pourrait être bloquant à terme, car cela constituerait un frein à la dissipation de l'asymétrie d'information. Cette situation accroît les risques pour l'institution financière, dont l'objectif est de préserver la qualité de son portefeuille.

Dans le contexte béninois, l'initiative d'installation d'un bureau d'information sur le crédit entrepris dès 2010 a connu un arrêt d'activité en 2012. En effet, après une expérience pilote de mise en place d'un bureau d'information sur le crédit qui a fonctionné partiellement pendant deux ans, l'initiative s'est estompée en 2012. Ce projet pilote était un volet d'un programme plus large du DID (Développement International Desjardins) à travers le programme d'appui au secteur de la microfinance du Bénin (PASMIF-Bénin), financé par les Affaires mondiales Canada. Entre autres activités, le PASMIF a permis la mise en place d'une base de données centrale des clients de plusieurs IMF partenaires. Cette base de données constituait une source de vérification des informations sur chaque client demandeur de microcrédit. Ainsi, il est aisé pour une IMF de connaître l'historique des opérations déjà effectuées par le client dans d'autres IMF et d'en tenir compte dans la détermination de sa capacité de remboursement. Mais, cette initiative a été interrompue puisqu'après la phase pilote, le PASMIF a souhaité mettre en œuvre une forme de financement autonome de ce bureau d'information en proposant aux IMF de payer un tarif unique par consultation de la base de données, tout en continuant à l'enrichir par le biais de la divulgation des informations sur les prêts accordés. Malheureusement, faute d'une entente sur le coût, l'initiative a manqué de financement et s'est estompée par la suite, même si le PASMIF continue à mettre en œuvre d'autres activités au Bénin. Ceci laisse donc entrevoir que les dispositions relatives au Bureau d'information sur le crédit ne sont que théoriques dans le contexte de la microfinance béninoise.

Cependant, dans le cadre de la législation et des recommandations en vigueur au sein des États de l'UMOA, une nouvelle initiative élargie à l'ensemble du secteur financier est en cours de mise en œuvre depuis 2016. Cette initiative est conduite par Creditinfo VoLo (CIV) qui est le premier Bureau d'Information sur le Crédit (BIC) qui opère dans les États membres de l'Union Monétaire Ouest Africaine (UMOA)³⁶. Il reste que la constitution des bases de données prendra plusieurs années et que pour le moment, le recours au BIC dans le processus d'analyse de la solvabilité et d'octroi des microcrédits n'est pas encore une réalité au Bénin.

5 CONCLUSION

Cet article propose un état des lieux des diverses évolutions et innovation du cadre juridique et celui institutionnel de la microfinance au Bénin. Le cadre juridique (législatif et réglementaire) ainsi que le cadre institutionnel de la microfinance ont connu plusieurs évolutions dans le contexte béninois. Cette transformation part de la *loi PARMEC* (projet d'appui à la réforme des mutuelles d'épargne et de crédit) qui visait uniquement les mutuelles et les coopératives d'épargne et de crédit jusqu'à la *loi uniforme* portant réglementation des systèmes financiers décentralisés qui a été élaborée dans le but notamment de tenir compte de la diversité des institutions de microfinance et de faire démarquer le secteur de la microfinance du secteur bancaire traditionnel. Il faut souligner qu'avant l'adoption de la *loi uniforme* portant réglementation des systèmes financiers décentralisés, il y a eu la Convention-cadre que la banque centrale des états de l'Afrique de l'Ouest (BCEAO) adopta dès 1996 et qui permettait légalement aux autres types d'institutions (non-mutualiste) d'offrir des services de microfinance. Au fur et à mesure de cette évolution de l'arsenal juridique, le cadre institutionnel a connu des ajustements, avec en plus la création de plusieurs institutions qui n'existait pas par le passé comme le ministère de la microfinance.

Cet article se concentre sur la description et la compréhension de l'évolution du cadre juridique et celui institutionnel. Comme perspective, il serait pertinent d'explorer l'efficacité des différentes transformations juridiques et institutionnelles relativement aux objectifs de la microfinance et au respect des droits des divers acteurs, notamment les clients vulnérables.

³⁵ BCEAO en ligne: <<https://www.bceao.int/fr/documents/9-queles-sont-les-effets-dun-eventuel-refus-de-consentement-de-la-part-dun-emprunteur>>

³⁶ Creditinfo « Promulgation de la loi portant réglementation des bureaux d'information sur le crédit (bic) au Bénin », en ligne : <<https://uemoa.creditinfo.com/promulgation-de-la-loi-portant-reglementation-des-bureaux-dinformation-sur-le-credit-bic-au-benin/>>

REFERENCES

- [1] Acte uniforme révisé relatif au droit des sociétés commerciales et du groupement d'intérêt économique.
- [2] Arun, T., (2005), « Regulating for development: the case of microfinance » *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 45, 346.
- [3] Arvind A. and Fall N. S., (2012) «Institutional analysis to understand the growth of microfinance institutions in West African economic and monetary union», *Corporate Governance: The international journal of business in society*, Vol. 12 Issue: 4, 441-459,.
- [4] Avis n° 003 - 08 - 2013 aux établissements de crédit et aux systèmes financiers décentralisés, relatif à la fixation du taux de l'usure dans les États membres de l'union monétaire ouest-africaine (UMOA).
- [5] BCEAO, « Recueil des textes légaux et réglementaires régissant les SFD de l'UMOA » en ligne:.
- [6] Chaves R. A., et Gonzales-Vega, C., (1992), « Principles of regulation and prudential supervision: should they be different for microenterprise finance organizations? » *Columbus: Rural Finance Program of Department of Agricultural Economics and Rural Sociology*, Occasional paper no. 1979, Ohio State University.
- [7] Consortium ALAFIA. « Code de déontologie des institutions de microfinance » (2005), Cotonou, Bénin, en ligne: <http://www.microfinancegateway.org/sites/default/files/mfg-fr-etudes-de-cas-code-de-deontologie-des-imf-benin-2000.pdf>.
- [8] Convention-cadre.
En ligne: http://www.microfinancegateway.org/sites/default/files/publication_files/file_law_parmec_03_fre.pdf.
- [9] Crête, Raymonde et al., dir, *La confiance au cœur de l'industrie des services financiers*, Cowansville (Qc), Yvon Blais, actes de colloque du 18 septembre 2009, 483.
- [10] Fall, A., (janvier 2012), « Les mutations juridiques et institutionnelles de la microfinance au Sénégal » *Écrire pour partager les expériences et innovations dans le secteur de la microfinance au Sénégal*, Atelier d'écriture sur la microfinance au Sénégal.
- [11] Holmes E. et Ndambul J., (octobre 2011), « Diagnostic sur la protection des consommateurs des services de microfinance au Sénégal: Enquête auprès des Clients » *Rapport d'enquête*.
- [12] <http://www.bceao.int/IMG/pdf/recueil-des-textes-legaux-et-reglementaires-regissant-les-sfd-de-lumoa.pdf>.
- [13] <http://www.bceao.int/Mission-et-composition-de-la.html>.
- [14] Le figaro.fr: <http://www.lefigaro.fr/actualite-france/2010/06/08/01016-20100608ARTFIG00768-de-l-affaire-kerviel-au-proces-de-la-societe-generale.php>.
- [15] Lemonde.fr
En ligne: http://www.lemonde.fr/economie/article/2008/12/19/comprendre-l-affaire-madoff_1133354_3234.html.
- [16] Loi n° 2003-22 portant modification de la loi n° 83-008 du 17 mai 1983 portant définition et répression de l'usure.
- [17] Loi n° 2012-14 du 21 mars 2012 portant réglementation des SFD en République du Bénin.
- [18] Loi Uniforme n° 2016-36 du 23 janvier 2017 portant réglementation des Bureaux d'Information sur le Crédit- (BIC).
- [19] Lolila-Ramin Z., (2005), «Regulation and supervision of mfis in the west africa monetary union: how the Parmec law impedes access to finance for smes and the poor», *Essays on regulation and supervision*, 5, 14.
- [20] Ouattara K., (2003), «Microfinance Regulation in Benin: Implications of the PARMEC Law for Development and Performance of the Industry», Washington, D.C., World Bank Africa Region Working Paper 41.
- [21] Pauchant, T.C., et al., (2007), « Deux outils pour encourager des pratiques morales et éthiques en gestion », *revue internationale de Gestion*, 1 (32), 31-38.
- [22] Peck Christen, R., et Rosenberg R., (2000), « La course à la réglementation: Établissement de cadres juridiques pour la microfinance » *Études spéciales n° 4.*, CGAP.
- [23] Peck christen, R., Lyman Timothy R., et Rosenberg R., (2003), « Directives concertées pour la microfinance: Principes directeurs en matière de réglementation et de supervision de la microfinance », traduit par Anne Vincent, Washington, D.C.: CGAP.
- [24] Regenbogen, L. S. Napoléon a dit: aphorismes, citations et opinions. Paris: Les belles lettres, 1996.
- [25] Sen, A., (1998), « Éthique et finance », *Revue d'économie financière*.
- [26] Sen, A., *La jeune recherche en économie financière*.
- [27] Servet, J.-M. et Guérin I., (2002), *Exclusion et liens financiers*, Rapport du Centre Walras.
- [28] Smith, A. *The Theory of Moral Sentiments* (Ed. By D.D. Raphael and A.L. Macfie). (1982), Indianapolis, Liberty Fund/Oxford University Press/Glasgow University Press (Orig. 1759), 401.

Total Phenolic Content, flavonoids, tannins and Antioxidant Activity of endocarps fruits of *Argania spinosa* (L.) Skeels (Sapotaceae)

H.S. Sebaa and F. Cherifi

Département de Biotechnologie Végétale, Laboratoire des Productions, Valorisations Végétales et Microbiennes (LP2VM),
Faculté des sciences de la nature et de la vie, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, B.P.
1505, El-Mn'aour, Oran 31000, Algeria

Copyright © 2021 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: *Argania spinosa*, Sapotaceae sole representative in Algeria and Morocco, hence its endemic in these regions. Although it is a recognised oil, forage and timber tree highly adapted to aridity. The exploitation of the argan fruits, produces considerable amounts of under or related products. These products, such as the endocarps of a fruit, recuperated after use of kernels to extract oil.

Phytochemical screening of *A. spinosa* endocarps indicated the presence of, tannins, flavonoid aglycons, proanthocyanidins, saponins and coumarins in immature endocarps. Whereas, Alkaloids and reducteurs compounds were detected only in mature endocarps. The total phenolics, total flavonoids and proanthocyanidins contents were in the ranges of 985,75 $\pm$ 0.45, 100,1 $\pm$ 0.55 and 280,47 $\pm$ 0.45 mg/g respectively in immature endocarps. In mature endocarps these compounds represent, 106,58 $\pm$ 0.45, 4.512 $\pm$ 0.55 and 104.15 $\pm$ 0.55 mg/g respectively. The 50% inhibitory concentrations (IC₅₀) in the radical-scavenging assay against 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl hydrate radical (DPPH) of immature endocarps and mature endocarps (24H, 1week) were 322; 550 and 600 μ g/mL respectively.

Thus, the total polyphenols (TP), total flavonoids (TF) and condensed tannins (CT) contents exhibited the highest levels in the unripe fruits. The antiradical activity trend was positively correlated to the behavior of the bioactive compounds content.

The results demonstrated that the methanol extract of the fruit endocarps of *A. spinosa* is a potential source of natural antioxidants. Thus, further work should be screened bioactivity, isolated, characterized and elucidated the bioactive compounds of the extract for medicinal value.

Antioxidant activity of extracts was expressed as percentage of DPPH radical's inhibition and IC₅₀ values (μ g/ml).

KEYWORDS: Antioxidant activity; total phenolic content; DPPH assay.

1 INTRODUCTION

In Algeria, Arid and semi-arid plants are good sources for the production of various types of secondary metabolites which make them resistant to various environmental stress scarcity of water, salinity, pathogens etc [1]. Some endemic species are well adapted to these conditions like the argan tree. *Argania spinosa* (L.) Skeels, belongs to the family Sapotaceae is endemic to the Southwestern Algeria in northern Tindouf [2]. Where it grows in over 50,670 hectares [3]. This tree is important for ecological sustainability [4]. The woodlands protect against soil erosion and desertification owing to their deep-growing roots, they shade different types of crops, and help maintain soil fertility in arid zones [5]. The argan tree also supports indigenous populations economically since almonds are used to produce argan oil [6]. Recent pharmacological studies have confirmed that *A. spinosa* have several biological effects including: antiproliferative ([7], [8], [9]), Hypolipidemic, hypocholesterolemic [10], antiatherogenic, antiradical and anti-inflammatory activities [11]. The endocarp is an inedible portion of an edible fruit, There are about 24 to 31 million tons of drupe endocarp biomass available in the world [12], which is highly underutilized.

2 MATERIELS AND METHODS

2.1 CHEMICALS

- Sodium carbonate is purchased from Sigma Chemical (St. Louis, MO)
- Gallic acid and Ascorbic acid were obtained from Merck
- Folin and Ciocalteu's reagent, were obtained from POCH (Polish Chemical *Reagents*, Poland)
- Catechin and 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) and Ascorbic acid were obtained from Sigma Chemical Co. USA.
- Aluminum chloride (AlCl_3) were from (Merck, purum)

2.2 PLANT MATERIAL

The argan fruits were collected from Oued Elma (Touaref Bouam) which is located in the city of Tindouf in Southwest Algeria. The collection site is located at an altitude of 500 m above mean sea level and at 8°00'-3°40' latitude and 25°30'-29°40' longitude. The voucher specimens were deposited in laboratory of production, vegetal and microbial valorization, USTO MB University.

Seed size and colour are important characteristics for distinguishing between mature and immature fruits. The hard seeds of *Argania spinosa* are brown in color (mature endocarp) while the soft seeds are light green (immature endocarp), indicating some degree of chemical or mechanical difference between them.

2.3 METHODS

2.3.1 SAMPLE PREPARATION AND EXTRACTION

The endocarps were cleaned and dried in ETUVE at 40°C, for 48h (not exceeding 50°C) following the suggestion by [13].

2.3.2 QUALITATIVE PHYTOCHEMICAL SCREENING

The methanolic extract of was tested for the presence of sugars, reducing sugars, alkaloids, tannins, flavonoids, saponins and coumarins. The qualitative results are expressed as (+) for the presence and (-) for the absence of phytochemicals.

2.3.2.1 SCREENING FOR TANNINS

1 mL of the methanol extract (80%) was added to 2 mL of water in a test tube. 2 to 3 drops of diluted ferric chloride reagent (FeCl_3) (1%) was added and observed for green to blue-green (catechic tannins) or a blue-black (gallic tannins) coloration [14].

2.3.2.2 SCREENING FOR ALKALOIDS

100mg of the powder was dissolved in 3mL of H_2SO_4 1%. Then they were transferred to a water bath for five minutes. After, 1mL of the filtrated extract was treated with 5 drops of Mayer's reagent (potassium mercuric iodide solution). Formation of whitish yellow or cream coloured precipitate indicated the presence of alkaloids [15].

2.3.2.3 SCREENING FOR FLAVONOID

2mL of the methanol extract (80%), few drops of concentrated HCl followed by 0,5g of magnesium turnings was added. After 3min orange or crimson red colour appeared, which indicated the presence of Flavonoids [16].

2.3.2.4 SCREENING FOR SAPONINS

2mL of distilled water was added to plant extract in a test tube and it was shaken vigorously. The foam formation higher to 1cm indicated the presence of saponins ([14], [17]).

2.3.2.5 SCREENING FOR COUMARIN

In test tube, 1g of sample was covered with filter paper moistened with 1 N NaOH. The test tube was placed for 10 minutes in a boiling water bath. After removing the filter paper, it was examined under UV light, yellow florescence indicated the presence of coumarins ([14], [18]).

2.3.3 QUANTITATIVE ANALYSIS

2.3.3.1 DETERMINATION OF TOTAL PHENOLIC CONTENTS

The total phenolic content of the samples was determined using the Folin-Ciocalteu's reagent as described by[19].

Dried samples (0.2g) was used for the preparation of extract. Samples were extracted with 10ml (80%v/v) Methanol at 4°C for 24 h and one week, followed by centrifugation at 4000 tours for 10min. The extraction process was repeated thrice. The supernatants were collected and stored at -20°C for analysis. 50uL of extract was mixed with 2.5mL of water and 250μL of Folin-Ciocalteu's reagent. After 5min, 500μL of saturated sodium carbonate solution (20% w/v in water) was added to the mixture followed by incubation at 40°C for 30min. The reaction was kept in the dark. After 1h, absorbance was measured at 760 nm with UV-Visible Spectrophotometer. Total phenols were quantified based on standard calibration curve of 0-200μg/mL gallic acid. Total phenolic content was expressed as mg gallic acid equivalents (GAE) per gram of dried sample. The result of each assay was obtained from three parallel determinations.

2.3.3.2 DETERMINATION OF FLAVONOID CONTENTS

Aluminum chloride colorimetric technique was used for total flavonoid estimation [20]. 500 μL of extracts was mixed with 1500μL of distilled water, 150uL of NaNO₂ (5%) and 150uL of aluminum chloride (AlCl₃.6H₂O, 10%). After 11min, 500μL of NaOH (1M) was added. The absorbance of the reaction mixture was measured at 510 nm with UV-Visible Spectrophotometer. The flavonoids were quantified based on standard curve of 0-150mg /L catechin. The total flavonoids were expressed as milligrams of catechin equivalents (CE) per gram of dried sample.

2.3.3.3 DETERMINATION OF HYDROLYSABLE TANNINS

0.2g of samples (mature and immature) was extracted with 10mL a 80% methanolic solvent for (24h) maceration for immature endocarps, 24H and one week for mature endocarps) under continuous stirring at room temperature in the dark. After filtration through watman microfibre filter paper, 3.5mL of FeCl₃ 0.01M in HCl 0.001M was added to 1mL of filtrate. The absorbance was read within 10min at 660nm. The hydrlysable tannis were quantified based standard curve of 0-150mg/L tannic acid. The concentration of hydrolysable tannins was expressed as tannic acid equivalents milligram per gram of dried samples [21].

2.3.3.4 DETERMINATION OF CATECHIC TANNINS

2mL aliquot of a freshly prepared solution of vanillin (1/100mL) in 70% sulfuric acid in added to 1mL of aqueous sample extract. The mixture is incubated in a 20°C waterbath and after exactly 15min the absorbance was measured at 500nm. The total condensed tannins in investigated samples was expressed as milligram of catechin equivalents (CE) per g of the dry sample [22].

2.3.3.5 STATISTICAL ANALYSIS

Statistical analysis Statistical analyses were carried out using Xlstat software Ver. 2017 (www.xlstat.com). Data were subjected to one-way anal-ysis of variance (ANOVA) Values are presented as a mean ± standard deviation (SD).

2.3.3.6 DIPHENYL -1-PICRYLHYDRAZYL (DPPH) ASSAY

The stock solution f extracts were prepared in methanol to achieve the concentration of 20mg/mL. Dilutions were made to obtain concentrations of 10, 8, 6, 4, 2, 1, 0.5, 0,1 mg/mL. The reaction mixture, containing 3.9 mL of 60 μM DPPH methanolic solution and 0.1mL of the diluted test sample, was incubated for 30 min in the dark. The absorbance was measured at 515 nm. Inhibition of free radicals by DPPH in percent (%) was calculated using this formula.

$$(I\%) = (A_{\text{blanc}} - A_{\text{sample}} / A_{\text{blanc}}) \times 100$$

Where A_{blanc} is the absorbance of the control at 30min.

A_{sample} is the absorbance of the simple at 30min.

Ascorbic acid was used as positive reference. Samples were analysed in triplicate [23].

3 RESULTS

3.1 QUALITATIVE PHYTOCHEMICAL SCREENING

The phytochemical composition of two extracts, i.e., extracts of the immature and mature endocarps of fruits of *Argania spinosa* is summarized in table 1.

Table 1. Qualitative phytochemical analysis

Chemical groups	Method	Mature endocarps	Immature endocarps
Reducteurs compound		+++	-
Sugars		-	+++
Alkaloids	Mayer's test	++	-
Saponins	Froth's test	++	+++
Coumarins		+	+
Flavonoid aglycons	Magnesium HCl test	+	++
Gallic tannins	FeCl ₃ test	-	-
Catechique tannins		++	+++
Polyphenols	HCl TEST	++	+++

Keys: Strong positive: + + +; moderately positive: + +; Low positive: +; negative test: -

3.2 QUALITATIVE PHYTOCHEMICAL SCREENING

The results of phytochemical screening are summarized in table 2.

Table 2. Total phenolic compounds, flavonoids and tannins in fractions expressed as gallic acid equivalents, quatechin equivalent, tannic acid equivalent respectively

Plant materiel	Total phenolic content (mg GAE/g)	Total flavonoid content (mg QE/g)	Tannins Catechic hydrolysable
Mature endocarps (24h)	106,58+/-0.45	4.512+/-0.55	104.1+/- 0.55 7.81+/-0.1
Mature endocarps (1week)	341,25+/-	6.82+/-0.01	118.77+/- 5.31+/-0.1
Immature endocarps (24h)	985,75+/-0.45	100.1+/-0.55	280.47+/- 0.45 13.5+/-0.1

GAE: Gallic acid equivalent; QE: Quatechin equivalent.

3.3 DIPHENYL -1-PICRYLHYDRAZYL (DPPH) ASSAY

The results of samples analysed by the *antioxidant assay* based on the scavenging of 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) free radicals are represented in Figure 1.

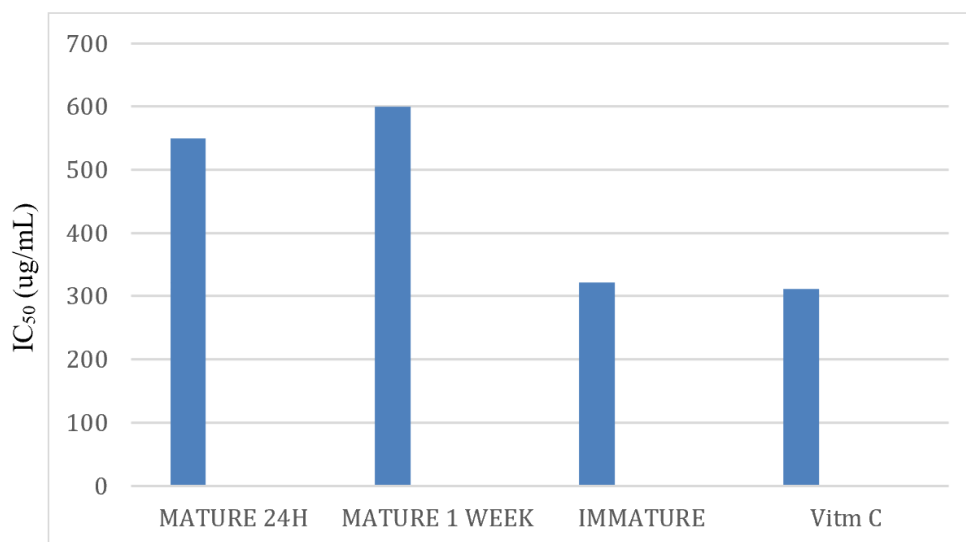


Fig. 1. IC₅₀ values of endocarp fruits of *Argania spinosa* plant for the DPPH test

The preliminary phytochemical screening of the of the methanol extract of endocaps of *Argania spinosa* showed the presence of various secondary metabolites of which, coumarins, saponins, flavonoid aglycons, saponin glycosides, catechique tannin and phenolic compounds in immature endocarps were higher than that of mature endocarps (Table 1). Whereas, Alkaloids and reducteurs compounds were detected only in mature endocarps.

For saponin test, endocarps fruits gave positive reactions. Reference [24] reported the presence of two new oleanene saponins isolated from the methanolic extract of the shell of *Argania spinosa*. Previous studies demonstrate that saponins have been proposed as protective agents against infective fungi [25]. According by [26], argan tree is rich in saponins, it could be considered as a source of valuable saponins.

Similarly, phytochemical screening of leaves revealed the presence of alkaloids, flavonoids, tannins. However, mainly flavonoid glycosides and aglycons were identified in the pulp of argan fruits [27]. Recently Four flavonol glycosides were identified by ¹H NMR as myricitrin, quercitrin, hyperoside and myricetin 3-O-galactoside [28].

A colorimetric assay using the Folin-Ciocalteu reagent is often referenced in the literature for the determination of phenolic compounds ([29], [30], [31], [32], [33], [34], [35]) and also described in several pharmacopoeias.

The reaction between the Folin-Ciocalteu reagent and phenolic compounds results in the formation of a blue color complex that absorbs radiation and allows quantification by visible-light spectrophotometry [36].

The results of total phenol, total flavonoids and tannin contents of methanol extracts of immature and mature endocarps argan fruits are presented in Table 2. In initial observation of Table 2, the results suggest that extraction by methanol could give higher phenolic content. Reference [37] reported that methanol are said to be the most suitable solvent in the extraction of phenolic compounds due to its ability to inhibit the reaction of polyphenol oxidase that causes the oxidation of phenolics and its ease of evaporation compared to water. The results show that immature endocarps extract (985,75 mg GAE/g) had highest content of total phenol than mature endocarps (341,25 mgGAE/g for one week maceration) and (106.58 mgGAE/g for 24h maceration). Similarly the flavonoids content in immature endocarps (100,1 mg QE/g) is higher than that of mature endocarps (6.82 mg QE/g for one week maceration) and (4.512 mgQE/g for 24 h maceration). According to [38], The content of polyphenols in vegetables, like levels of other phytochemicals, can be influenced by various factors such as varieties, climatic conditions and cultural practices, maturity at harvest. In addition, the condensed tannin contents determined by a modification of the vanillin–HCl method of [39] are present in very higher abundance in endocarps of matrue fruits compared with immature fruit (280,44 mg CE/g; 104.1 mg CE/g (24h) and 118.77 mg CE/g (one week) respectively.

The level of phenolic compounds in *A.spinosa* extracts was observed by [40]. In the case of leaves The levels of total polyphenols, determined by Folin–Ciocalteu's reagent, in plant extracts varied from 447 ± 0.028 to 106.33 ± 0.062 mg/g dry weight, expressed as gallic acid equivalents (GAE) for ethyl acetate and chloroform extracts respectively. Of same in another sapotaceae (*M zapota* Leaf) the phenolic compounds is higher 194.06 ± 1.21 GAE/g.

The decrease of phenolic compounds biosynthesis in endocarps during fruit repening might be evolution phenomena. According to sebaa [41], the ultrastructural studies of the immature endocarps of *A. spinosa* have shown a high concentration of phenolic compounds. During fruit ripening, endocarps lignification (pit hardening) occurs during intermediate stage, the phenolic compounds considerably decrease. This phenomenon might be related to the formation of the large lignified parietal masses, as phenols are lignin precursors ([42], [43]). Like lignin, tannins are also synthesized via secondary metabolism pathways, which are thought to be competitive with lignin since both draw on the same precursors of the phenylpropanoid pathway. Such a hypothesis is supported by our observations, since the phenolic compounds disappear during endocarp lignification. Similarly, the apparent reduction in tannin content that is commonly seen during the ripening of many types of fruit [44]. Thus, the highest levels were reached in the unripe stage and then decreased to attain the lowest levels at the end of the maturity.

Tannins are considered to be polyphenolic metabolites of plants with a molecular weight larger than 500 and with the ability to precipitate gelatin and other proteins from solution [45] (Mehansho et al., 1987). Based on their structure, tannins can conveniently be divided into two groups, hydrolyzable and condensed tannins. Condensed tannins, also known as proanthocyanidins, are polymeric flavonoids [46]. Catechins and some low-molecular weight PA have received considerable attention owing to their various biological activities, in particular their effects on arteriosclerosis [47] (Masquellier, 1988) and their oxygen free radical scavenger ability (Ricardo-da-Silva, 1991). On the other hand, a considerable research revealed the anticarcinogenic, antimutagenic, antimicrobial (antibacterial, antiviral) and antioxidant effects of tannins ([48], [49], [50], [51]).

Fig; 1 shows the IC₅₀ (µg/mL) values of methanolic extracts of mature and immature endocarp fruits for free radical scavenging activity by DPPH. It was observed that the extract of immature endocarps exhibited the highest radical-scavenging activity (lowest IC₅₀ value= 322 µg/mL) than mature endocarps (600 µg/mL. 550 µg/mL; 24H and 1week respectively). The antioxidant capacity followed the same change pattern shown by the bioactive compounds content which confirms the high correlation between the amounts of bioactive compounds and antioxidant capacity assessed by DPPH test ([52], [53]). The scavenging effect of vitamin C (312 mg/mL) was nearly equal to that of immature endocarps.

The total antioxidant activity of some Sapotaceae species was assessed based on scavenging activity of DPPH free radicals, among them the fruit extract of *Chrysophyllum cainito* L (known commonly as star apple or cainito) showed the highest antioxidant activity (IC₅₀ =40 µM) in the DPPH assay [54]. Seeds extract of *Manilkara zapota* showed high antioxidant activity [55]. *Argania spinosa* showed antioxidant properties via protection against free radical-induced erythrocyte haemolysis and its ability to potentiate the antioxidant effect of Vitamin E [56]. Fruit extract of *Argania spinosa* showed potent antioxidant activity [57], *Pouteria sapota* fruit extract showed antioxidant activity [58]. The extract of three parts; leaves, fruits and stem of *Pouteria campechiana* reported as antioxidant ([59], [60]). The antioxidant activity of phenolic compounds isolated from *Manilkara zapota* fruits was studied [61]. Leaves extract of *Manilkara hexandra* showed antioxidant activity [62].

4 CONCLUSION

The results demonstrated that the methanol extract of the fruit endocarps of *Argania spinosa* is a potential source of natural antioxidants. Thus, further work should be screened bioactivity, isolated, characterized and elucidated the bioactive compounds of the extract for medicinal value. However, the ripening was accompanied by a re-gression in phenolic compounds correlated with downtrend of antioxidant activity. Therefore, the endocarps of fruits immature were considered as more interesting source of natural antioxidant for pharmaceutical uses.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to thank to the Laboratory of productions, vegetal and microbial valorizations of Oran Science and Technology University for the support during the study. Thanks to Houaria Achouri and Riad X, Technician, for his assistance during experimental work in the laboratory.

REFERENCES

- [1] A. Benahmed Bouhafoun, S. Djied, F. Mouzaz and M. Kaid Harche, « Phytochemical Composition and in Vitro Antioxidant activity of *Chamaerops Humilis* extract », International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, vol. 5, no. 3, pp. 741-744, 2013.
- [2] M. Baumer and L. Zeraia, « La plus continentale des stations d'Arganier d'Afrique du Nord », Revue forestière française, vol.3, pp. 446-452, 1999.
- [3] R. Kechairi, F. Abdoun, État des lieux cartographiques de l'arganier *Argania spinosa* (L.) Skeels (Sapotaceae) en Afrique Nord-Occidentale (Algérie et Sahara Occidental), International Journal of Environmental Studies, vol. 2, no. 73, pp. 286-293, 2016.
- [4] K. Hachem, Y. Benabdesslem, S. Ghomari, O. Hasnaoui and M. Kaid-Harche, « Partial structural characterization of pectin cell wall from *Argania spinosa* leaves », Heliyon, vol. 2, no. 2, 2016.
- [5] H.S. Sebaa and M. Kaid Harche, « Anatomical structure and ultrastructure of the endocarp cell walls of *Argania spinosa* (L.) Skeels (Sapotaceae) », Micron, vol. 67, pp. 100-106, 2014.
- [6] J.F. Morton and G.L. Voss, « The Argan tree (*Argania sideroxylon*, Sapotaceae), a desert source of edible oil », Economic Botany, vol. 2, no. 41, pp.221-233, 1987.
- [7] H. Bennani, Impact of argan oil on prostate cancer antiproliferative effect: Study of polyphenols. Rev. Franco. Lab., 416: 23-26, 2009.
- [8] B.D. Matthaus, B. Guillaume, S. Gharby, A. Haddad and H. Harhar, Effect of processing on the quality of edible argan oil., Food Chemistry, vol. 120, pp. 426-432, 2010.
- [9] H.D. El Monfalouti, C. Guillaume, Denhez and Z. Charrouf, Therapeutic potential of argan oil: A review, Journal of Pharmacy and Pharmacology, vol. 62, pp. 1669-1675, 2010.
- [10] Z. Souidi, A. Hamimed A, Miloudi, . Quels avenir pour l'arganier en Algérie: état des lieux, enjeux et stratégies du développement Communication affichée Agadir, 2012.
- [11] Y. Necib, A. Bahi and S. Zerizer. Argan oil (*Argania spinosa* L) Provides protection against mercuric chloride induced oxidative stress in rat Albinos Wistar, International Journal of Basic and Applied Sciences, vol. 1, no.2, pp. 73-80, 2013.
- [12] V. Mendu, T. Shearin, J.E. Campbell, J. Stork, J. Jae, M. Crocker, G. Huber and S. De Bolt, Global bioenergy potential from high-lignin agricultural residue, Proceedings of the National Academy of Sciences, no.109, pp. 4014-4019, 2012.
- [13] S.M. Khamsah, G. Akowah and I. Zhari, Antioxidant activity and phenolic content of *Orthosiphon stamineus* benth from different geographical origin, Journal of Sustainability Science and Management, vol.2, no.1, pp.14-20, 2006.
- [14] Trease GE, Evans WC, Pharmacognosy, 11th Ed. London: Brailliar Tiridel Can Macmillian Publishers 11: 60-75. 1989.
- [15] S. De, Y.N. Dey and A.K. Ghosh, Phytochemical investigation and chromatographic evaluation of the different extracts of tuber of *amorphaphallus paeoniifolius* (araceae), International Journal of Pharmacy & Biomedical Research vol.5, no.1, pp. 150-157, 2010.
- [16] I. Ciulei, Methodology for Analysis of Vegetable Drugs. Practical Manual on the Industrial Utilisation of Medicinal and Aromatic Plants. Bucharest, Romania, pp, 1-62, 1982.
- [17] J.B. Harborne, Phytochemical Methods. Ed. Chapman Hall, London. pp 60-66, 1998.
- [18] N. Dohou, Y. Yamni, S. Tahrouch, L.M. Idrissi Hassani, A. Badoc and N. Gmira, Screening phytochimique d'une endémie ibéro-Marocaine, *Thymelaea lythroides*, Bulletin de la Société de Pharmacie de Bordeaux, vol. 142, pp.61-78, 2003.
- [19] I. El Hadrami, T. Ramos, M. El Bellaj, T. El Idrissi and J.J. Macheix, A sinapic derivative as an induced defense compound of date plam against *Fusarium oxysporum* sp. *Albedinis*, the agent causing bayoud disease, Journal of Phytopathology, vol. (8/9) no.145, pp. 329-333, 1997.
- [20] R. Ksouri, W. Megdiche, H. Falleh, N. Trabelsi, M. Boulaaba, A. Smaoui and C. Abdelly, Influence of biological, environmental and technical factors on phenolic content and antioxidant activities of Tunisian halophytes, Comptes rendus biologie, vol. 333, no.11, pp. 865-873, 2008.
- [21] S. Mole and P.G. Waterman, A critical analysis of techniques for measuring tannins in ecological studies. Oecologia, no, 72, pp. 137-147, 1987.
- [22] A.E. Hsgerman, and L.G. Butler. 1999. Choosing appropriate Methods and standards for assaying tannin. Journal of Chemical Ecology, vol. 15, pp.1795-181.
- [23] I. Oliveira, A. Sousa, I.C.F.R. Ferreira, A. Bento, L. Estevinho and J.A Pereira, Total phenols, antioxidant potential and antimicrobial activity of walnut (*Juglans regia* L.) green husks. Food Chem. Toxicol, no. 46, pp. 2326-2331, 2008.
- [24] A. Alaoui, Z. Charrouf, M. Soufiaoui, V. Carbone, A. Malorni, C. Pizza and S. Piacente, Triterpenoid saponins from the shells of *Argania spinosa* seeds. J. Agric. Food Chem, vol.50, pp. 4600-4603, 2002 (25(P.B.R. Bowyer, P. Clarke, M.J.Lunness, A. Daniels and E. Osbourn, Host range of a plant pathogenic fungus determined by a saponin detoxifying enzyme, Science, vol. 267, pp. 371-374, 1995.

- [25] Z. Charrouf and D. Guillaume, Ethnoeconomical, Ethnomedical, and Phytochemical Study of *Argania spinosa* (L.) Skeels: A Review. *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 1, no.67, pp. 7-14, 1998.
- [26] Z. Charrouf, M. Hilali, O. Jauregui and M. Soufiaoui, Separation and characterization of phenolic compounds in argan fruit pulp using liquid chromatography–negative electrospray ionization tandem mass spectroscopy, *Food chemistry*, vol. 4, no.100, 1398–1401, 2007.
- [27] S. Tahrouch, C. Andary, S. Rapior, L. Mondolot, A. Gargadennec and A. Fuchier, Polyphenol investigation of *Argania spinosa* (Sapotaceae) endemic tree from Morocco. *Acta Botanica Gallica*, vol. 3, no. 147, pp. 225-232, 2013.
- [28] J. Bertoncelj, U. Doberšek, M. Jamnik and T. Golob, Evaluation of the phenolic content, antioxidant activity and colour of Slovenian honey, *Food Chemistry*, vol.105, pp. 822-828, 2007.
- [29] R. Socha, L. Juszczak, S. Pietrzyk and T. Fortuna, Antioxidant activity and phenolic composition of herb honeys, *Food Chemistry*, 113, 568-574, 2009.
- [30] I.C.F.R. Ferreira, E. Aires, J.C.M. Barreira, and L.M. Estevinho, Antioxidant activity of Portuguese honey samples: Different contributions of the entire honey and phenolic extract, *Food Chemistry*, vol. 114, pp. 1438-1443, 2009.
- [31] G. Beretta, P. Granata, M. Ferrero, M. Orioli and R.M. Facino, Standardization of antioxidant properties of honey by a combination of spectrophotometric/fluorimetric assays and chemometrics, *Analytica Chimica Acta*, vol. 533, pp. 185-191, 2005.
- [32] V. Kaškonienė, A. Maruška and O. Kornýšova, Quantitative and qualitative determination of phenolic compounds in honey. *Cheminė Technologija*, vol.3, no. 52, pp. 74-80, 2009.
- [33] I. Keskin-Šašić, I. Tahirović, A. Topčagić, L. Klepo, M. Salihović, S. Ibragić, J. Toromanović, A. Ajanović and E. Velispahić, Total Phenolic Content and Antioxidant Capacity of Fruit Juices. *Glas. hem. tehnol. Bosne Hercegovine*, vol. 39, pp. 25-28, 2012.
- [34] V. Biju, Chemical modifications and bioconjugate reactions of nanomaterials for sensing, imaging, drug delivery and therapy, *Chem Soc Rev*, vol.43, pp.744-764, 2014.
- [35] P. Schofield, D.M. Mbugua and A.N. Pell, Analysis of condensed tannins: *Animal Feed Science and Technology* vol. 91, pp. 21-40, 2001.
- [36] L.H. Yao, Y.M. Jiang, N. Datta, R. Singanusong, X. Liu, J. Duan, K. Raymont, A. Lisle and Y. Xu, HPLC analyses of flavanols and phenolic acids in the fresh young shoots of tea (*Camellia sinensis*) grown in Australia. *Food Chemistry*, vol. 2, no. 84, pp. 253-263, 2004.
- [37] I. Podesedek (2007) Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. *LWT-Food Science and technology*. 40 (1): 1-11.
- [38] Burns, R.E. 1971. Method for estimation of tannin in grain sorghum. *Agron. J.*63: 511-512.
- [39] S. Djidel, C.F. Chater, S. Khenouf, A. Baghiania and D. Harzallah, Evaluation of phenolic compounds, flavonoids and antioxidant properties of *Argania spinosa* (L.) Skeels leaf extracts. *Global Journal of Research on Medicinal Plants and Indigenous Medicine*, vol. 11, no. 3, pp. 416-426, 2014.
- [40] H.S. Sebaa, H. Bokhari, Programmed cell death in the *Argania spinosa* L. Skeels fruit endocarp, *South Asian Journal of Experimental Biology*, In press, 2021.
- [41] N.G. Lewis and E. Yamamoto, Lignin: occurrence, biogenesis and biodegradation. *Annual Review of Plant Physiology and plant Molecular Biology*, vol. 41, pp. 455-496, 1990.
- [42] A. Masia, A. Zanchin, N. Bascio, A. Ramina, Some biochemical and ultrastructural aspects of peach fruits development. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, vol. 5, no. 117, pp. 808- 815, 1992.
- [43] C. Manach, A. Scalbert, C. Morand, C. Rémésyl and L. Jiménez, Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American Society of clinical nutrition*, vol. 5, no. 79, pp. 727-747, 2004.
- [44] H. Mehansho, L.G. Butler, D.M. Carlson, Dietary tannins and salivary proline-rich proteins: interactions, induction and defense mechanisms. *Annual Review of Nutrition*, vol. 7, pp. 423-440, 1987.
- [45] P. Wünsch, S. delVedovo, J. Rosset and M. Smiley, The tannin granules from ripe carob pod, *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, vol.17, pp. 351-354, 1984.
- [46] Masquellier J, 1988. Physiological effects of wine. His share in alcoholism, *Le Bulletin de l'OIV*. 61: 554-578.
- [47] K.T. Chung, T.Y. Wong, C.I. Wei and Y.W. Huang, Tannins and human health: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 38, pp. 421-464, 1998.
- [48] P. Cos, T. De Bruyne, N. Hermans, S. Apers, D. Vanden Berge and A.J. Vietinck, Proanthocyanidins in health care: Current and new trends. *Current Medicinal Chemistry*, vol. 11, pp. 1345-1359, 2004.
- [49] V. Kolečkar, K. Kubikova, Z. Rehakova, K. Kuca, D. Jun and L. Jahodar, Condensed and hydrolysable tannins as antioxidants influencing the health, *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*, vol. 8, pp. 436-447, 2008.
- [50] J. Serrano, R. Pupunen-Pimia, A. Dauer, A.M. Aura and F. Saura-Calixto, Tannins: Current knowledge of food sources, intake, bioavailability and biological effects. *Molecular Nutrition and Food Research*, vol. 53, pp. 310-329, 2009.

- [51] S. Zozio, D. Mbéguié-A-Mbéguié and S. Ravion, Changes in antioxidant activity during the ripening of Jujube (*Ziziphus mauritiana* Lamk). *Food Chemistry* vol.56, pp. 150-448, 2014.
- [52] S.K.T. Seraglio, M. Schulz, P. Nehring, F. Della Betta, A.C. Valse and H. Daguer, Nutritional and bioactive potential of Myrtaceae fruits during ripening. *Food Chemistry*, vol.56, pp. 239-649, 2018.
- [53] D.L Xiao, M. Basil, E. Kennelly, Polyphenolic antioxidants from the fruits of *Chrysophyllum cainito* L. (Star Apple), *Journal Agricol Food Chem*, vol. 6, no. 13/50, pp. 1379-82.
- [54] K. Shanmugapriya, P.S. Saravana, H. Payal, P. Mohammed and W. Binnie, 2011. Antioxidant activity, total phenolic and flavonoid contents of *Artocarpus heterophyllus* and *Manilkara zapota* seeds and its reduction potential, *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, vol. 5, no. 3, pp. 256-260, 2011.
- [55] H. Amzal, K. Alaoui, S. Tok, A. Errachidi, R. Charof, Y. Cherrah Y, *Fitoterapia*, vol.79, pp.337-344, 2008.
- [56] F. El Babili, J. Bouajila, I. Fouraste, A. Valentin, S. Mauret and C. Moulis, *Phytomedicine*, vol. 17, pp. 157-160, 2010.
- [57] N. Yahia, H. El Ghazal, A. Achkar and S. Rizk, Dieting Practices and Body Image Perception among Lebanese University Students, *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, vol. 1, no. 20, pp. 21-8, 2011.
- [58] I. Suda, T. Oki, Y. Nishiba, M. Masuda, M. Kobayashi, S.J. Nagai, R. Hiyane and T. Miyashige, Polyphenol contents and radical-scavenging activity of extracts from fruits and vegetables in cultivated in Okinawa, *Japanese Society for Food Science and Technology*, vol. 52, pp. 462-471, 2005.
- [59] H.M. Wang, Y.T. Chou, Z.L. Hong, H. Chen, Y. Chang, W.L. Yang, H.C. Chang, C. Mai and C.Y. Chen, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* vol. 42, pp. 204-211, 2011.
- [60] J.Ma, X. Luo, P. Protiva, H. Yang, C. Ma and M.I. Basile, Bioactive Novel Polyphenols from the Fruit of *Manilkara zapota* (Sapodilla). *Journal of Natural Products* vol. 66, pp. 983-986, 2003.
- [61] S. Dutta and S. Ray, *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, Vol. 10, no. 7, pp. 296-301, 2015.

Utilisation du calcaire comme agent précipitant des impuretés des solutions cobaltifères des usines de Ruashi Mining en R.D.C.

[Use of limestone as an agent precipitating impurities from cobalt-rich solutions at Ruashi Mining plants, D.R.C.]

L. Zeka¹⁻²⁻³, A. Kafat⁴, F. Manene¹⁻²⁻³, and A. Ilunga¹

¹Département de Chimie Industrielle, Faculté Polytechnique, Université de Lubumbashi, B.P. 1825, Lubumbashi, RD Congo

²Section de Chimie et Métallurgie Appliquées, Institut Supérieur des Techniques Appliquées, B.P. 299, Kolwezi, RD Congo

³Centre de Recherche et d'Expertise ZEBRE – CreZ, RD Congo

⁴Département de Métallurgie, Faculté Polytechnique, Université de Likasi, B.P. 1946, Likasi, RD Congo

Copyright © 2021 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 possibility of using limestone instead of lime as an agent precipitating impurities from cobalt-rich solutions from the hydrometallurgical plants of Ruashi Mining in R.D. Congo was studied. These solutions come from the copper solvent extraction circuit and are intended for the production of cobalt hydrates. Precipitation tests performed in the laboratory have shown that limestone competes with lime in terms of precipitation of Fe, Mn and Cu impurities and co-precipitation of Co. The parameters which were exploited are: Eh, pH, time, % Solid and the particle size. Reduced to the equivalent quantities which enter into a precipitation reaction with 1.5 as the evaluated value of the limestone/lime ratio, the consumption of these two precipitating agents is almost the same. Co-precipitation of cobalt was acceptable and was limited to a yield of 3.0 % Co. Under these same conditions, copper was also removed with yields of around 40 %. The iron precipitated in good yields reaching over 90 %. On the other hand, Mn showed too low precipitation yields of less than 40 % by the fact that it required real oxidizing conditions which could bring it back to its insoluble form of MnO₂. Finally, with the considerations on the cost of acquisition on the Ruashi Mining site of 160 and 50 USD respectively for the ton of lime and limestone, without integrating the cost linked to the fragmentation of the limestone to have the correct grain size, it is technically possible to substitute lime by limestone.

KEYWORDS: Purification by selective precipitation, Cobalt, Iron, Manganese, Lime and Limestone.

RESUME: La possibilité d'utiliser le calcaire en lieu et place de la chaux comme agent précipitant des impuretés des solutions cobaltifères des usines hydrométallurgiques de Ruashi Mining en R.D. Congo a été étudiée. Ces solutions proviennent du circuit de l'extraction par solvant du cuivre et sont destinées à la production des hydrates de cobalt vendables. Les tests de précipitation réalisés en laboratoire ont montré que le calcaire permet d'obtenir des résultats concurrentiels d'avec la chaux en termes de la précipitation des impuretés Fe, Mn et Cu et de la coprécipitation du Co. Les paramètres qui ont été exploités sont: Eh, pH, temps, % Solide et la granulométrie. Ramenée aux quantités équivalentes qui entrent en réaction de précipitation avec la valeur évaluée de 1,5 comme le ratio calcaire/chaux, la consommation de ces deux agents précipitants est quasiment la même. La coprécipitation du cobalt a été acceptable et s'est limitée à un rendement de 3,0 % Co. Dans ces mêmes conditions, le cuivre a été également éliminé avec des rendements voisins de 40 %. Le fer s'est précipité avec de bons rendements atteignant plus de 90 %. Par contre, le Mn a accusé des rendements de précipitation trop faibles de moins de 40 %. Enfin, avec les considérations sur le coût d'acquisition de 160 et 50 USD respectivement pour la tonne de chaux et de calcaire, sans intégrer le coût lié à la fragmentation du calcaire pour avoir la bonne granulométrie, il est possible techniquement de substituer la chaux par le calcaire.

MOTS-CLEFS: Purification par précipitation sélective, Cobalt, Fer, Manganèse, Chaux et Calcaire.

1 INTRODUCTION

En hydroméallurgie des minerais cuprocobaltifères (figure 1), le Cu est extrait en premier par précipitation sous forme de dépôt cathodique tandis que le Co est extrait en second lieu par précipitation sous forme d'hydroxydes de Co par utilisation d'un agent précipitant [1].

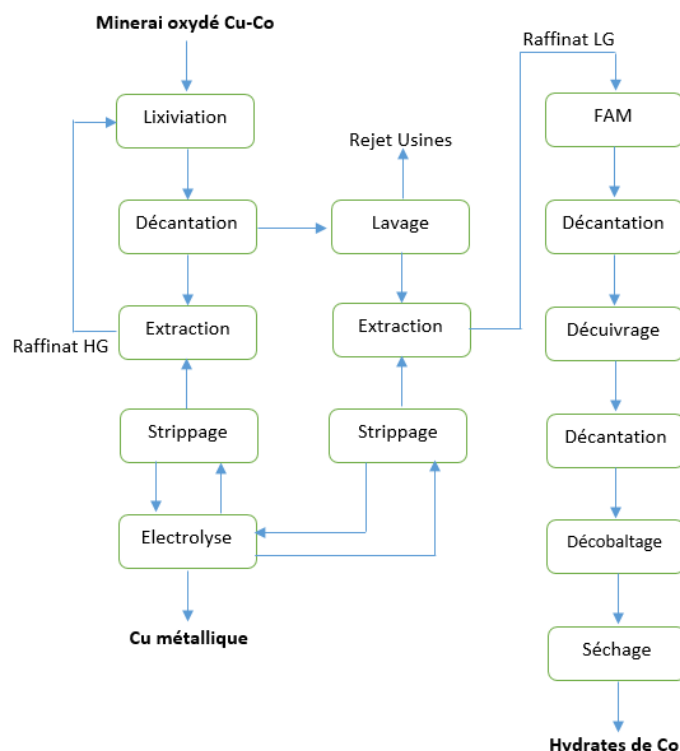


Fig. 1. Schéma de principe de traitement des minerais oxydés Cu-Co rencontré dans les industries minières de la RD Congo

Comme les solutions desquelles le Co est extrait doivent être exemptes d'impuretés comme le Fe, Al, Mn et Cu résiduel, on recourt également à un agent précipitant pour éliminer de manière sélective ces impuretés par précipitation [2], [3], [4], [5], [6]. Cette élimination par précipitation est rendue possible au vu des valeurs de produits de solubilité qui sont plus faibles pour les impuretés que pour l'élément à valoriser qui est le Co (Tableau 1).

Tableau 1. Produits de solubilité à 25°C [7], [8], [9]

Métal	Composés	Formule	Ks	pKs	pH de précipitation
Co	Hydroxyde de cobalt	$\text{Co}(\text{OH})_2$	$1,3 \cdot 10^{-15}$	14,9	8,0 – 8,5
	Carbonate de cobalt	CoCO_3	$1,0 \cdot 10^{-10}$	10,0	
Cu	Hydroxyde de cuivre	$\text{Cu}(\text{OH})_2$	$4,8 \cdot 10^{-20}$	19,3	5,0 – 5,5
	Carbonate de cuivre	CuCO_3	$2,5 \cdot 10^{-10}$	9,6	
Fe	Hydroxyde de fer (II)	$\text{Fe}(\text{OH})_2$	$4,1 \cdot 10^{-15}$	14,4	8,0 – 8,5
	Hydroxyde de fer (III)	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$2,0 \cdot 10^{-39}$	38,7	3,0 – 3,5
	Carbonate de fer (II)	FeCO_3	$2,1 \cdot 10^{-11}$	10,7	
Mn	Hydroxyde de manganèse	$\text{Mn}(\text{OH})_2$	$2,0 \cdot 10^{-13}$	12,7	8,0 – 8,5
	Carbonate de manganèse	MnCO_3	$5,0 \cdot 10^{-10}$	9,3	-
Al	Hydroxyde d'aluminium	$\text{Al}(\text{OH})_3$	$3,0 \cdot 10^{-34}$	33,5	3,0 – 3,5
Ca	Hydroxyde de calcium	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	$6,5 \cdot 10^{-6}$	5,2	-
	Carbonate de calcium	CaCO_3	$4,5 \cdot 10^{-9}$	8,3	-
	Sulfate de calcium	CaSO_4	$2,4 \cdot 10^{-5}$	4,6	-
Mg	Hydroxyde de magnésium	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	$7,1 \cdot 10^{-12}$	11,1	-
	Carbonate de magnésium	MgCO_3	$3,5 \cdot 10^{-8}$	7,5	-

Les agents précipitants le plus utilisés sont la chaux (CaO) et la magnésie (MgO). Si la chaux est utilisée pour à la fois éliminer les impuretés et obtenir les hydrates de Co, la magnésie, quant à elle, n'est utilisée qu'à l'obtention des hydrates de Co. La raison est que la pureté de la magnésie (99 % MgO) est plus élevée que celle de la chaux (80 % CaO). Elle conduit en conséquence à des hydrates de Co de teneurs élevées en Co. Ce qui présente un gros avantage lors de la vente de ces hydrates. De plus, compte tenu du fait que la magnésie coûte plus cher que la chaux, son usage est exclusif à la précipitation des hydrates de Co et non à celle des impuretés accompagnant le Co.

En milieux aqueux, la chaux vive devient de la chaux éteinte et se comporte comme une base faible. Dans la pratique industrielle, avant son ajout dans le réacteur de précipitation, la chaux est préparée sous forme de lait à environ 20 % en poids de solide. Cette chaux donne des ions OH^- qui à leur tour vont précipiter l'ion métallique pour lequel le produit de solubilité est plus faible que celui de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (Tableau 1) selon les réactions d'équilibre ci-dessous [4], [10], [11], [12]:



où M est un métal (Co, Cu, Fe, Al).

Au cours de la précipitation, la nature de l'agent précipitation et le pH sont parmi les paramètres les plus importants [13], [14], [15], [16]. Avec les valeurs de produits de solubilité, on peut déterminer, à l'aide de la relation 4, le pH de précipitation des éléments métalliques en se basant sur les valeurs habituelles de concentration en ces éléments dans les circuits hydrométallurgiques. Ces gammes de pH sont données dans la dernière colonne du tableau 1 et montrent qu'il est possible de séparer sélectivement ces éléments par précipitation par ajout des ions OH^- .

$$\text{pH de précipitation} = 14 - \frac{1}{n} (\log [\text{M}^{n+}] + \text{pks}) \quad (4)$$

Les ions Fe et Al ayant des pH voisins de précipitation sont précipités ensemble surtout qu'ils constituent des impuretés à jeter à l'étape de « FAM » c'est-à-dire l'étape de l'élimination du Fe, Al et Mn. Au vu du pH élevé de précipitation du Mn, on ne peut pas le précipiter avant le Co. Comme son pH est voisin du Co, il risque, en le laissant en solution, de polluer les hydrates de Co à produire. Pour ce faire, il est oxydé pour enfin le précipiter sous forme de MnO_2 . Son oxydation est difficile et les théories qui en expliquent le mécanisme sont controversées. En effet, l'oxydation du Mn est favorisée par le mélange Air- SO_2 introduit dans le milieu réactionnel dans une proportion telle que ce mélange produit de l'oxygène naissant, intermédiaire réactionnel très réactif, qui va alors oxyder le Mn et le conduire à la précipitation:



En pratique, la réalisation de ce mélange est difficile. Alors, on se contente d'insuffler de l'air et d'introduire également le SO_2 soit directement sous forme de gaz soit en ajoutant le métabisulfite qui va ensuite générer le SO_2 nécessaire selon ses réactions:



Le Cu se trouve seul dans une gamme de précipitation. Il est de ce fait précipité seul. Cela présente d'ailleurs un gros avantage puisque ses précipités sont généralement recyclés dans le premier circuit qui valorise le Cu par électrodéposition.

On peut observer aussi le phénomène de coprécipitation lors de la précipitation. C'est un phénomène au cours duquel des composés s'incorporent au précipité durant sa formation, alors qu'ils sont solubles. Cette coprécipitation se réalise de 4 façons: l'adsorption de surface, la formation de cristaux mixtes, l'occlusion et le piégeage mécanique [7], [8]. En hydrométallurgie, à l'étape de FAM, il est souvent observé une coprécipitation du cobalt qui peut être expliquée en grande partie par l'existence au sein du réacteur des zones localisées où le pH est élevé.

Au vu des valeurs de produits de solubilité des carbonates données dans le tableau 1, les réactions de précipitation décrites ci-dessus peuvent aussi avoir lieu si l'on remplace l'ion OH^- , l'ion responsable de la précipitation, par l'ion CO_3^{2-} . Et, cet ion peut être amené dans la solution par le calcaire (CaCO_3).

Dans ce travail, il a été utilisé d'une part la chaux et d'autre part le calcaire comme agent précipitant dans les solutions cobaltifères des usines hydrométallurgiques de Ruashi Mining en République Démocratique du Congo. Son objectif est de comparer les performances de ces deux agents précipitants. Le calcaire provient de la carrière de Kakontwe et la chaux provient de la transformation de la même pierre calcaire par calcination.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 SOLUTION À PURIFIER

Notre étude a porté directement sur les solutions industrielles (raffinat) issues de l'extraction par solvant organique de cuivre aux usines hydrométallurgiques de Ruashi Mining en République Démocratique du Congo. Ces usines produisent du cuivre sous forme cathodique et du cobalt sous forme d'hydrates à partir d'un minerai oxydé cuprocobaltifères contenant 3,5 % Cu et 0,9 % Co, et ce, après un schéma classique de traitement comme celui de la figure 1 comprenant une lixiviation mettant en solution le Cu et le Co, une séparation solide-liquide conduisant à deux flows, l'un à concentration élevée (HG de l'anglais High Grade) et l'autre de concentration faible (LG de l'anglais Low Grade), une électrodéposition du cuivre, une recirculation du raffinat HG à la lixiviation, une purification par précipitation sélective du raffinat LG en élimination des impuretés Fe, Al et Mn (étape FAM) et le cuivre résiduel (étape de décuivrage) et enfin une précipitation du cobalt sous forme d'hydrates de Co qui sont filtrés et séchés.

Une quantité de 90 L de raffinat LG a été prélevée en une fois sur le conduit de renvoi de raffinat vers la précipitation FAM. L'échantillon a été mis dans quatre bidons de 20 L de capacité lesquels bidons étaient bien fermés et gardés dans les armoires pour éviter la contamination. Les métaux contenus ont été analysés par spectrométrie d'émission atomique par plasma à couplage inductif (ICP-AES) et les résultats sont donnés dans le tableau 2. Le Co est présent dans le raffinat à une concentration de 2,8 g/L et il est accompagné des impuretés Cu, Fe, Al et Mn à éliminer.

Tableau 2. Composition chimique du raffinat LG des usines de Ruashi Mining

g/L Co	g/L Cu	g/L Fe	g/L Mn	g/L Al	g/L H ₂ SO ₄	Eh (mV)
2,80	0,07	0,42	1,34	0,50	8,9	495

2.2 AGENTS PRÉCIPITANTS (CHAUX ET CALCAIRE)

Deux agents précipitants ont été utilisés: la chaux et le calcaire. Le calcaire provient du grand gisement de calcaire de Kakontwe dans le Grand Katanga en République Démocratique du Congo. Nous avons étudié la même chaux que Ruashi Mining utilise dans son circuit. Cette chaux provient de la même pierre calcaire transformée par calcination à la Grande Cimenterie du Katanga, GCK en sigle.

La pureté de la chaux a été déterminée par neutralisation à l'aide de HCl 1N. La réactivité a été évaluée en termes de la durée nécessaire pour atteindre la température de 60 °C lorsqu'on mélange 150 g de chaux à 600 mL d'eau. Enfin, l'activité de la chaux a été évaluée en termes de la quantité de CaO soluble dans une solution de HCl à 3 mol/L. Au regard des résultats de la caractérisation du tableau 3, la chaux étudiée est de meilleure qualité.

Tableau 3. Résultats de caractérisation chimique de la chaux étudiée

CaO total (%)	CaO disponible (%)	Réactivité (min)	Activité (%)
94,0	78,0	5,3	99,8

L'échantillon de calcaire a été caractérisé chimiquement (tableau 4). Il s'agit d'un échantillon de calcaire de meilleure qualité. Sa granulométrie a été aussi déterminée par tamisage sur une série de tamis de laboratoire et évaluée à 20 % de refus sur le tamis de 180 µm. Dans les tests où la granulométrie a été étudiée, le calcaire a été broyé en humide dans un broyeur de laboratoire de 300 mm de diamètre avec une vitesse de 50 tours/minutes. Nous avons broyé à des temps différents de 12, 15, 20 et 25 minutes pour obtenir des granulométries de plus en plus fines. Chaque fois, nous avons pris 1 kg de calcaire et 1 L d'eau avec 1328 g de petites barres de 25 mm de diamètre comme corps broyants. La décharge du broyeur était tamisée sur un tamis de 37 µm.

Tableau 4. Résultats de la caractérisation chimique du calcaire étudié

CO ₃ ²⁻ total (%)	CaO total (%)	CO ₂ (%)	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Humidité (%)
96,1	50,6	42,3	0,9	1,9	6

2.3 ELIMINATION DES IMPURETÉS PAR PRÉCIPITATION

Les tests de précipitation ont été réalisés sous agitation mécanique dans un bécher de 5 L de capacité en prenant chaque fois 2 L de raffinat LG. Les paramètres pH et Eh ont été maintenus constants autour de la valeur de travail par ajout progressif de l'agent précipitant (calcaire ou chaux), de l'air ou du métabisulfite. La valeur de Eh est prise par rapport à une électrode Ag/AgCl. La

précipitation s'est réalisée pendant 4 heures à partir du moment où les valeurs de travail sont atteintes. Le précipité était chaque fois filtré, séché et analysé chimiquement. Le rendement de précipitation a été calculé en prenant la masse de l'élément dans le précipité par rapport à celle de ce même dans la solution initiale.

La quantité de calcaire consommée était déterminée par la relation suivante:

$$\text{Masse (agent précipitant)} = 1,588 \cdot V_p \cdot (dp-1) \quad (8)$$

Où V_p : le volume ajouté de la pulpe de l'agent précipitant; dp : la densité de la pulpe utilisée pour l'essai. Le facteur 1,588 est un facteur lié à la densité solide du calcaire. La même formule de la relation 8 a été utilisée pour calculer la quantité de chaux consommée.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 TESTS PRÉLIMINAIRES AVEC LE CALCAIRE

Les tests préliminaires avec le calcaire ont consisté en l'étude de la granulométrie et de la densité pulpe exprimée sous forme de pourcentage solide. Les résultats sont présentés aux figures 2 à 4. L'influence de la granulométrie et celle du pourcentage solide sont peu prononcées sur les réactions. Mais on sait observer qu'une grande quantité de fer a été précipitée contrairement au manganèse. Cela peut être expliqué par le fait que toutes les conditions d'oxydation des ions Mn^{2+} en MnO_2 n'ont pas été totalement réunies (réactions 5 à 7). Le cuivre s'est aussi précipité dans ces conditions.

Les résultats montrent également que la consommation des agents précipitants diminue avec la diminution de la granulométrie. On observe un palier à la valeur de 35,2 % de refus sur le tamis de 37 μm . Cette consommation augmente par contre lorsque la densité pulpe augmente pour dire qu'il n'est pas nécessaire de travailler à des valeurs élevées de densité pulpe.

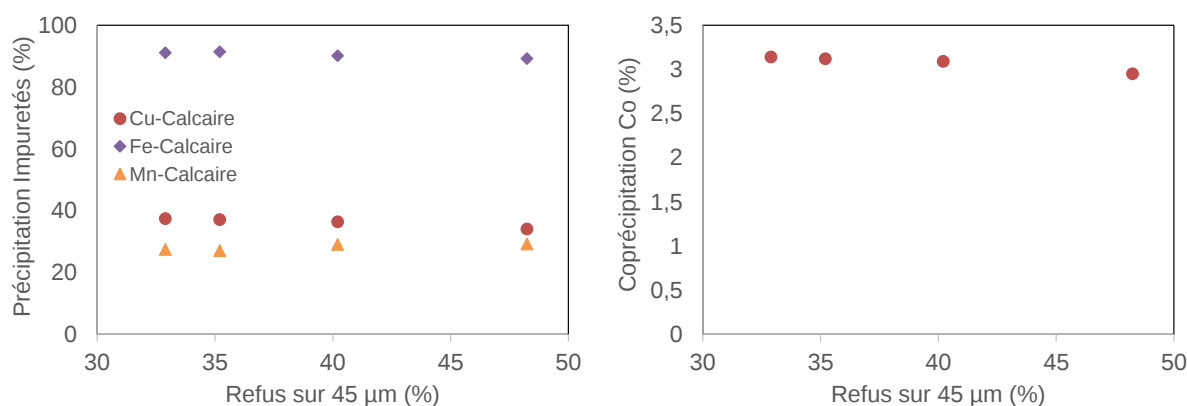


Fig. 2. Influence de la granulométrie sur la précipitation avec le calcaire

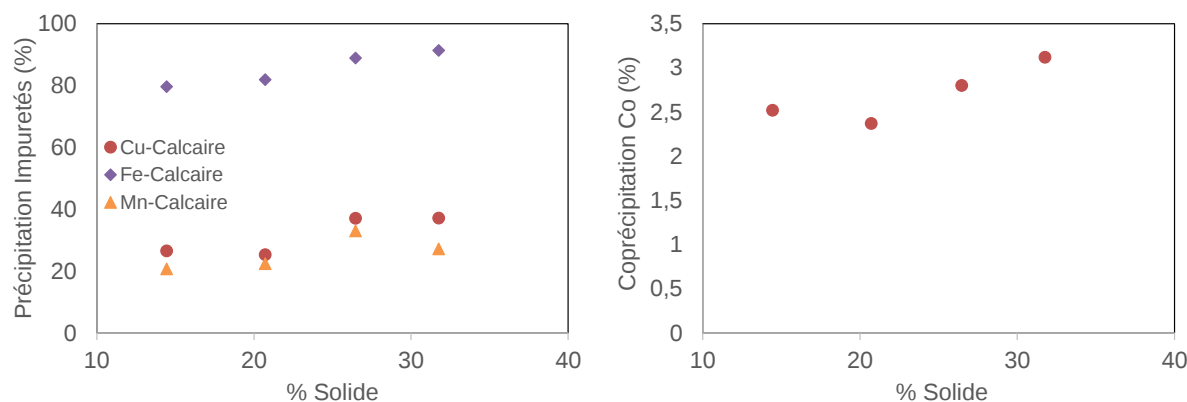


Fig. 3. Influence du pourcentage solide sur la précipitation avec le calcaire

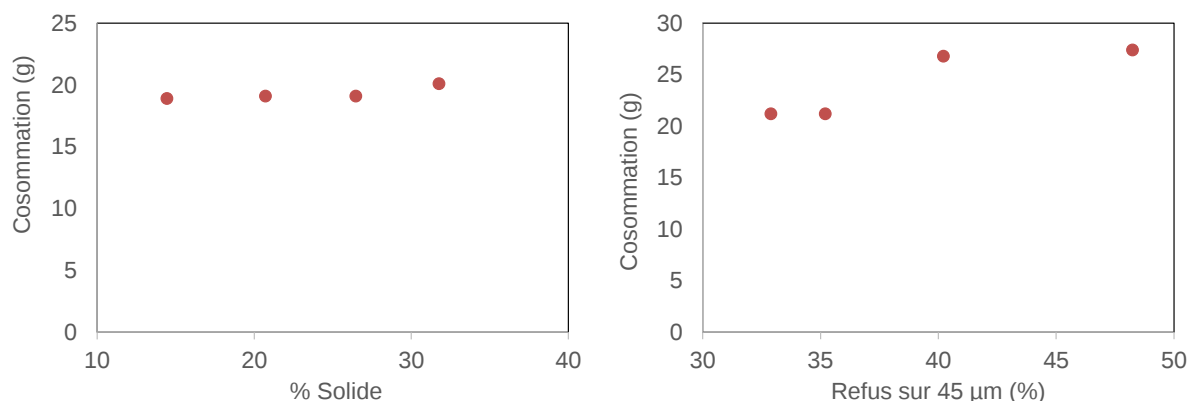


Fig. 4. Evolution de la consommation du calcaire lors des tests préliminaires

3.2 COMPARAISON ENTRE LE CALCAIRE ET LA CHAUX

Une série des tests a été réalisée dans les mêmes conditions pour comparer les performances de deux agents précipitants étudiés. Ces conditions sont résumées dans le tableau 5.

Tableau 5. Conditions opératoires

Agent précipitant	Paramètres étudiés ou maintenus fixes				
	pH	Eh (mV)	Temps (h)	% Solide	% Refus sur 37 µm
Chaux	4,0	Etudié	4	20	-
Calcaire	4,0	Etudié	4	26	35,2
Chaux	Etudié	600	4	20	-
Calcaire	Etudié	600	4	26	35,2
Chaux	4,0	600	Etudié	20	-
Calcaire	4,5	600	Etudié	26	35,2

3.2.1 INFLUENCE DU POTENTIEL D'OXYDO-RÉDUCTION

De manière générale, l'augmentation du Eh conduit à l'augmentation des rendements de précipitation et de coprécipitation. Mais à 600 mV, nous observons un palier. L'influence de Eh est justifiée par le fait que les conditions oxydantes favorisent la précipitation du Fe et du Mn, augmentant ainsi leurs rendements de précipitation.

L'obtention des rendements élevés de précipitation du fer, malgré une présence certaine des ions fer ferreux dans la solution initiale bien que non analysés ici, peut être justifiée par le fait que seule la présence de l'air insufflé suffit pour oxyder la grande partie des ions fer ferreux en ions fer ferrique qui peuvent précipiter à des pH faibles. En effet, la littérature sous-tend que les ions fer ferreux précipitent très difficilement et qu'ils nécessitent souvent leur oxydation en ions fer ferrique pour précipiter aisément [7], [8], [9].

La différence entre les deux agents précipitants n'est pas très prononcée pour la précipitation du fer et la coprécipitation du cobalt. Mais pour les impuretés Mn et Cu et pour des faibles valeurs de Eh, la chaux donne de bons rendements d'élimination.

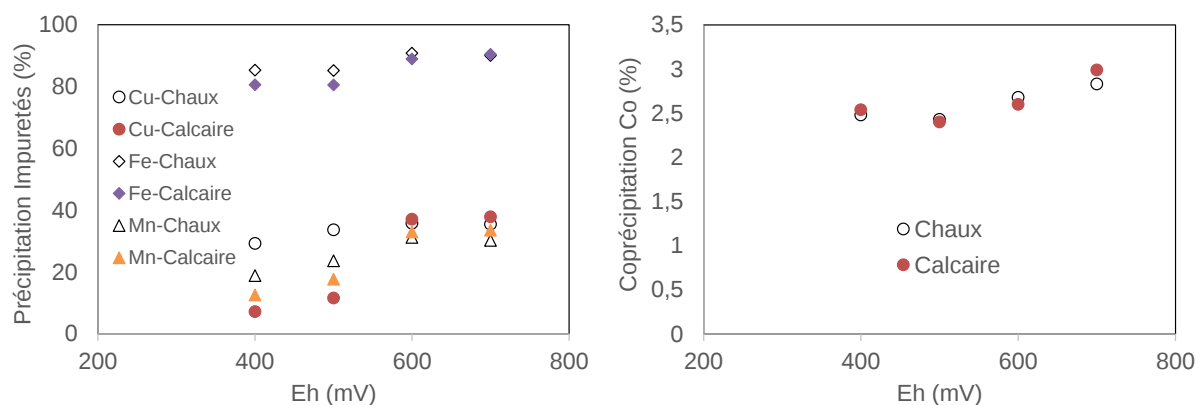


Fig. 5. Influence de Eh sur la comparaison du calcaire et de la chaux

3.2.2 INFLUENCE DU PH

L'influence du pH est vraiment marquée. A des pH faibles, la coprécipitation du Co est de plus en plus quasi-inexistante. Au contraire, l'augmentation de pH conduit à l'augmentation des rendements de coprécipitation du Co et de précipitation des impuretés. Il est également observable que la précipitation du Mn est toujours faible. Cela peut s'expliquer par les mêmes raisons évoquées précédemment.

Les rendements de Cu et Mn sont serrés. Mais la chaux conduit à des rendements de coprécipitation de cobalt et de précipitation du fer inférieurs à ceux du calcaire. Ainsi donc le calcaire conduirait à une coprécipitation élevée.

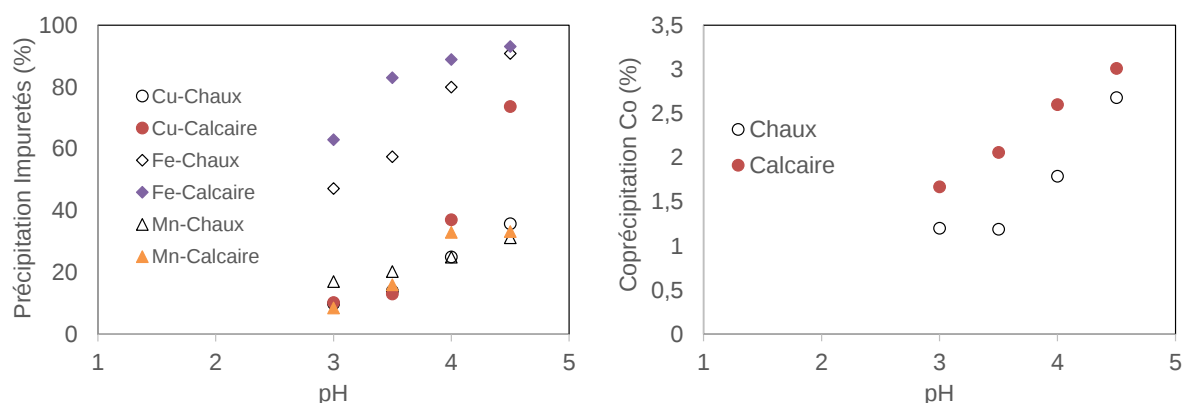


Fig. 6. Influence du pH sur la comparaison du calcaire et de la chaux

3.2.3 INFLUENCE DU TEMPS

Le calcaire conduit à des rendements de précipitation des impuretés et de coprécipitation du Co plus élevés que ceux obtenus avec la chaux comme c'est le cas lors de l'influence du pH. Mais, plus la durée est élevée, plus la différence entre les agents précipitants diminue. Le temps a une forte influence sur les réactions avec la chaux alors que les tests avec le calcaire en sont peu influencés. Cette différence peut être analysée dans le sens de dire que les réactions avec le calcaire sont plus rapides que celles avec la chaux. En considérant le fer, la durée minimale de la réaction avec la chaux est estimée à 2 heures, valeur à partir de laquelle on obtient un palier. La vitesse rapide du calcaire est difficile à expliquer au regard des données présentées ici d'autant plus que la valeur de produit de solubilité du calcaire est faible. Nous pouvons aussi comprendre cela dans le sens de dire que le calcaire entraîne une plus grande coprécipitation du Co.

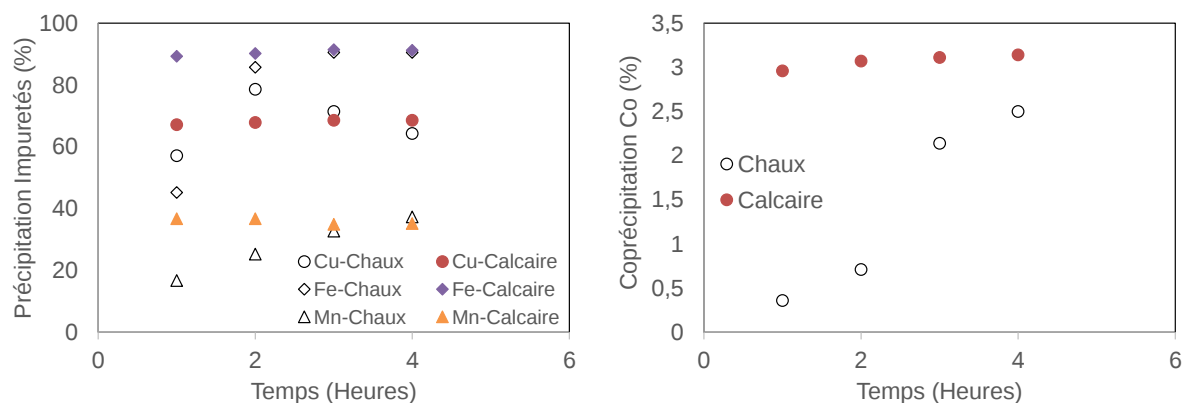


Fig. 7. Influence du temps sur la comparaison du calcaire et de la chaux

3.2.4 CONSIDÉRATIONS SUR LA CONSOMMATION DE DEUX AGENTS PRÉCIPITANTS

Les tests ont été réalisés dans les mêmes conditions opératoires pour la chaux et pour le calcaire. Il a été important de considérer la consommation des agents précipitants. Comme les conditions sont les mêmes, nous avons jugés de considérer la quantité ajoutée de ces agents au lieu de considérer une quantité spécifique. Les résultats sont présentés aux figures 8 et 9.

En considérant les réactions de précipitation décrites précédemment, il se dégage qu'on a besoin chaque fois du même nombre de mole de chaux et de carbonate pour précipiter une même quantité d'un ion donné. En prenant la même référence et en considérant les compositions chimiques données dans les tableaux 2 et 3, une mole de CaO correspond à 71,8 g de chaux et une mole MgCO_3 correspond à 104 g de calcaire. Ce qui nous donne un ratio calcaire/chaux de 1,5. Ce ratio représente les proportions équivalentes de calcaire et de chaux engagés dans l'élimination d'un ion.

L'analyse des figures 8 et 9 montre que les valeurs expérimentales tournent autour de cette valeur théorique de 1,5 et les différences sont jugées faibles. Ceci montre que les deux réactifs ont un comportement similaire. Le fait de recourir au calcaire n'induit donc pas des consommations supplémentaires en réactif.

En outre, la consommation des agents précipitants est plus marquée en fonction du pH qu'en fonction du Eh. L'influence du pH est normale puisque les réactions de précipitation sont des réactions de métathèse [17], [18], [19], [20], [21].

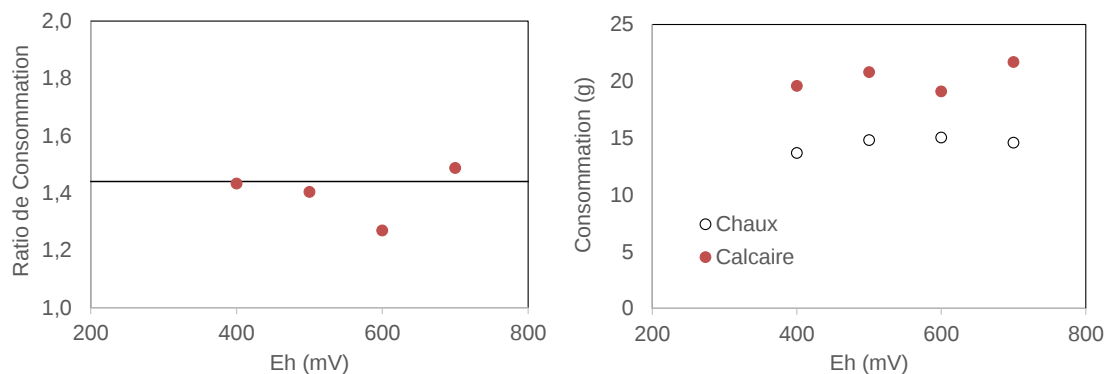


Fig. 8. Evolution de la consommation lors de l'influence du Eh

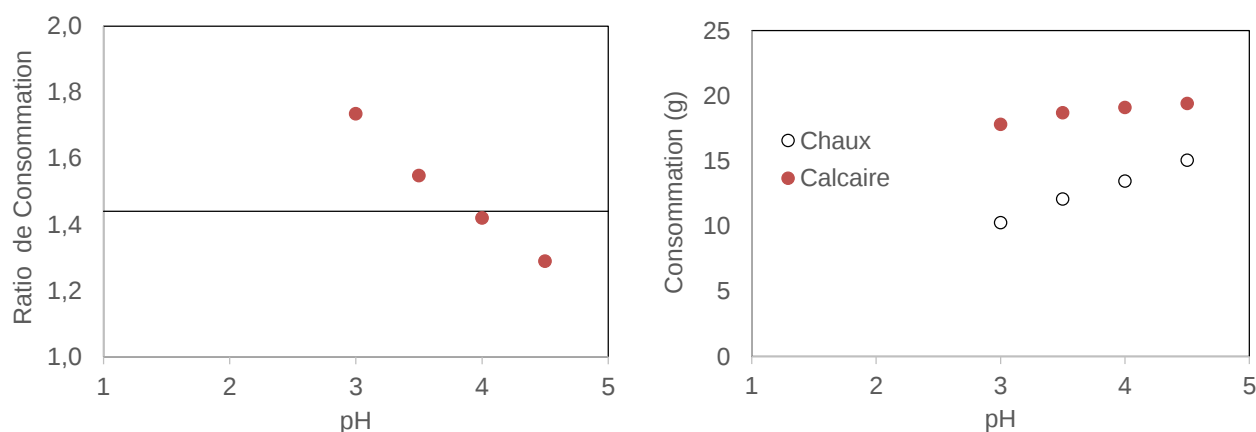


Fig. 9. Evolution de la consommation lors de l'influence du pH

3.3 POSSIBILITÉ DE SUBSTITUTION DU CALCAIRE PAR LA CHAUX

Les résultats ont montré que la chaux et le calcaire conduisent à des résultats concurrentiels. La substitution de la chaux est en conséquence possible. A cela, il faut juste ajouter le fait que l'utilisation du calcaire requiert l'installation d'une unité de broyage devant amener le calcaire à la bonne granulométrie. En effet, en se référant aux coûts d'acquisition des agents précipitants jusqu'aux usines de Ruashi Mining qui sont de 160 et 50 USD respectivement par tonne de chaux et de calcaire, l'utilisation du calcaire présente un gros avantage par rapport à la chaux. Les résultats ayant montré des performances similaires pour un ratio calcaire/chaux proche du ratio théorique de 1,5, on engagera respectivement 160 et 75 USD pour la chaux et le calcaire soit de la moitié de l'argent dans le cas du calcaire.

Il faudra intégrer également le fait que l'utilisation du calcaire induit l'introduction de beaucoup des solides qu'il faudra évacuer car on ajoute toujours une quantité 1,5 fois supérieure à celle de la chaux pour les mêmes performances.

4 CONCLUSION

L'utilisation du calcaire lors de l'élimination des impuretés accompagnant les solutions cobaltifères de Ruashi a été étudiée dans cet article. En effet, le circuit de production du cobalt de Ruashi est alimenté par la solution pauvre en cuivre (LG Raffinat) contenant non seulement du cobalt à valoriser par précipitation sous forme d'hydrates de cobalt mais aussi des impuretés nocives (Fe, Al, Mn, Cu, ...) qu'il faudra éliminer au préalable.

Cette précipitation pouvant se faire en utilisant le calcaire moins coûteux et beaucoup plus disponible dans la région que la chaux qui nécessite une transformation préalable du calcaire, Ruashi Mining envisage de substituer l'utilisation de la chaux par celle du calcaire comme agent précipitant à l'étape de FAM (élimination de Fe, Al et Mn). Ainsi des tests de neutralisation et d'élimination de ces impuretés par précipitation sélective sur les solutions cobaltifères de Ruashi Mining ont été réalisés dans le but d'étudier la possibilité de substituer la chaux usuellement utilisée par le calcaire.

Etant livré très grossier, le calcaire a été broyé en vue d'obtenir la finesse devant permettre une bonne précipitation. Les résultats ont montré que la consommation du calcaire diminue avec la finesse des grains tendant vers un palier après la valeur de 35,2 % de refus sur le tamis de 37 μ m. Et, l'effet du pourcentage solide a montré qu'il n'est pas nécessaire de travailler à des valeurs élevées de plus de 20 %.

L'influence du Eh est peu prononcée par rapport à celles du pH et du temps sur le phénomène étudié. En effet, l'augmentation du pH et temps conduit à l'augmentation du rendement de précipitation. En particulier, l'influence du temps a montré que le calcaire réagit assez vite par rapport à la chaux. Ce qui reste une hypothèse à infirmer.

En somme, les deux agents précipitants conduisent à des résultats concurrentiels et en conséquence la substitution de la chaux par le calcaire est faisable techniquement. A cela, il faudra intégrer le coût lié à la fragmentation au niveau industriel du calcaire jusqu'à la bonne finesse.

Le Co a été coprecipité à des valeurs acceptables de rendement de maximum 3,0 %. Le Cu s'est éliminé jusqu'à des rendements de 40 %. Le Fe a été éliminé jusqu'à des rendements de 90 %. Le Mn n'a pas été suffisamment éliminé car les rendements obtenus ont été autour de 40 %. Cela peut être expliqué par des conditions oxydantes non totalement réunies pour oxyder les ions Mn^{2+} en

MnO₂. Quant à la consommation des agents précipitants, les résultats ont montré que ces agents, ajoutés à des quantités équivalentes, conduisent à des résultats similaires.

REFERENCES

- [1] Zeka L., 2015. Lixiviation du cobalt trivalent de l'hétérogénite d'un minerai oxydé cuprocobaltifère du Katanga par le fer ferreux provenant de l'oxydation chimique et/ou bactérienne de la pyrite-arsénopyrite. Thèse de doctorat. Université de Lubumbashi. 310 p.
- [2] Charles N.; Colin S. and Lefebvre G., 2017. Mémento Carbonates calciques et magnésiens. Rapport final. Rapport BRGM/RP-67125-FR, 85 p. 33 fig., 9 tab.
- [3] Boussen, R., 2007. Valorisation de l'acide phosphorique par précipitation du cadmium et pertraction de l'Uranium. Thèse de Doctorat d'Etat. Université Mohammed V – AGDAL.
- [4] Foucher, S. avec la collaboration de Battaglia-Brunet F.; Ignatiadis I.; Morin D. and Richalet G., 1999. Etude de la précipitation de certains métaux, contenus dans des solutions complexes, par l'hydrogène sulfuré. Rap. BRGM R 40554, 83p., 21 fig., 8 tabl., 4 ann.
- [5] Dreulle, N., 1981. Les bases théoriques de l'hydrométallurgie. Revue de l'industrie minière, p. 403-410.
- [6] Hopkins, D.W., 1958. Aspects physico-chimiques de l'élaboration des métaux. Dunod, Paris.
- [7] Skoog, West, Holler and Crouch, 2015. Chimie analytique. Traduction de la version anglaise et révision scientifique de Buess-Herman, C., Dauchot, J. et Doneux, T. 3ème Edition. De boeck, Bruxelles, 1049p.
- [8] Atkins and Jones, 2011. Principes de chimie. Traduction de la version anglaise par Pousse, A. 5ème édition. Deboek, Bruxelles, 792p.
- [9] Martell, A.E. and Smith, R.M. Critical stability constants, vol. 3-6. New York: Plenum, 1976-1989.
- [10] Ngenda, R., 2010. Etude de valorisation des rejets des usines à zinc de Kolwezi, R.D.C; Thèse de Doctorat. Université Libre de Bruxelles.
- [11] Tatangelo, A., 2006. Optimisation de la précipitation des métaux lourds en mélange et valorisation des boues d'hydroxydes – Application aux effluents de traitement de surfaces. Thèse de Doctorat. Ecole Nationale supérieure des mines.
- [12] Thomas, F.-P., 2006. Précis de Physique-chimie. Bréal, Rome. 224p.
- [13] Philibert, J.; Vignes, A.; Bréchet, Y. and Combrade, P., 2013. Métallurgie du minerai au matériau. 2e Edition. Dunod, Paris. 1140p.
- [14] Mirgaut, O., 2007. Modélisation de la purification de l'aluminium liquide par procédé de flottation en cuve agitée. Thèse de Doctorat. Université de Lorraine.
- [15] Winand, R., 1982. Hydrométallurgie du cuivre – Etat actuel de la technique. Mémoires et Etudes scientifiques de la revue de métallurgie, p. 125-134.
- [16] Habashi, F., 1970. Principles of extractive metallurgy. Gordon and Breach, New-York.
- [17] Davids, G., 1987. Potentiel-pH diagrams and their application to hydrometallurgy system in separation processus in metallurgy, society of chemical industry, Chichester.
- [18] Charlot, G., 1983. Les réactions chimiques en solution aqueuse. 7ème Edition. Masson, Paris.
- [19] Bernard, M. and Busnot, F., 1978. Chimie générale et minière. Aide-mémoire. Dunod, Paris.
- [20] Pourbaix, M., 1963. Atlas d'équilibre thermodynamique à 25 °C. Gauthier Villars et Cie, Paris.
- [21] Charlot, G., 1963. L'analyse qualitative et les réactions en solution. Masson, Paris.

Analyse comparative des systèmes de production de soja basés sur l'utilisation de l'inoculum dans un contexte de gestion durable des terres au Centre du Bénin

[Comparative analysis of soybean production systems based on the use of inoculum in a context of sustainable land management in Central Benin]

Firmin Ibidon Akpo, Modeste Djromahuton Dohou, Zachée Houessingbe, and Jacob Afouda Yabi

Laboratoire d'Analyses et de Recherches sur les Dynamiques Economiques et Sociales (LARDES), Faculté d'Agronomie (FA),
Université de Parakou (UP), BP 123 Parakou, Benin

Copyright © 2021 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This article aims to analyze two soybean production systems based on the use or not of inoculum. To this end, firstly, it was a question of identifying the factors likely to explain the practice of inoculum in soybean production systems and then secondly to assess the economic profit made by producers practicing these production systems. Qualitative as well as quantitative data on socio-economic characteristics and soybean production had been collected from nearly 47 inoculum users and 58 non-users. The logit model as well as the profit indices was estimated using the STATA 13.0 software. The results showed that socioeconomic factors such as the number of agricultural workers (10%) and experience in soybean production (1%) significantly explained the practice of the production system based on the use of inoculum. Likewise, access to agricultural credit was the only institutional factor explaining the 10% threshold for the practice of this system. Compared to the profile, the same system had a net margin of 78,592 FCFA / Ha ($p = 0.000$) more than the system without the use of inoculum. Furthermore, no significant difference was observed in the benefit-cost ratio (3.29 FCFA for the system with use of inoculum against 3.19 FCFA for the system without use of inoculum). This was due to the costs spent on acquiring the inoculum. The inoculum subsidy would be essential for the future of the soybean industry.

KEYWORDS: Production system, soybean, inoculum, explanatory factors, profit, Center of Benin.

RESUME: Cet article vise à analyser deux systèmes de production de soja basés sur l'utilisation ou non de l'inoculum. A cet effet, dans un premier, il s'est agi d'identifier les facteurs susceptibles d'expliquer la pratique de l'inoculum dans les systèmes de production de soja puis dans un second temps d'évaluer le profit économique que se font les producteurs pratiquant ces systèmes de production. Des données qualitatives ainsi que quantitatives relatives aux caractéristiques socio-économiques et à la production de soja avaient été collectées au près de 47 utilisateurs de l'inoculum et 58 non utilisateurs. Le modèle logit ainsi que les indices de profit avaient été estimés grâce au logiciel STATA 13.0. Les résultats montraient que les facteurs socioéconomiques tels que le nombre d'actif agricole (10%) et l'expérience dans la production de soja (1%) expliquaient significativement la pratique du système de production basé sur l'utilisation de l'inoculum. De même, l'accès au crédit agricole était le seul facteur institutionnel qui expliquait au seuil de 10% la pratique de ce système. Par rapport au profil, le même système avait une marge nette de 78592 FCFA/Ha ($p=0,000$) de plus que le système sans utilisation de l'inoculum. Par ailleurs, aucune différence significative n'est observée au niveau du Ratio bénéfice coût (3,29 FCFA pour le système avec utilisation de l'inoculum contre 3,19 FCFA pour le système sans utilisation de l'inoculum). Ceci était dû aux coûts dépensés pour l'acquisition de l'inoculum. La subvention de l'inoculum serait indispensable pour l'avenir de la filière soja.

MOTS-CLEFS: Système de production, soja, inoculum, facteurs explicatifs, profit, Centre du Bénin.

1 INTRODUCTION

Le secteur agricole se trouve confronté à plusieurs contraintes, bien qu'il soit fondamental pour le développement économique et social en Afrique de l'Ouest. L'une des plus importantes est la dégradation accélérée des sols qui a pour conséquence la baisse considérable du niveau de fertilité des sols qui entraîne le faible rendement des cultures. Face à cette désastreuse situation, plusieurs stratégies ont été envisagées aussi bien par les chercheurs que par les agriculteurs eux-mêmes pour y remédier. Parmi ces alternatives, figure la technologie de maintien de fertilité des sols à base des légumineuses herbacées [1] qui en améliorant la fertilité des sols contribuent en même temps à la lutte contre l'insécurité alimentaire. Elles contribuent en effet, de part leur teneur en protéine à l'amélioration de la qualité de l'alimentation familiale [2]. Grâce à leurs capacités à fixer la grande partie de leur besoin en azote de l'atmosphère à travers le processus de la fixation symbiotique, les cultures légumineuses peuvent améliorer le bilan de l'azote dans les systèmes de cultures [3]. Ce macro élément est la substance nutritive la plus importante pour les plantes. Toutefois, la plupart des sols tropicaux renferment une faible quantité de cette substance [2]. Ainsi, le soja comme les autres légumineuses, présente de nombreux intérêts agronomiques et nutritionnels. Outre, il a aussi la capacité d'utiliser l'azote atmosphérique grâce à une association symbiotique avec les bactéries du genre *Rhizobium* au niveau des nodosités localisées sur son système racinaire dont la minéralisation enrichit le sol en azote [4].

Dans un contexte où l'écologie du sol est réduite de nos jours associé à la faible complémentarité de la nature de *Rhizobium* présente dans le sol avec la plante de soja, des chercheurs ont mis en place un bio fertilisant appelé inoculum qui contient des bactéries de type *Rhizobium japonicum* ou *Bradyrhizobium japonicum*. Cette innovation augmenterait le nombre de nodules au niveau des racines et améliorerait ainsi le rendement des plants de soja [5].

L'intégration de l'inoculation dans le processus de production du soja devrait donc être une opportunité pour les agriculteurs. Mais malheureusement, les études réalisées par [6] montrent que l'utilisation de l'inoculum sur le soja est l'une des technologies de gestion durable des terres les plus faiblement adoptées par les producteurs dans certaines régions notamment dans le département des Collines au Bénin. Dans ce même sens, d'autres études révèlent que les producteurs n'adoptent pas une méthode uniquement pour améliorer la fertilité de leurs terres, mais qu'ils en attendent aussi des avantages économiques [7]. Cela signifie alors que les innovations dans la gestion durable de la fertilité des terres ne seront facilement adoptées que si elles sont économiquement rentables aux yeux des producteurs. Cette importance particulière accordée à la dimension économique des diverses innovations apportées en milieu rural est une raison assez pertinente de cette étude. Elle se propose donc dans un premier temps d'identifier les facteurs susceptibles d'expliquer l'adoption de l'inoculum dans les systèmes de production de soja puis dans un second temps analyser le gain économique que se font les producteurs pratiquant ce système de production.

2 CADRE THÉORIQUE

Le système de production agricole est un concept ayant fait objet de plusieurs discussions scientifiques. Cette notion a été largement utilisée mais varie d'un auteur à un autre selon les domaines [8]. Les économistes pensent que le système de production est la combinaison des facteurs de production et des productions dans l'exploitation agricole [9]. Le but du système de production est donc la maximisation du profit. Il est alors spécifique à chaque producteur et dépend des objectifs qu'il vise à la fin de sa campagne agricole. La théorie de cet auteur est centrée cependant sur la gestion de l'exploitation agricole. Au fil du temps, [10] abordera le côté social du système de production en parlant de la diversité des exploitations agricoles. Pour cet auteur, un système de production est caractérisé par la nature des productions, de la force de travail et des moyens de travail mis en œuvre et aussi par la quantité de ce travail. Qu'il soit utilisé à usage interne (gestion) ou à usage externe (sociale), nous pouvons retenir que le système de production est une combinaison qui relie les facteurs de production et les produits. [11] viendront confirmer que parler de système de production agricole veut dire s'intéresser à la combinaison des activités et les pratiques agricoles au sein d'une exploitation agricole, à la rationalité de ses pratiques, aux difficultés techniques et économiques qu'elle rencontre et à l'évaluation des résultats qu'elle obtient. Dans l'optique d'aider les producteurs, des innovations ont été apportées pour une optimisation des facteurs de production. Par ailleurs, des producteurs restent réticents quant à l'utilisation de ces innovations. Parmi tant d'autres, les facteurs institutionnels [24] et les caractéristiques socio-économiques [12] des producteurs pourraient expliquer leurs aptitudes d'adoptions.

3 MATÉRIELS ET MÉTHODES

3.1 ZONE D'ÉTUDE

La présente étude a été conduite dans la commune de Ouèssè (département des Collines) au centre de la république du Bénin. Cette zone est située géographiquement à 231 mètres d'altitude moyenne, à la latitude 8°29'45" et à la longitude 2°25'24". Elle s'étend entre l'Okpara à l'Est et l'Ouémé à l'Ouest sur une superficie d'environ 3 200 km², puis partage ses frontières au Nord avec la Commune de Tchaourou, au Sud avec les Communes de Savè et de Glazoué, à l'Ouest avec celles de Bantè et de Bassila, et à l'Est avec la République Fédérale du Nigéria (figure1). La commune de Ouèssè est située dans la zone tropicale humide et jouit d'un climat tropical intermédiaire entre le climat guinéen et le climat soudanien. Sa pluviométrie annuelle varie entre 723,4 mm et 1554,7 mm. Plusieurs raisons justifient le choix de cette commune comme zone de la présente étude. En effet, la population de la commune de Ouèssè accorde une importance particulière à la production du soja. Les statistiques de production obtenue auprès de la Direction Départementale de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche des collines (DDAEP-Collines/2018), montraient que cette commune occupe la troisième place en termes de production de soja dans le département des Collines après les communes de Dassa et Glazoué. Les populations avaient alloué près de 4790 ha de leur superficie à cette culture au cours de la campagne agricole 2018. Suivant les critères d'accessibilité des villages et l'existence d'au moins une coopérative villageoise de producteur de soja fonctionnelle, les arrondissements de Ouèssè; Laminou; Toui et Gbanlin ont été sélectionnés aléatoirement dans ladite commune.

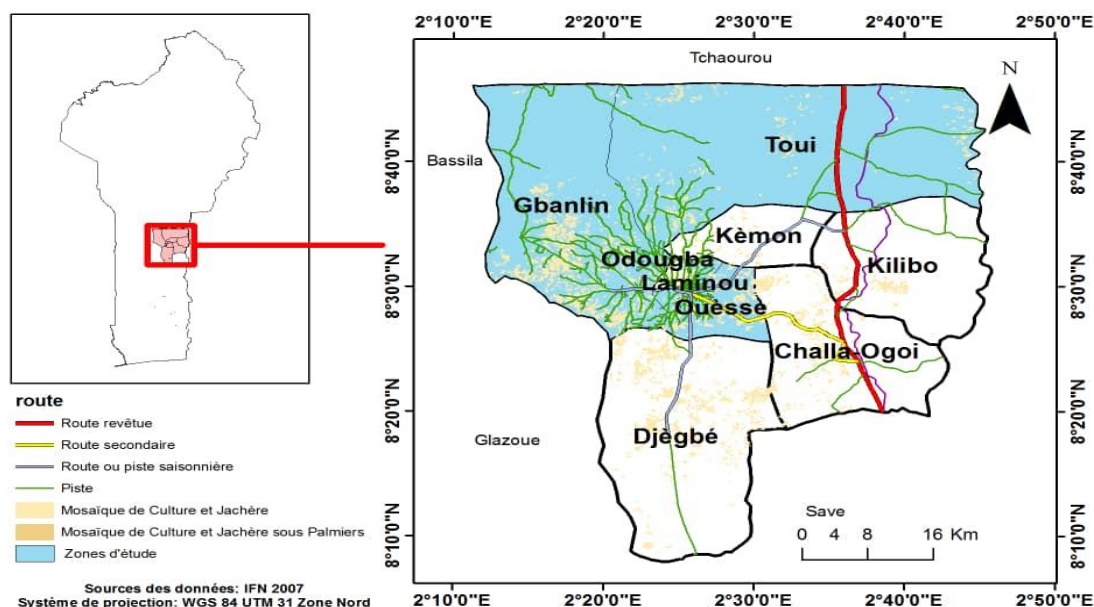


Fig. 1. Zone d'étude

3.2 ECHANTILLONNAGE ET BASE DE DONNÉES

L'unité statistique de recherche la plus propice pour la présente étude était le chef de l'exploitation agricole productrice de soja. Dans chaque arrondissement, les listes des producteurs de soja disponibles au niveau des coopératives fonctionnelles de producteurs de soja des villages ont d'abord été obtenues. Elles ont été complétées par celle des producteurs n'appartenant pas à une coopérative après un recensement général. Cette base de sondage ainsi obtenue a servi de principal outil pour le choix des producteurs. Les données primaires relatives aux caractéristiques sociodémographiques, aux itinéraires techniques de production, aux coûts de production, à la commercialisation et aux difficultés rencontrées par chaque exploitation productrice de soja au cours de la campagne agricole 2018-2019 avaient été collectées à travers un questionnaire structuré. Cet outil de collecte inséré sur la plateforme de KoBocollect a été administré à chaque chef d'exploitation. Au total 105 (47 utilisateurs de l'inoculum et 58 non utilisateurs) producteurs ont été sélectionnés de façon aléatoire.

3.3 MÉTHODE D'ANALYSE

3.3.1 DÉTERMINANTS DES SYSTÈMES DE PRODUCTION

Il s'agit ici de déterminer les facteurs qui influencent la pratique du système de production basé sur l'utilisation de l'inoculum. En d'autres termes, il est question d'identifier les variables qui réduisent ou augmentent la probabilité de pratiquer ce type de système. A cet effet, l'outil d'analyse la plus approprié est celle de la régression. Mais, la difficulté majeure reste au niveau du choix du modèle de régression approprié. Le choix du modèle de régression est déterminé d'abord par la nature continue ou discontinue des variables. Dans cette étude, la variable dépendante qui est la pratique est binaire. Elle ne peut que prendre que deux valeurs (1 pour pratique du système de production avec utilisation de l'inoculum et 0 pratique du système de production sans utilisation de l'inoculum). Nous avons ainsi deux choix de modèle. Utiliser le Probit binomial qui se base sur la loi normale ou le Logit binomial qui se base sur la loi logistique de distribution de probabilité.

Toutefois, le second cité sera utilisé dans cette étude compte tenu de sa simplicité ([26], [13]). Sa formule mathématique est sous la forme de:

$$Y = f(Z, \varepsilon)$$

Avec Y= variable dépendante; Z= matrice des variables (facteurs) pouvant expliquer la variation de Y et ε = les termes d'erreur.

Soit M_i la probabilité du producteur du soja i :

$$M_i = F(I_i) = \frac{1}{1 + e^{-I_i}}$$

$$I_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$$

I_i représente les caractéristiques du producteur de soja; β_i représente les coefficients des variables explicatives; Les X_i représentent les variables explicatives.

Le producteur opte pour le système de production basé sur l'utilisation de l'inoculum lorsque l'effet combiné des facteurs atteint une valeur critique. En supposant que l'effet est mesuré par un indice non observable I_t pour le producteur t et I_{0t} la valeur critique de l'indice à partir de laquelle il pratique le système de production basé sur l'utilisation de l'inoculum, on a:

I_t est supérieur ou égal à I_{0t} , donc le producteur pratique ce système de production et la variable de pratique Y prend la valeur 1. Plus l'indice I_t est supérieur à la valeur critique, plus la probabilité pour que le producteur pratique le système de production est élevée. Si I_t est inférieur à I_{0t} , alors le producteur ne pratique pas ce système de production et Y est égal à 0.

L'équation empirique issue de ce modèle théorique dans cette étude est la suivante:

$$X = \beta_0 + \beta_1 ACTIFS + \beta_2 EXPSO + \beta_3 EEA142 + \beta_4 ACCREDI + \beta_5 INSTRUM + \mu_i$$

Où β_0 est la constante; β_i les coefficients à estimer; μ_i les termes d'erreurs; ACTIFS, le nombre d'actif agricole du ménage; EXPSO, l'expérience dans la production de soja; EEA142, le soja comme culture principale; ACCREDI, l'accès au crédit agricole; INSTRUM, le niveau d'instruction du producteur de soja.

• Spécification du modèle

Les signes attendus des variables introduites dans le modèle sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1. Variables introduites, Codes, Modalités et Signes attendus

Variables	Code	Modalités	Signes attendus
Nombre d'actifs dans le ménage	ACTIFS	En nombre de personne	+
Expérience en production de soja	EXPSO	En nombre d'année	+/-
Soja comme culture principale	EEA142	0 = Non; 1 = Oui	+
Accès au crédit agricole	ACCREDI	0 = Non; 1 = Oui	+
Instruction	INSTRUM	0 = Non; 1 = Oui	+

3.3.2 INDICES DE PROFITABILITÉ

La méthode des marges a été utilisée pour estimer la rentabilité des systèmes de production de soja. Cette méthode a été clairement définie par [14]. Elle inclut l'estimation du produit brut, des charges variables et fixes, des marges brute et nette et du ratio bénéfice-coût.

- **Produit Brut en Valeur (PBV)**

Il correspond à la valeur totale que peuvent prendre tous les produits issus d'un processus de production par hectare après la vente. C'est le produit entre le rendement (Q) et le prix de vente unitaire (P). Il est exprimé en FCFA/Ha:

$$PBV = Q \times P$$

- **Charges Variables (CV)**

Elles correspondent aux dépenses liées à la production et qui varient selon le volume d'extrants produit. Dans cette étude, elle regroupe le prix d'achat de la semence, des herbicides, de l'inoculum, de la main d'œuvre occasionnelle et du transport.

- **Charges Fixes (CF)**

Elles regroupent toutes dépenses liées à l'activité de production de soja qui ne varient pas en fonction du volume d'extrants produit. Il s'agit de la rente foncière, de l'amortissement des actifs agricoles et des intérêts sur emprunt.

- **Marge Brute (MB)**

C'est la différence entre le produit brut en valeur (PBV) et la charge variable (CV) de production. Elle est aussi exprimée en FCFA/Ha.

$$MB = PBV - CV$$

- **La Marge Nette (MN)**

Encore appelé bénéfice net ou profit ([15], [14]), elle est obtenue en déduisant de la marge brute, la charge fixe de production ou du produit brut en valeur le coût total de production. Sa formule s'écrit sous la forme de:

$$MN (FCFA/Ha) = PBV - (CV + CF) \text{ ou } MN = MB - CF$$

Lorsque la Marge nette sera supérieure à zéro, l'activité de production de soja est dite rentable. Dans le cas contraire, cette activité n'est pas rentable.

- **Ratio bénéfice coût (RBC)**

Le ratio-bénéfice-coût est un indicateur d'analyse financière par excellence. Il est le produit brut obtenu en valeur par unité de coût [25].

$$RBC = \frac{PBV}{CT}$$

L'interprétation de RBC se fait en le comparant à la valeur 1. Si $RBC > 1$, alors la production de soja est rentable dans la zone d'étude, 1 franc investi génère donc plus d'un franc. Cependant, lorsque $RBC < 1$, la production de soja n'est pas rentable, 1 franc investi génère donc moins d'un franc.

4 RÉSULTATS

4.1 FACTEURS DE PRODUCTION DANS LA PRODUCTION DE SOJA

La production du soja dans la commune de Ouèssè, comme toute production fait intervenir quatre (04) facteurs de production à savoir: la terre, la main d'œuvre, le capital et les intrants agricoles. En effet, l'analyse attentive du tableau 2 ci-dessous révèle que la majorité des producteurs de soja de la commune de Ouèssè accèdent à leurs terres par location (64,8%),

utilisent de façon simultanée la main d'œuvre familiale et occasionnelle (79%) et financent leurs activités de production du soja sur fonds propres (88,6%). Cependant, la production du soja dans la commune de Ouèssè n'est pas exigeante en intrants agricoles. La semence, l'herbicide et l'inoculum sont les types d'intrants agricoles utilisés. Ainsi, 59% des producteurs enquêtés ont utilisé des semences locales contre seulement 41% utilisateurs des semences améliorées. La plupart des producteurs (81,9%) n'utilisent/entretiennent leurs champs manuellement (usage de la houe) tandis que seulement 18,1% font usage des produits phytosanitaires (herbicide).

Tableau 2. Facteurs de production

Variables	Modalités	Fréquences absolues	Fréquences relatives (%)
Modes d'accès à la terre	Héritage	10	9,5
	Don	12	11,4
	Location	68	64,8
	Emprunt	3	2,9
	Métayage	12	11,4
Type de main d'œuvre	Familiale	17	16,2
	Occasionnelle	5	4,8
	Familiale et occasionnelle	83	79
Type de capital	Fonds propres	93	88,6
	Fonds étrangers	12	11,4
Type d'intrants agricoles	Semence	Locales	59
		Améliorées	41
	Herbicides	Oui	18,1
		Non	81,9

4.2 CARACTÉRISTIQUE SOCIO DÉMOGRAPHIQUE DES ENQUÊTÉS

L'analyse du tableau 3 ressort que la plupart des producteurs enquêtés n'ont aucun niveau d'instruction (51,4%). Le soja était une culture principale pour seulement 6,7% des enquêtés. De ce même tableau, les producteurs de soja ont très peu accès au crédit agricole (11,4%). En moyenne, chaque exploitation productrice de soja enquêtée disposait de 5 ($\pm 2,05$) actifs agricoles. En ce concerne leur expérience dans la production de soja, elle était environs de 3,5 ($\pm 2,10$) ans.

Tableau 3. Caractéristiques socioéconomiques

Variables qualitatives	Modalités	Utilisation de l'inoculum				Ensemble	
		Oui		Non			
		FA	FR (%)	FA	FR (%)	FA	FR (%)
Instruction	Oui	26	55,3	25	43,1	51	48,6
	Non	21	44,7	33	56,9	54	51,4
Soja comme culture principale	Oui	5	10,6	2	3,4	7	6,7
	Non	42	89,4	56	96,6	98	93,3
Accès au crédit agricole	Oui	10	21,3	2	3,4	12	11,4
	Non	37	78,7	56	96,6	93	88,6
Variables quantitatives	Utilisation de l'inoculum					Ensemble	
	Oui		Non				
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-types	
Nombre d'actifs agricoles	5,09	2,385	4,34	1,692	5	2,055	
Expérience dans la production du soja	4,28	2,764	2,86	0,999	3,50	2,104	

FA=Fréquence absolue; FR=fréquence relative

4.3 DÉTERMINANTS DES SYSTÈMES DE PRODUCTION DE SOJA À BASE DE L'INOCULUM

Le tableau 4 montre que le modèle estimé est globalement significatif au seuil de 1% (Prob > chi2=0,0000). De ce même tableau, il ressort que trois (03) variables sur cinq (05) expliquaient de manière significative la pratique du système de production basé sur l'utilisation de l'inoculum dans la zone d'étude. Il s'agit du nombre d'actifs agricole dans le ménage, l'expérience dans la production de soja et l'accès au crédit.

4.3.1 FACTEURS SOCIOÉCONOMIQUES

Le nombre d'actifs agricole avait un effet positif et significatif au seuil de 10% sur la pratique du système de production basé sur l'utilisation de l'inoculum. Lorsque le nombre d'actifs dans le ménage augmente d'une unité (personne), la probabilité pour que le producteur pratique ce système de production augmente de 0,04% point (pp).

L'expérience dans la production de soja a une influence positive et significative sur la pratique du système de production basé sur l'utilisation de l'inoculum au seuil de 1%. En effet, être plus expérimenté d'un an (1an), augmente de 0, 13% point (pp) la probabilité de pratiquer de ce système de production.

4.3.2 FACTEURS INSTITUTIONNELS

L'accès au crédit agricole influence positivement et de manière significative (au seuil de 10%) la pratique du système de production basé sur l'inoculation de la semence. La probabilité du producteur de pratiquer ce système augmente de 0,28 % point (pp). En outre, bien que les variables comme le soja comme culture principale et l'instruction des producteurs ne soient pas significatives, elles expliquent la pratique du système de production basé sur l'inoculation des semences de soja.

Tableau 4. Résultats du modèle d'estimation

Système de production	Coefficients (Erreur-type)	Effets marginaux (Erreur-type)	P>z
Nombre d'actifs dans le ménage	0,24 (0,14)	0,04 (0,02)	0,096
Expérience en production de soja	0,74 (0,23)	0,13 (0,03)	0,001
Soja comme culture principale	0,85 (1,03)	0,15 (0,19)	0,411
Accès au crédit agricole	1,54 (0,87)	0,28 (0,15)	0,079
Instruction	0,45 (0,46)	0,08 (0,08)	0,326
Constante	-4,23 (1,10)	-	0,000

Nombre d'observation = 105
 LR chi2 (5) = 29,30
 Prob > chi2 = 0,00
 Log likelihood = -57,55
 Pseudo R2 = 0,20

4.4 INDICE DE PROFITABILITÉ DES SYSTÈMES DE PRODUCTION À BASE DE L'INOCULUM

Le tableau 5 renseigne les indices de profitabilité des producteurs de soja en fonction de leur système de production. De ce tableau, il ressort qu'il existe une différence significative au seuil de 1% pour le rendement, le produit brut, la charge variable, la marge brute et la marge nette des systèmes de production avec utilisation ou non de l'inoculum de soja.

En effet, le rendement moyen du système avec l'utilisation de l'inoculum est de 1543 kg tandis que celui du système sans l'utilisation de l'inoculum est de 1076,08 Kg. De même, le produit brut en valeur de ces deux systèmes était respectivement de 323786 FCFA/Ha et 217374 FCFA/Ha.

L'analyse de la charge variable moyenne montrait que par hectare, les producteurs ayant utilisé l'inoculum dépensaient plus que ceux qui ne l'avaient pas utilisé (81 223 FCFA/HA contre 51 764 FCFA/HA). La différence ici était de 29 458 F CFA/ha et pouvait être due aux coûts supplémentaires de production qu'engendrait l'utilisation de l'inoculum.

Quant à la charge fixe moyenne par hectare, elle était approximativement la même au sein des deux systèmes de production (23002 FCFA/Ha pour les producteurs ayant utilisé l'inoculum contre 24 640 FCFA/Ha pour les producteurs n'ayant pas utilisé l'inoculum). Cette différence non significative observée (1638, 421 FCFA/Ha) serait due au fait que les composantes du coût fixe ne varient pas selon l'utilisation ou non de l'inoculum.

La Marge Brute (MB) de production par hectare du système de production avec utilisation de l'inoculum est supérieure à celle du système sans utilisation de l'inoculum. Cette différence de moyenne de 76954 FCFA/Ha observée est significative au seuil de 1%.

Le même constat est observé au niveau de la Marge Nette de production avec une différence significative au seuil de 1% de la moyenne (78592 FCFA/Ha).

Toutefois, le ratio bénéfice coût du système de production avec utilisation de l'inoculum est de 3,29. Ceci traduit que le producteur pratiquant ce système de production gagne 3,29 FCFA quand il investit 1FCFA. Comparativement le système de production sans utilisation de l'inoculum à 3,19 comme Ratio bénéfice coût. Lorsque ce producteur dépense 1FCFA, cela lui génère 3,19 FCFA. La différence de moyenne (0,09) observée n'est cependant pas significative.

Tableau 5. Indice de profitabilité des systèmes de production

	Utilisation de l'inoculum		t de student
	Non	Oui	
Rendement (Kg/Ha)	1076,08 (191,76)	1543,44 (213,78)	t=-11,7948; ddl= 103; p=0,000
Produit brut (FCFA/Ha)	217374,4 (47594,1)	323786,4 (61249,84)	t=-10,0184; ddl= 103; p=0,000
Charge variable (FCFA/Ha)	51764,44 (26491,03)	81222,78 (28115,3)	t=-5,5126; ddl1= 103; p=0,000
Charge fixe (FCFA/Ha)	24640,43 (19737,06)	23002,01 (12717,03)	t= 0,6881; ddl1= 103; p= 0,4921
Coût total de production (FCFA/Ha)	76404,86 (30129,23)	104224,8 (33933,93)	t= -4,4457; ddl1= 103; p= 0,000
Marge brute (FCFA/Ha)	165610 (47569,49)	242563,6 (48030,94)	t=-8,2070; ddl1= 103; p= 0,000
Marge nette (FCFA/Ha)	140969,5 (51804,49)	219561,6 (46460,25)	t=-8,0917; ddl1= 103; p= 0,000
Ratio bénéfice coût	3,194324 (1,229736)	3,292071 (,7491615)	t= -0,4776; ddl1=103; p=0,6340

5 DISCUSSION

5.1 DÉTERMINANTS DE LA PRATIQUE DU SYSTÈME DE PRODUCTION DE SOJA BASÉ SUR L'UTILISATION DE L'INOCULUM

La régression effectuée a montré que la pratique système de production basé sur l'utilisation de l'inoculum serait exigeante en main d'œuvre agricole compte tenu de l'effet positif du nombre de personne actif dans le ménage, collaborant donc les résultats de [16] et de [17]. De plus, l'expérience dans la production de soja influence positivement la pratique de ce système de production. Ceci s'explique par le fait que les producteurs sont retissent lors de l'adoption d'une nouvelle innovation et n'aimeraient pas servir de cobaye. Il préfère prendre du temps pour mieux observer l'innovation. Ce résultat est contraire à celui de [18]. L'inoculum de soja est acheté par les producteurs eux même. Ils ont donc plus de pouvoir d'achat de ce produit quant- ils disposent de ressources financières. Autrement dit, les producteurs sont contraints de ne pas utiliser l'inoculum lorsqu'ils n'ont pas accès au crédit agricole. Ceci justifie l'effet significatif que l'accès au crédit agricole avait sur la pratique de ce système de production. Plusieurs études ont montré que l'accès au crédit influence positivement l'adoption d'une nouvelle technologie [19]. Toutefois, ce résultat est contraire à celui de [18].

5.2 INDICE DE PROFITABILITÉ DES SYSTÈMES DE PRODUCTION

La production de soja à l'hectare était sensiblement égale à une tonne (1T) au sein du système de production sans utilisation de l'inoculum mais dépassait les 1,5 tonnes au sein du système de production avec utilisation de l'inoculum. Les producteurs de soja utilisant l'inoculum, toutes choses étant égales par ailleurs obtenaient un meilleur rendement. Nos résultats sont conformes à ceux de [20] et de [5] qui ont montré que le rendement obtenu est élevé lorsqu'on inocule les semences de soja. L'inoculation provoquait la nodulation et a améliorait ainsi les rendements en biomasse et en graines. Cette augmentation du rendement ce traduit nécessairement par les coûts dépensés pour les intrants agricoles. La différence de moyenne des charges variables entre le système de production basé sur l'utilisation ou non de l'inoculum était significative. Les producteurs utilisant

donc l'inoculum dépensait plus dans l'achat de ce produit que ceux qui ne l'utilisent pas. Quant à la marge nette de production du système de production avec utilisation de l'inoculum, elle est aussi significativement supérieure celle du système sans utilisation de l'inoculum, bien qu'ils soient tous rentables. La production de soja demeure rentable mais plus intéressante lorsqu'on inocule les semences. Ces résultats vont dans le même sens que les résultats de [22] et de [23] qui ont tous montré que l'inoculation de rhizobium était seul le paquet le plus rentable que toutes les autres options testées. Par ailleurs, le ratio bénéfice coût des systèmes de production ne sont pas significativement différent même si celui du système de production avec utilisation de l'inoculum est légèrement supérieur au système de production sans utilisation de l'inoculum. Ceci s'expliquerait par le fait que la charge variable du premier système est supérieure à celui du second système. La formule du ratio bénéfice coût l'explique clairement. Plus le dénominateur (Charge variable) est grand, le RBC diminuera.

6 CONCLUSION

Au terme de cette recherche, nous avons montré que le nombre d'actifs agricole, l'expérience dans la production de soja et l'accès au crédit agricole sont les facteurs qui expliquaient la pratique du système de production de soja basé sur l'utilisation de l'inoculum. De plus, nous avons montré que la marge nette des producteurs qui pratiquent ce système était significativement supérieure à ceux qui ne le pratiquent pas. Par ailleurs, le ratio bénéfice coût était presque les mêmes au sein des deux systèmes compte tenu des coûts d'acquisitions de l'inoculum.

REFERENCES

- [1] A. Badou, P. T. Akondé, A. Adjahoun, I. T. Adjé, K. Aïhou, et A. M. Igué, « Effets de différents modes de gestion des résidus de soja sur le rendement du maïs dans deux zones agroécologiques du Centre-Bénin », *Bull. Rech. Agron. Bénin BRAB Numéro Spéc. Fertil. Maïs-Janvier*, 2013.
- [2] J. Nieuwelink, AD10F La culture du soja et d'autres légumineuses. Agromisa Foundation, 2005.
- [3] B. V. Bado, « Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina Faso », 2002.
- [4] B. Ballo, L. Turquin, et M. N. N'Gbesso, « Effet de l'inoculum bactérien de la souche IRAT-FA 3 de *Bradyrhizobium japonicum* sur la croissance et la nodulation de 3 variétés de soja cultivées en Côte d'Ivoire », *Agron. Afr.*, vol. 31, no 1, p. 11–20, 2019.
- [5] H. M. J. Pierre, A. C. Samine, G. SEMACUMU, et D. Constantin, « Effet de l'inoculation au rhizobium et de la fertilisation au triple super phosphate sur le comportement des variétés du soja », *Ann. L'UNIGOM*, vol. 6, no 2, 2016.
- [6] S. C.-G. Assogba et al., « La Gestion Durable des Terres: Analyse d'expériences de projets de développement agricole au Bénin », *Potsdam Ger.*, 2017.
- [7] R. J. Carsky, B. Douthwaite, V.M. Manyong, N. Sanginga, S. Schulz, B. Vanlauwe, J. Diels et J.D.H. Keatinge, « Amélioration de la gestion des sols par l'introduction de légumineuses dans les systèmes céréaliers des savanes africaines », *Cah. Agric.*, vol. 12, no 4, p. 227–233, 2003.
- [8] J. Brossier, « Système et système de production », *Cah. Sci. Hum.*, vol. 23, 1987.
- [9] J. C. de Lauwe et J. Poitevin, *Gestion des exploitations agricoles*, vol. 2. Dunod, 1957.
- [10] C. Reboul, « Mode de production et systèmes de culture et d'élevage », *Econ. Rurale*, vol. 112, no 1, p. 55–65, 1976.
- [11] H. Cochet et S. Devienne, « Fonctionnement et performances économiques des systèmes de production agricole: une démarche à l'échelle régionale », *Cah. Agric.*, vol. 15, no 6, p. 578–583, 2006.
- [12] G. Teno, K. Lehrer, et A. Kone, « Les facteurs de l'adoption des nouvelles technologies en agriculture en Afrique Subsaharienne: une revue de la littérature », *Afr. J. Agric. Resour. Econ.*, vol. 13, no 311-2018-3120, p. 140–151, 2018.
- [13] K. Mujinga et N. Afumba, « Déterminants De La Mécanisation Agricole À Kimpese Dans La Province Du Kongo Central », 2018.
- [14] E. Sodjinou, *Guide pratique d'analyse financière d'une entreprise agricole: Théorie et application à la pisciculture*. 2016.
- [15] J. A. Yabi, A. Paraïso, R. N. Yegbemey, et P. Chanou, « Rentabilité Economique des Systèmes Rizicoles de la Commune de Malanville au Nord-Est du Bénin », *Bull. Rech. Agron. Bénin BRAB Numéro Spéc. Prod. Végétales Anim. Econ. Sociol. Rural.*, p. 12, 2012.
- [16] H. Sigue, I. A. Labiyi, J. A. Yabi, et G. Biaou, « Facteurs d'adoption de la technologie " Microdose " dans les zones agroécologiques au Burkina Faso », *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 12, no 5, p. 2030–2043, 2018.
- [17] M. Koutou, M. Havard, D. Ouedraogo, M. Sangaré, A. Toillier, T. Thombiano et S.D. Vodouhé, « Facteurs d'adoption des innovations d'intégration agriculture-élevage: cas du *Mucuna pruriens* en zone cotonnière ouest du Burkina Faso », 2016.
- [18] E. Sodjinou, L. C. Glin, G. Nicolay, S. Tovignan, et J. Hinvi, « Socioeconomic determinants of organic cotton adoption in Benin, West Africa », *Agric. Food Econ.*, vol. 3, no 1, p. 12, 2015.
- [19] K. F. DOSSA et E. MIASSI, « Facteurs Socio-Economiques Influençant L'adoption de Coton Biologique au Nord-Est du Bénin: Cas de la Commune de Kandi », *IJPSAT*, vol. 6, no 2, p. 577–584, 2018.

- [20] T. J. Ama-Abina, G. F. Buegre, M. F. D. N'gbesso, N. D. Brou, et G. R. Yoro, « Effets d'un herbicide et de l'inoculation sur les facteurs de rendement du soja cultivé sur un sol gravillonnaire de plateau », *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 6, no 5, p. 1970–1978, 2012.
- [21] E. V. Tairo et P. A. Ndakidemi, « Yields and economic benefits of soybean (*Glycine max* L.) as affected by *Bradyrhizobium japonicum* inoculation and phosphorus supplementation », *Am. J. Res. Commun.*, vol. 1, no 11, p. 159–172, 2013.
- [22] B. D. K. Ahiabor, S. Lamptey, S. Yeboah, et V. Bahari, « Application of phosphorus fertilizer on soybean [(*Glycine max* L. (Merril))] inoculated with rhizobium and its economic implication to farmers », *J. Exp. Agric. Int.*, p. 1420–1434, 2014.
- [23] M. Ouédraogo et D. Dakouo, « Evaluation de l'adoption des variétés de riz NERICA dans l'Ouest du Burkina Faso », *Afr. J. Agric. Resour. Econ.*, vol. 12, no 311-2017-726, p. 1–16, 2017.
- [24] K. P. Degla, « Rentabilité économique et financière des exploitations cotonnières basées sur la Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols et des Ravageurs au Nord-Bénin », *Bull. Rech. Agron. Bénin BRAB Numéro Spéc. Coton Sept.*, p. 26–35, 2012.
- [25] O. H. Issoufou, S. Boubacar, T. Adam, et B. Yamba, « Déterminants de l'adoption et impact des variétés améliorées sur la productivité du mil au Niger », *Afr. Crop Sci. J.*, vol. 25, no 2, p. 207–220, 2017.

Production Planning under uncertainty in the aerospace companies in Morocco: State of the art

Soumaya Idrissi Jazouli¹, Kenza Sahaf², and Said Rifai²

¹Industrial Engineering, ENSEM School of Engineering, University Hassan II, Casablanca, Morocco

²LMPGI Research Laboratory, ESTC High school of Technology, University Hassan II, Casablanca, Morocco

Copyright © 2021 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: Nowadays, manufacturing companies, especially aeronautical ones must be at the forefront of technology in terms of new products, flexibility and performance. Indeed, the key indicator logistic for any company wishing to remain competitive in the market is: the OTD (On Time delivery= Customer Service Rate).

This paper reviews some of the existing literature review of production planning, uncertainty and some solution approaches for the following production planning under uncertainty over the past decade.

The purpose of this article is to provide the reader with a starting point about production planning problems under uncertainties with some optimization methods existing through literature.

KEYWORDS: Production Planning, Uncertainty, DDMRP, Aerospace, Morocco, Flexible manufacturing System and Supply chain uncertainty.

1 INTRODUCTION

In today's unstable market environment, companies need to integrate demand uncertainty into their planning methods in order to better manage their resources and preserve their performance. Hence the need for planning tools to enable companies to overcome market fluctuations related to an uncertain and turbulent economic environment. Supply chains such as those in the aeronautics sector manufacture products to order, but also use standard components that are manufactured from stock (e.g. pitot probes, portholes, etc.) [1].

This paper seeks to provide a synthesis of the art of research that deals with the problems related to production planning under uncertainties, and mainly answers the following question: How is it possible to establish a production schedule under several unpredictable disruptions?

It is in this context that our research work aims to choose a well-adapted method of optimization to manage production within an aeronautical firm.

Section 2 of this article is devoted to production planning, these specific types and resolution approaches. In section 3, we discuss various facets of uncertainty and their sources; section 4 is devoted to Aerospace Industry in Morocco. And we conclude by presenting our conclusion and perspective.

2 MODELS FOR PRODUCTION PLANNING AND THEIR RESOLUTION APPROACHES

The industrial environment is undergoing a technological and organizational transformation under the era of the fourth industrial revolution, Industry 4.0.

This environment, particularly in the aerospace sector, is a source of increased competition, varied market demands, specific customer needs, a wide variety of products, high standards of delivery time, rising labor costs, and reduced manufacturing capacity. This has an impact on the manufacturing environment, which requires a planning system that balances customer satisfaction with

efficient use of production resources, while taking corrective action in real time when deviations from initial plans occur. To do so, production planning systems adapted to the complex context must collect real-time data to monitor manufacturing processes and identify any significant disruptions [2].

Recent research has shown that manual solutions (such as Excel) and ERP (Enterprise Resource Planning) systems still form the basis of production planning activities in industrial contexts. Moreover, the use of traditional planning tools has multiple problems: [3]

- **From a technical point of view:** data interoperability, the evaluation of the solution is limited and takes a lot of time, it is possible that the data may become false without the planner's knowledge.
- **From a practical point of view:** these solutions do not respect all the constraints of the actual systems and the load and capacity are not balanced, which inevitably leads to stock-outs.

Anthony distinguished three levels of production planning according to the length of the planning horizon: long term (strategic planning), medium term (tactical planning) and short term (operational planning). The time dimension differs from one industry to another as shown in table 1 [4].

Table 1. Types of level's planning

Planning level	Example	Horizon
Long term (Strategic planning)	• Search for new industrial partners, • Selection of suppliers and sub-contractors, • Opening, closing or relocation of production sites, • Development of a new product, • Plant configuration,	From 1 to 5 years
Medium term (Tactical planning)	• Master production schedule • Resource load balancing	From 3 to 6 months
Short term (Operational planning)	• Scheduling, • Workshop monitoring, • Dispatching rules	From 1 to 6 weeks

2.1 MODELS OF PRODUCTION PLANNING

From Wikipedia, Production planning is the planning of production and manufacturing modules in a company or industry. It utilizes the resource allocation of activities of employees, materials and production capacity, in order to serve different customers [5].

And different types of production planning can be applied:

2.1.1 ADVANCED PLANNING AND SCHEDULING

The term Advanced Planning and Scheduling (APS) encompasses a wide variety of software tools and techniques, with many applications in manufacturing and logistics (including the service sector).

APS systems are decision support tools for planning and scheduling that use computer-based optimization.

For planners, APS systems quickly analyses the implications of alternative decisions, highlight consequences and problems, and generate optimal or near-optimal plans and schedules.

APS systems provide better information (and recommendations) on which planners and managers can base their decisions. Fast-moving environments with large numbers of items, orders, machines and people are difficult to plan effectively, as are environments with complex constraints. In such industries (High tech, CPG, third party logistics, and capacity constrained industries such as Process manufacturing) APS provides significant assistance [6].

2.1.2 CAPACITY PLANNING

In the context of manufacturing systems, Capacity planning is the goal of figuring out the realistic capacity of the shop floor to meet the demand for products within a certain period, to increase your profits and minimize your costs.

These plans can be developed for short- or long-term goals.

When you look at what is production capacity planning, you can think of it as something that's put together based on: [7]

- The number of workers on your shop floor;
- The skill of your workers;
- The number of machines;
- Wastage;
- Your scrap;
- Defects;
- Mistakes;
- Your productivity levels;
- Suppliers;
- Governmental regulations; and
- Predictive maintenance.

2.1.3 MASTER PRODUCTION SCHEDULE

According to **the business dictionary**, a master production schedule translates a business plan into a comprehensive product manufacturing schedule that covers what is to be assembled or made, when, with what materials acquired when, and the cash required. MPS is a key component of material requirements planning (MRP). It sets the quantity of each end item to be completed in each week of a short-range planning period. This period varies from a week to a month depending upon the industry.

It is more helpful for production, planning, purchasing and top management by giving them the information needed to plan and control manufacturing operation.

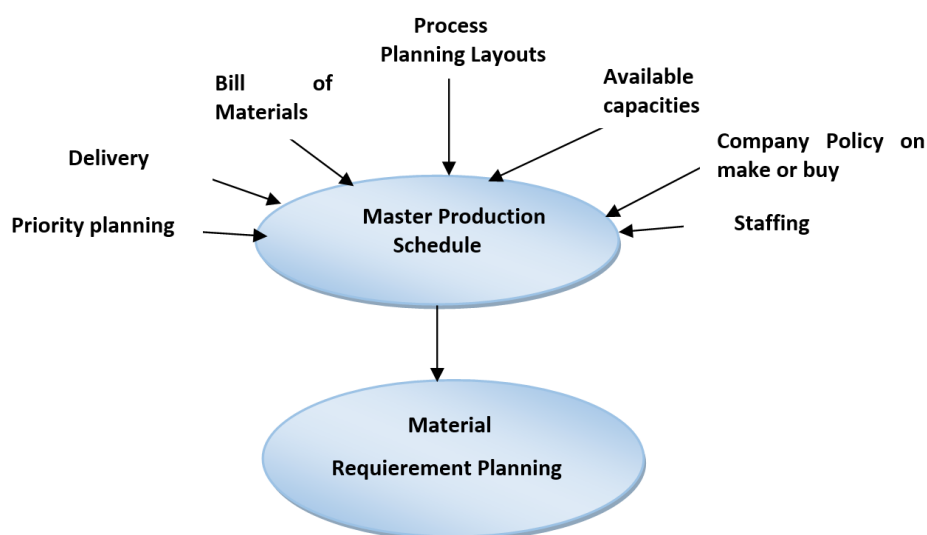


Fig. 1. Basic Input data for MPS, Master Production Schedule [8]

2.1.4 MATERIAL REQUIREMENT PLANNING

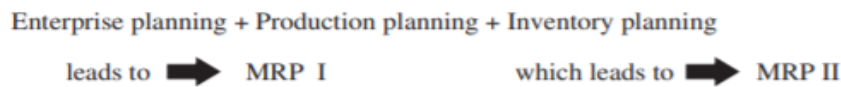
APICS (2016: pp. 110) defines MRP as “a set of techniques that uses BOM data, inventory data, and the Master Production Schedule (MPS) to calculate requirements for materials. It makes recommendations to release replenishment orders for material”.

During the mid-1960s, many firms converted from Reorder Point system to MRP, thereby reducing inventory holding cost, improving customer service and streamlining operations with less need for shipments. Nonetheless, many authors have analyzed MRP and have concluded that it is not the best MPC system to deal with a volatile and variable world. In addition, MRP is fed by the forecast of the demand for the end-product, causing uncertainty and system nervousness. This leads to unacceptable inventory performance and service level, high shipping-related expenses and waste, and lack of visibility causing a bullwhip effect [9].

2.1.5 MANUFACTURING RESOURCE PLANNING

MRP II is a company-wide computer-aided system for managing all the resources of a manufacturing company. Manufacturing resource planning (MRP II) helps management to plan for all the resources required for production, including the equipment,

manpower, finance, production planning and control requirements, standard costing, etc. It provides management with important details about the right time of when to order, or how much to order from suppliers, as well as the generation of new orders and rescheduling of orders, all of which are necessary to meet the ever-changing needs of customers and the entire manufacturing process. We can hence say that: [10]



2.1.6 SCHEDULING

Scheduling is the process of arranging, controlling and optimizing work and workloads in a production process.

Production scheduling is one of the most important activities of a company at the operational level for it to remain competitive in demanding consumer markets. Morton and Pentico argue that scheduling refers to the process of organizing, choosing and scheduling the resources to do all the activities necessary to meet customer demand. From this point of view, scheduling has a strategic role in the company, in contrast to many approaches that consider their importance restricted only to the shop floor [11].

2.1.7 WORKFLOW

Workflow is a generic term for the sequential movement of information or materials from one activity in a process or sub process to another in the same overall process. As applied in the CBOK, this is the aggregation of activity within a single Business Unit. Activity will be a combination of work from one or more processes. Organization of this work will be around efficiency.

The activities in the workflow will be shown as a flow that describes each activity's relationship with all the others performed in the Business Unit. Modeling will show this work as a flow that describes each activity's relationship with all the others performed in the Business Unit.

Workflows can be manual, automated, or more likely a combination of both. Workflow models often include both the diagram and the specific rules that define the flow of information from one activity to the next. When used in conjunction with the workflow system or engine, it usually refers to a software-based workflow system that will move information from a database to one computer or organization after the other [12].

Source: Guide to the Business Process Management Body of Knowledge – ABPMP BPM CBOK on Amazon.

2.2 RESOLUTION APPROACHES

The resolution approach is the last axis of that section; the categories for this axis have been established from the following methods of calculation used by the authors in literature. They have been grouped into the following approaches: [2], [4]

- Classical techniques such as MRP, MRPII, JIT and TOC
- Optimization methods
- Simulation models
- Artificial intelligence

2.2.1 CLASSICAL TECHNIQUES

Among the most classical industrial techniques of production planning and the most widespread are the Material Requirement Planning (**MRP**) technique introduced by Orlicky in 1975 which allows the calculation of the requirements for components without capacity and its evolution, and the Manufacturing Resource Planning (**MRPII**) technique developed by Wight in 1981 which integrates a system that adjusts capacity levels.

These techniques aim to generate production plans on the basis of orders which represent the input data. The main concept of the MRP method, in the generation of these plans, is to consider a fixed cycle time (or lead time) and an infinite capacity of machines.

In addition to the MRP technique and its evolutions, there are other classical techniques such as: Just in Time (**JIT**) method and the theory of constraints (**TOC**) [9].

- **The APICS Dictionary** defines **JIT** as: "A philosophy of manufacturing based on planned elimination of all waste and on continuous improvement of productivity. ... The primary elements of [**JIT**] are to have only the required inventory when needed; to improve quality to zero defects; to reduce lead times by reducing setup times, queue lengths and lot sizes; to incrementally revise the operations themselves; and to accomplish these activities at minimum cost."

- **TOC** is a holistic management philosophy based on the principle that complex systems exhibit inherent simplicity. Every system has at least one constraint that limits the ability to generate more of the goal of the system (APICS, 2016: pp. 187).

2.2.2 OPTIMIZATION METHODS

Among the approaches to resolution by optimization, three groups were identified: the exact methods, metaheuristics and heuristics. The first group brings together the following techniques: constraint programming, linear programming and the separation algorithm and evaluation (branch and bound). Metaheuristic is a stochastic approach which aims to find an optimal solution through processes iterative. Strongly inspired by natural systems, these algorithms take as basis physical phenomena (algorithm of simulated annealing), genetics (genetic algorithm) and behavior animals (ant colony algorithm). This inspiration in natural phenomena is the main difference with the heuristics, which seeks to find feasible solutions, but not necessarily optimal or exact [2].

2.2.3 SIMULATION METHODS

Simulation is a technique for evaluating the performance of a system based on the development of different scenarios based on a virtual model of this system. It can be considered as the emulation of the behavior of a real-world system over an interval of time. The process of simulation relies upon the generation of the history of a system and then analyzing that history to predict the outcome and improve the working of real systems.

Some of types of simulation were identified in the sample research: discrete-event simulation, discrete-event systems, and multi-agent and digital twin [2].

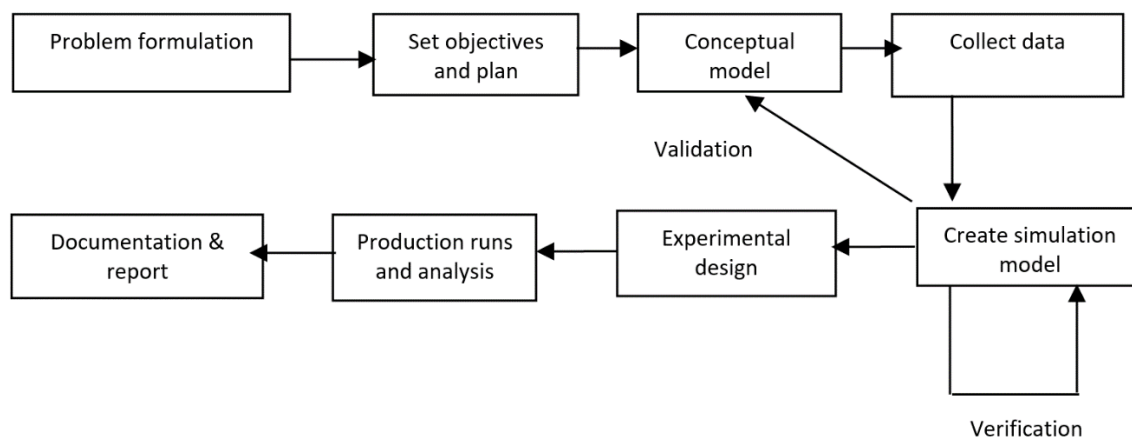


Fig. 2. Steps in a simulation study [13]

2.2.4 ARTIFICIAL INTELLIGENCE

With the power of today's information technology, ever faster Internet connections and machine learning algorithms, the supply chain can rely on artificial intelligence (AI) to optimize its processes like: Planning production.

AI is a branch of computer science that is looking to program machines to solve problems, learn, plan, manipulate and move objects. It aims at generating output data based on the identification of trends by classification of the input data and numerical regressions.

Thus, the artificial intelligence has a possibility to anticipate, according to the many parameters (supply of raw materials, production speed, and time of year...) what will especially suggest according to these parameters, an optimal action plan for the production site and its various lines [2].

3 FACETS OF UNCERTAINTY AND THEIR SOURCES

In this section we identify and discuss the major types of uncertainty that arise in manufacturing contexts and that can affect a production plan through literature. Before, it is necessary first to define it;

Table 2. Definition of Uncertainty

Authors	Definition	Reference
Galbraith	Uncertainty as the difference between the amount of information required to perform a task and the amount of information already possessed. In the real world, there are many forms of uncertainty that affect production processes	[14]
Ho	Categorizes them into two groups: (i) environmental uncertainty and (ii) system uncertainty. Environmental uncertainty includes uncertainties beyond the production process, such as demand uncertainty and supply uncertainty. System uncertainty is related to uncertainties within the production process, such as operation yield uncertainty, production lead time uncertainty, quality uncertainty, failure of production system and changes to product structure, to mention some.	[14]

Through the literature, we find Three major types of uncertainty that arise in manufacturing contexts.

3.1 TYPES OF UNCERTAINTY

3.1.1 UNCERTAINTY IN DEMAND FORECAST

Nowadays, all production plans rely on a demand forecast as an input, this is usually the largest and significant source of uncertainty. In order to get more and better information about future demand, companies update their forecasts regularly (basically each week).

Forecasts are never perfect and may contain incorrect data; To address the uncertainty due to forecasts, we should characterize the forecast errors. Typically, we will view the forecast errors as random variables for which we will want to know (at least) the first two moments. It is important to recognize here that the forecast for a particular product is usually a vector of forecasts, which cover the planning horizon. That is, at any time t , for each product we have a forecast for future time periods $t+i$, for $i = 1, \dots, H$, where H is the planning horizon. Thus, we have H forecasts; for instance, if we have weekly time periods, then we have a one-week forecast, a two-week forecast and so on. We then need to characterize the errors for each type of forecast, as each forecast has a different impact on the production plan [15], [16], [17].

3.1.2 UNCERTAINTY IN EXTERNAL SUPPLY PROCESS

A production plan cannot be achieved if we do not put in place orders on suppliers. Furthermore, the production plan has expectations on the fulfillment of these orders. For example, a plan might initiate an order for ten steel plates of a certain dimension and grade, and then expect that these plates will arrive and be available for processing according to a stated lead time of, say, eight weeks. Nevertheless, there can be uncertainty in the delivery date due to uncertainty and capacity constraints in the supplier's manufacturing and distribution processes; for instance, the order might not arrive until ten weeks due to a work stoppage or delays attributable to the weather. Otherwise, in some contexts the uncertainty can be related to the amount of delivery. For instance, a supplier might be permitted by 4 contracts to deliver plus or minus 10% of the amount ordered; in other contexts, the buyer might reject some portion of the delivery due to quality considerations. To model this uncertainty, one needs to characterize the uncertainty in the replenishment lead times and in the replenishment quantities [15], [16], [17].

3.1.3 UNCERTAINTY IN INTERNAL SUPPLY PROCESS

As there is uncertainty associated with external supply process, there is also uncertainty associated with internal supply. Such as, job or work orders placed on the internal manufacturing, transportation and supply processes. For example, in the manufacture of semiconductors, that is, a plan might set the number of wafers starts into a semiconductor fabrication (fab) facility with expectations on both the yield from these wafers and the flow time or process duration for these wafers within the fab. Again, there is uncertainty on both accounts. the work-in-process in the shop, the equipment availability and the dispatch rules are the factors that impact completion time. the wafer yield is inherently random and depends on numerous process factors and conditions. Again, one needs to characterize the uncertainty in the flow or process lead times and in the yield quantities for each process step [15], [16], [17].

3.2 SOURCES OF UNCERTAINTY

The following table provides a total of fourteen sources of uncertainty that have been identified.

Table 3. Sources of Uncertainty [17]

Factors / Variables	Description & Key Literature
Product Characteristics	Product life cycle, packaging, perishability, mix or specification Miller (1992), van der Vorst & Beulens (2002), Yang et al. (2004), van Donk and van der Vaart (2005)
Process/Manufacturing	Machine break downs, labour problems, process reliability, etc Miller (1992), Davis (1993), Mason-Jones & Towill (1998), van der Vorst & Beulens (2002), Christopher & Peck (2004), Sheffi & Rice (2005), Sawhney (2006), Lockamy-III et al. (2008)
Control/Chaos/Response Uncertainty	Uncertainty as a result of control systems in the supply chain e.g. inappropriate assumptions in an MRP system Mason-Jones & Towill (1998), Wilding (1998), Christopher & Peck (2004), Rodrigues et al. (2008), Lockamy-III et al. (2008)
Decision complexity	Uncertainty that arises because of multiple dimensions in decision making process e.g. multiple goals, constraints, long term plan etc Van der Vorst & Beulens (2002), Prater (2005), Xu & Beamon (2006)
Organisation structure & Human behaviour	E.g. organisation culture Miller (1992), van der Vorst & Beulens (2002), Sheffi & Rice (2005)
IT/IS Complexity	The realization of threats to IT use in the application level, organizational level and inter-organizational level e.g. computer viruses, technical failure, unauthorized physical access, misuse, etc Bandyopadhyay et al. (1999), van der Vorst & Beulens (2002), Deane et al. (2009)
End Customer Demand	Irregular purchases or irregular orders from final recipient of product or service Miller (1992), Davis (1993), Fisher (1997), Mason-Jones & Towill (1998), van der Vorst & Beulens (2002), Christopher & Peck (2004), Yang et al. (2004), Prater (2005), van Donk & van der Vaart (2005), Rodrigues et al. (2008), Lockamy-III et al. (2008)
Demand Amplification	Amplification of demand due to the bullwhip effect Davis (1993), Fisher (1997), Mason-Jones & Towill (1998), Wilding (1998), Yang et al. (2004), Prater (2005), van Donk & van der Vaart (2005), Lockamy-III et al. (2008)
Supplier	Supplier performance issues, such as quality problems, late delivery etc Miller (1992), Davis (1993), Mason-Jones & Towill (1998), van der Vorst & Beulens (2002), Christopher & Peck (2004), Yang et al. (2004), Prater (2005), Sawhney (2006), Lockamy-III et al. (2008); Neiger et al. (2009)
Parallel interaction	Parallel interaction refers to the situation where there is interaction between different channels of the supply chain in the same tier Wilding (1998), van der Vorst & Beulens (2002), Prater (2005)
Order forecast horizon / Lead-time gap	The longer the horizon, the larger the forecast errors and hence there is greater uncertainty in the demand forecasts van der Vorst & Beulens (2002), van Donk & van der Vaart (2005)
Chain infrastructure & facilities	E.g. number of parties involved, facilities used or location, etc Miller (1992), van der Vorst & Beulens (2002)
Environment	E.g. Political, government policy, macroeconomic and social issues; competitor behaviour Miller (1992), Christopher & Peck (2004), Yang et al. (2004), Rodrigues et al. (2008); Boyle et al. (2008)
Disruption/Natural Uncertainties	E.g. earthquake, tsunamis, non-deterministic chaos etc. Miller (1992), Christopher & Peck (2004), Kleindorfer & Saad (2005), Prater (2005), Tang (2006), Tomlin (2006)

Because of increasing uncertainty, supply chain management is challenging. Organizations are facing the increasing competition among supply chains and business ecosystems.

4 AEROSPACE INDUSTRY IN MOROCCO

The history of Moroccan aviation coincides with that of the Royal Armed Forces (FAR), the Royal Air Maroc (RAM) and Morocco Aviation (EADS). Established in 1957, RAM develops an industrial center of aircraft maintenance at Casablanca airport. The

settlements of aerospace firms in 1990s favored labor pools around Casablanca, either integrated into the city nearest population areas or industrial areas. The focus was then is to move closer to the workforce. In 1999, SNECMA and RAM have created a joint venture, Snecma Morocco Engine Services (SMES) for the maintenance and repair of aircraft engines. SMES not only works for Airbus but also for global aircraft manufacturers such as Boeing, Embraer, Bombardier, Suiza, Messier Buggati, Dassault Facon. In 2001, SMES participated in a joint venture with Boeing and RAM to give birth to Matis Aerospace, specializing in The Development of Aerospace Sector in Morocco production of wiring harnesses for aircraft engines. Since then, the Safran group has attracted several of its subsidiaries to Morocco (Aircelle, Teuchos, Labinal Aerospace Morocco) and a number of subcontractors. Each of these subsidiaries in turn influenced the choice of location of its suppliers or subcontractors [18].

The Moroccan Aerospace industry is moving towards production (GIMAS, 2013). According to the Ministry of Industry, Trade and the Green and Digital Economy, there are currently more than 140 companies in the sector. These have created nearly 17,000 direct jobs and have achieved a turnover of 17.35 billion dirhams in 2018 [19].

5 CONCLUSION AND PERSPECTIVES

Production planning practioners are usually very well aware of the problems they are facing. Nowadays, they also have extensive information processing equipment and vast amounts of data at their disposal. Their standard question, however, is how to exploit that advanced information processing technology at their disposal? Recently, companies, particularly those Aerospace industries, have been affected by a variety of fluctuations in demand of customers, cancellation of requirement and rescheduling the customer need...etc caused by Covid-19. So that causes progressively a larger fluctuation at the other stages of supply chain including Production Planning. This study contributes to have an overview on existing types of production planning and their resolution approaches, then the different sources of uncertainties that can impact the production planning within the manufacturing companies.

The perspective of our work is to measure the more significant uncertainty impacting the production planning in the Moroccan aerospace companies, and also to establish a production schedule under that the unpredictable disruption.

REFERENCES

- [1] "La gestion de l'incertitude dans une chaîne logistique globale: une étude de cas dans le secteur informatique | Cairn.info", 11 octobre 2020, <https://www.cairn.info/revue-management-et-avenir-2012-1-page-78.htm#>.
- [2] Estefania Tobón Valencia et al., « Production Planning in the Fourth Industrial Revolution: A Literature Review », IFAC-PapersOnLine 52, no 13 (2019): 2158-63, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.525>.
- [3] Valencia et al. Estefania Tobon Valencia, Samir Lamouri, Robert Pellerin, Pascal Forget, Alexandre Moeuf. Planification de la production et Industrie 4.0: Revue de la littérature. 13ème Conférence internationale CIGI QUALITA, Jun 2019, Montréal, Canada. fhal-02475847f.
- [4] Emna Mhiri, « Planification de la production à capacité finie dans un contexte à forte variabilité, application à l'industrie des semi-conducteurs », s. d., 178.
- [5] "Production Planning", dans Wikipedia, 17 septembre 2020. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Production_planning&oldid=978935628.
- [6] "Advanced Planning and Scheduling | ORTEC", 16 novembre 2020. <https://ortec.com/fr/dictionnaire/advanced-planning-and-scheduling>.
- [7] "Rough Cut Capacity Planning: Is It Right for You?", Rough Cut Capacity Planning: Is it right for you ?, consulté le 15 janvier 2021, <https://katanamrp.com/blog/rough-cut-capacity-planning/>.
- [8] D.R. Kiran, « Master Production Schedules », dans Production Planning and Control (Elsevier, 2019), 331-44, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818364-9.00023-8>.
- [9] Alaitz Kortabarria et al., « Material Management without Forecasting: From MRP to Demand Driven MRP », Journal of Industrial Engineering and Management 11, no 4 (27 septembre 2018): 632, <https://doi.org/10.3926/jiem.2654>.
- [10] D.R. Kiran, « Manufacturing Resource Planning (MRP II) », dans Production Planning and Control (Elsevier, 2019), 441-55, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818364-9.00031-7>.
- [11] Helio Yochihiro Fuchigami et Socorro Rangel, « A Survey of Case Studies in Production Scheduling: Analysis and Perspectives », Journal of Computational Science 25 (mars 2018): 425-36, <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2017.06.004>.
- [12] "What Is Workflow? Click to Read the Definition and Meaning", HEFLO BPM (blog), consulté le 16 janvier 2021, <https://www.heflo.com/definitions/what-is-workflow/>.
- [13] Prateek Sharma, « Discrete-Event Simulation » 4, no 04 (2015): 5.
- [14] Josefa Mula et al., « Model for production planning under uncertainty: A review », International Journal of Production Economics 103 (1 septembre 2006): 271-85, <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2005.09.001>.
- [15] Stephen Graves, « Uncertainty and Production Planning », dans Planning Production and Inventories in the Extended Enterprise, vol. 151, 2011, 83-101, https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6485-4_5.

- [16] E. Simangunsong, L.C. Hendry, et M. Stevenson, « Supply-Chain Uncertainty: A Review and Theoretical Foundation for Future Research », *International Journal of Production Research* 50, no 16 (15 août 2012): 4493-4523.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2011.613864>.
- [17] Brian Fynes, Seán de Búrca, et Donna Marshall, « Environmental Uncertainty, Supply Chain Relationship Quality and Performance », *Journal of Purchasing and Supply Management* 10, no 4-5 (juillet 2004): 179-90.
<https://doi.org/10.1016/j.pursup.2004.11.003>.
- [18] « The Development of Aerospace Sector in Morocco »:, dans *Proceedings of the 3rd International Conference on Operations Research and Enterprise Systems (International Conference on Operations Research and Enterprise Systems, ESEO, Angers, Loire Valley, France: SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 2014)*, 264-70.
<https://doi.org/10.5220/0004861302640270>.
- [19] « AERONAUTIQUE | Ministère de l'Industrie, du Commerce et de l'Économie Verte et Numérique », consulté le 16 janvier 2021, <http://intilaka.mcinet.gov.ma/fr/content/aeronautique>.

Machinery and Calligraphy in Mounir Fatmi's Art

Rawya Aljared

Assistant Professor, Department of Art and Drawing, University of Jeddah, Jeddah, Saudi Arabia

Copyright © 2021 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 studies the relationship between modernity and cultural heritage in a globalized world through the work of contemporary Moroccan artist Mounir Fatmi (b. 1970), titled *Modern Times-A History of The Machine* (2010), *Speed City* (2010) and *Technologia* (2010). The paper looks specifically at how Fatmi's artwork understands modernity in the Arab world as hinted at by the inclusion of Arabic calligraphy by way of cultural reference. The machinery can be regarded as the Western project for modernism accompanied by industrialization. The Arab world and the Middle East in this discussion are used interchangeably. The paper shows how Fatmi's artwork highlights the relationship between the industrialized West and the fast growing and urbanized East. Thus, calligraphy in Fatmi's work can be viewed as traditional as well as contemporary; therefore, cultural heritage, in part, also defines modernity.

KEYWORDS: Modernity, calligraphy, contemporary art, painting and drawing, cultural heritage, machines.

1 INTRODUCTION

Mounir Fatmi the Moroccan artist who lives and works between Paris, France, and Tangier, Morocco, combines two realms within his art: the industrial and spiritual (Fatmi, M., 2015). Fatmi's practice of combining the two realms can be traced back to the after colonization, at a time when Arab intellectuals in the Middle East and North Africa were advancing an Arab project to transition to modernity, as opposed to the Western renaissance, in which a moral and ethical future stem from religion, and a material future stems from the modern secular world (Di-Capua, Y., 2015).

The paper discusses how his inclusion of the saw blades to hint at industrialization and modernism, combined with the repetitive and harmonic addition of Arabic calligraphy, poetic scripts and spiritual verses present an understanding of modernity in the Arab world, and possibly in the context of *al maghrib al-'arabī* (المغرب العربي 'the Arab Maghreb') or North Africa.

2 THE PAPER QUESTION

What is the relationship between modernity and cultural heritage in the Middle east? Who is the subject of the struggle against the machine in the modern world? Where does Fatmi place the subject of struggle in this piece?

2.1 MODERN TIMES—A HISTORY OF THE MACHINE

This piece is a large-scale video installation of projected images of calligraphy, systems of cogs, movement and architecture. The title is inspired by Charlie Chaplin's film *Modern Times*, (1936) where Chaplin plays Little Tramp, a lowly assembly line worker in a factory. This film highlights the struggle of the life of this worker against the machines of the modern world (Fatmi, M., 2012). The static circular calligraphic designs are made to circulate and resemble the movement of the cogs. Some of the words are Quranic verses, such as *Bism Allah Al-rahman Al-raheem*. Others, such as *Al-kafi*, *Alshafi*, *Almughni*, are three of the ninety-nine attributes of *Allah*; in which they mean, respectively, the sufficient, the healer and the enricher. The name Mohammed, also, repeats in a way that resembles the Sufi practice of repeating. A practice spread widely throughout North Africa where Fatmi is from. However, the phrases are not meant to be readable. Instead, is to add the specificity of this Middle-

eastern context. The calligraphic phrases are dissimulated in the machine and disappear within the structure of the projection. The provocative juxtapositions of the imagery as well as the indication of struggle against the machine in modern world (hinted by the title of Chaplin's movie) invited the viewer to tackle ideas of industrialization and individualism. The subject of struggle in Fatmi's art, as opposed to the little worker from Chaplin's movie, is this paper's investigation.

If *Modern Times-A History of The Machine* is considered in terms of power relations, then who is vulnerable in Fatmi's art and who is powerful? How does the projected image of vulnerability on either the architecture or the calligraphy affects the way in which we read modernity in the Arab world? How does the advent of machinery intersect with the project of modernity in the Middle East? The calligraphy against the machines can also be read not as a representation of power; i.e., a machine can be a powerful tool that can be used either to construct or deconstruct (Croutch, M., 2011). Calligraphy can easily be read as a source of human knowledge or as a mechanism that can, also, construct or deconstruct.

Fatmi's work also questions the speed of industrialization and the effect of consumer culture on modernization. In an interview with Utku, Fatmi said, "I would define a megalopolis in regard to the speed and rapidity of architectural development in cities without taking time to consider or reflect upon the well-being of the people who live in the city," (Utku, H., 2011). Fatmi further criticized the machine of capital for its exploitation of cheap labor and resources, which has resulted in an unequal distribution of goods.

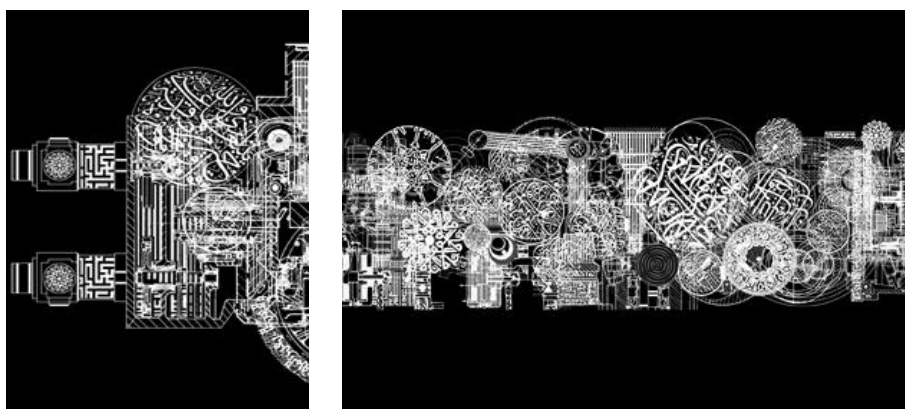


Fig. 1. *Modern Times: A History of The Machine*, 2010, France, video installation, 15 minutes, HD, B&W, stereo. Courtesy of the artist and Goodman Gallery, Johannesburg @ Adagp, Paris, 2021

Wallerstein better explains the modern world system and capitalism by using the terms: the core and periphery. He stated: "In the 'core' of the system, the dominant classes were supported by strong states as they exploited labor, resources and trade opportunities, most notably in 'peripheral' areas," (Wallerstein, I., 2010). Not considering the wellbeing of the people can be understood in the lack of sufficient institutionalization and civic engagement in the periphery world. However, within this transition to modernism, which permeates the Arab world, Fatmi recognizes the effect of modernization in regard to reflecting local issues that speak to global issues as well through his art.

After examining aspects of modernity, critics not only discredited the notion of the unilinear progress from tradition to modernity in favor of cultural particularity, but also demanded "to move beyond the unilinear narratives of 'modernization' in which 'the West' provides the telos toward which all societies were in the process of moving," (Geschiere, P., 2008). Geschiere argued that "'modernity' is usually a way of defining inequality in temporal terms." In the Arab world (the middle East), the introduction of modernity resulted in two divided futures and argued Di-Capua:

The first modern experiments in the Middle East envisioned a divided future in which the moral sphere would retain its authority and authenticity by remaining detached from the material sphere, the one governed by Islamic religious principles and the other by the modern secular state and its elites, (Di-Capua, Y., 54-74, 2015).

Thus, *Modern Times-A History of The Machine* with its complex visual lexicon demands aimed at the viewer forces the viewer to review modernity and challenge its implications in the Arab world.

2.2 SPEED CITY (2010)

is also a projection on the wall of calligraphy-Kufi Style on the shape of architecture. The calligraphic design takes the shape of urban architecture. The hinted architecture in the back resonates with an early Islamic art tradition that emerged in the

early Middle Ages in which calligraphy takes the shape of an image. Croutch best described Arabic calligraphy as “an amalgamation of the two-image and word-as it functions on both an aesthetic and a semantic level,” (Croutch, M., 2011). Fatmi applied this technique to a contemporary image of urban landscape with skyscrapers. The design serves Fatmi’s intention of conveying the fragile architecture. Fatmi stated that, fragility is an important aspect of his work in that he regards, specifically, architecture in the fast-growing cities of the Middle East as fragile. The notion of the fragility of urban cities echoes with the term ‘Cities of Salt,’ which has been used as a description of the fast growth of the petroleum cities as a side effect of industrialization, and was coined by Saudi critic and writer Munif. These cities are fragile, ephemeral and easily dissolved (Munif, A., 1987).

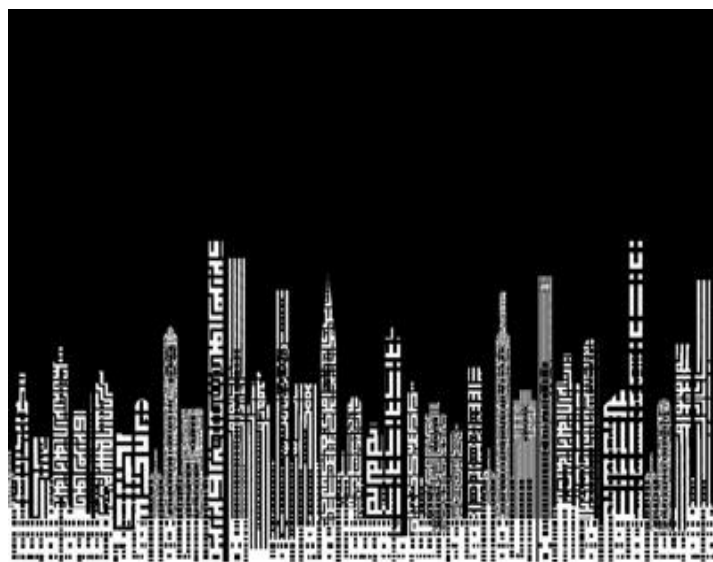


Fig. 2. *Speed City, 2010, France, video installation, 15 min, HD, B&W, stereo. Courtesy of the artist and Jane Lombard Gallery, New York © Adagp, Paris, 2021*

In *Speed City*, the machine is the material world, whereas, the calligraphy represents the humanistic aspect of this world. In this regard, we can read *Speed City* in terms of the impact of the global economy on creating the modern world and “to take account of the contribution to modernism of decolonization resistance culture, and the literature of opposition to imperialism,” (Said, W., 1994). In this regard, the calligraphy in itself represents the effort made by the colonized, while contributing to the building of the façade of the colonizer.

Coronil (1997) stated that it is important to examine societies who are very central and important to “the formation of what has been called the modern world and, yet, is casted as marginal to it.” (Coronil, 1997). He argued that we should reevaluate the history of capitalism and

conceptualize capitalism as a global process ... and view modernity... as an economic agent with its own base of economic power; and develop a dialectical approach that frees our understanding of history from teleological narratives locked in binary oppositions, opening a space for exploring the actions and potential solidarities of heterogeneous actors formed within increasingly interrelated material and cultural conditions. (Coronil, F., p. 388, 1997).

Similarly, Geschiere stated that “people in different world areas increasingly share aspirations, material standards and social institutions at the same time that their local definitions of and engagement with these initiatives fuels cultural distinctiveness,” (Geschiere, p. 2, 2008). Whether is the intention of the artist to evoke this new reading of modernity, *Speed City*, esthetically, is capable of delivering this notion and highlighting the point at which globalization can be read as a process in which it integrates forces and materials globally.

2.3 TECHNOLOGIA (2010)

is a video installation of ‘ancient circular Arabic calligraphy’ rendered in what seems to be inspired by Duchamp’s *Rotoreliefs* (1935). Duchamp called *Rotoreliefs* the ‘modern industrialized society’ and is considered among the first artists to comment on the modern, industrialized world, (Fatmi, M., 2015). We are also reminded of modernist painters Sonia and Robert Delauney

and Fernand Léger, (Rossiter, C., 2008). These painters used circular movements and geometry to cause their artwork to resemble the modern world.

The presence of Arabic calligraphy, a genre that has witnessed, as Ali argued, a continuity of Islamic art in contemporary art from the Middle East (Ali, W., 1997). It has also proven, through Fatmi's work, to have the capability to deliver a local visual vocabulary while being recognized as contemporary. The experimenting of modernism in the arts in the Arab world as Nuha N. N. Khoury argues involved nationalizing the arts from colonialism motives and techniques (Koury, N., 2015). Khoury further explained that "in North Africa and Sudan [nationalist sentiment into art] was often accompanied by the rejection of easel painting altogether and its replacement with local media and techniques," as an act of anti-colonialism. It is important to note that with the project of defensive modernism in the Arab world (Koury, N., 2015).

Morocco... went along with the replacement of oil paints by dyes, such as henna, and by the study of tattoo, weaving and jewelry design of local, Islamic, Arab and Imazighen (Berber) origin. Calligraphy, along with local practices and designs that art history usually classifies as "crafts," displaced the western art curriculum at the E'cole des Beaux Arts in Casablanca under artist-director Farid Belkahia in 1964," (Koury, N., p.202, 2015).

When looking at *Technologia*, one can find the material and spiritual references strongly present. Therefore, through examining Fatmi's art, a deliberate aesthetic language is conveyed within the presence of a contemporary subject matter. However, what makes Fatmi's art global is his continuations attempt at creating a dialogue between the West and East. This dialogue often accounts for authentic Arab art in relation to Western art history that makes dialogue possible in the eyes of the spectator. Artists from the Arab/Islamic world, such as Fatmi, are probably aware of the history and significance of the past. Di-Capua argued that, those individuals who are aware of the significance of the past, do not see any conflict between the spiritual and modern world for the simple reason that they reflect on the glory of the past (Di-Capua, Y., 2015). Consequently, the significance of understanding the history of the region is critical to.

By reflecting on Fatmi's works, a sense of frustration permeates his work. The two realms (i.e., spiritual and material), although aesthetically pleasing, intellectually are in rupture. This rupture can be understood by the struggle between the region and the West, and could, also, criticize the singular modernity advocated by the West. One aspect of this singular modernity is "the secularization of [the] modern society," (Appiah, A, 1992) Appiah argued:

Secularism seems hardly to be proceeding: religions grow in all parts of the world; more than 90% of North Americans still avow some sort of theism; what we call 'fundamentalism' is as live in the West as it is in Africa and the Middle and Far East. (Appiah, A, p. 145, 1992)

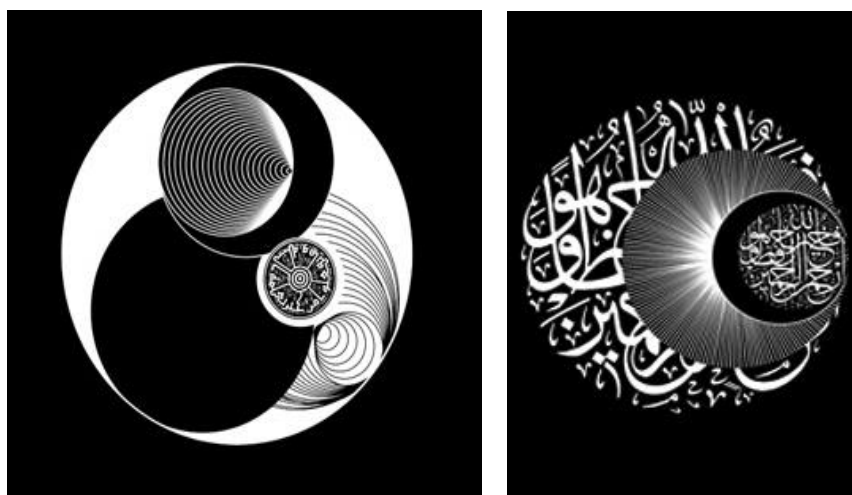


Fig. 3. *Technologia*, Mounir Fatmi, 2010, France, video installation, 15 min, SD, 4/3, B&W, stereo. Courtesy of the artist and Art Front Gallery, Tokyo © Adagp, Paris, 2021

Appiah further explained that, in the United States, what we see is not secularism or the end of religion, but rather its commodification. Commodification in this regard helps religions to grow even further. Moreover, I argue, that the use of the title, *technologia*, is a smart attempt for the reason of preventing the viewer to shift his attention to the Arabic world, is also used to force the reader to consider the complex relations of the East to the West, as well as reflect upon the introduction of technology into our modern lives.

3 CONCLUSION

This paper examines Mounir Fatmi's art works that deal with the representation of the machinery in relations to calligraphy. Gingras stated about Fatmi's art works: "we are inside a thinking machine in all its complexity," (Gingras, N., 2012). Thus, the paper argues that, by combining the blades and the hinted architecture imagery with that of calligraphy, Fatmi invites the viewer to examine the relationship between the modern West with the fast-growing East in a contemporary context. In addition, calligraphy, as a cultural heritage, can be traditional as well as contemporary. It also challenges the notion of modernization and how it can be understood in the Arab world.

Between *Modern Times-A History of The Machine* (2010), *Speed City* (2010), and *Technologia* (2010), two realms are conveyed (i.e., the spiritual and material realms). However, a sense of rupture between the two realms is present. I argue that, this rupture serves in opening a dialogue between the West and the East in regard to understanding modernity and its significant implications on each culture.

ACKNOWLEDGMENT

I would like to thank Dr. Andrea Frohne for her expert advice and encouragement throughout this project. I also would like to extend my thanks to artist Mounir Fatmi, and the ADGPA for granting me the permission to use Fatmi's artworks in this project.

REFERENCES

- [1] Ali, Wijdan. (1997). *Modern Islamic Art: Development and Continuity*. Gainesville: University Press of Florida.
- [2] Appiah, K. Anthony. (1992). *In My Father's House: Africa in the Philosophy of Culture*. New York: Oxford University Press.
- [3] "Badr Aljamali in Cairo." Almasalik. Accessed March 15, 2015. <http://www.almasalik.com/locationPassage.do?locationId=29854&languageId=ar&passageId=9150>.
- [4] Blair, Sheila. (2008). *Islamic Calligraphy*. Edinburgh: Edinburgh University Press.
- [5] Coronil, Fernando. (1997). *The Magical State*. Chicago: the University of Chicago Press.
- [6] Croutch, Megan. "If only Dreams were Subtitled," accessed december 15, 2020. <http://www.mounirfatmi.com/critics-162.html>.
- [7] Di-Capua, Yoav. (2015). "Nahda: The Arab Project of Enlightenment," in *The Cambridge Companion To Modern Arab Culture*, 54-74, eds., Dwight F. Reynolds. Cambridge: Cambridge University Press.
- [8] Dipesh, Chakrabarty. (2008). *Provincializing Europe: Postcolonial Thought and Historical Difference*. Princeton: Princeton University Press.
- [9] Geschiere, Peter, Birgit Meyerr, & Peter Pels. (2008). *Readings in Modernity in Africa*. Bloomington: Indiana University Press.
- [10] Gingras, Nicole. "Exhibition catalogue," *Manif d'Art* 6, 2012, p. 32.
- [11] Hall, Stuart. (2000). "The Local and the Global: Globalization and Ethnicity." In *Culture, Globalization and The World System*, edited by Anthony D. King, 19-40. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- [12] James L. Galvin. (2011). "The Middle East And The Modern World System," in *The Modern Middle East: A History*. 33-44. Oxford: Oxford University Press.
- [13] Khoury, Nuha N. N. (2015). "Art" in *The Cambridge Companion To Modern Arab Culture*, 191-208, ed. Dwight F. Reynolds. Cambridge: Cambridge University Press.
- [14] Leaman, Oliver. (2011). "Making Sense of the Arabic World Aesthetically." *The Journal of Aesthetic Education* 45 (4): 109-121.
- [15] Mounir Fatmi, Arts Santa Mònica. Accessed on July 10, 2009. <https://www.youtube.com/watch?v=bWOzaFdOdc>.
- [16] Mounir Fatmi, Le360Live. Accessed April 10, 2015. <https://www.youtube.com/watch?v=6HG4QMEA2XY>.
- [17] Mounir Fatmi, "Technologia," Artist official website, Accessed December 10, 2020, <http://www.mounirfatmi.com/work-341-37.html>.
- [18] Munif, Abdulrahman. (1987). *Cities of Salt*, trans. Peter Theroux. New York: Vintage International.
- [19] "Official Website." Mounir Fatmi. Accessed December 15, 2020. <http://www.mounirfatmi.com/work-305-35.html>.
- [20] Said, Edward. (1994). *Culture and Imperialism*, New York: Knopf.
- [21] Sloman, Paul. (2009). "Mounir Fatmi." In *Contemporary Art in the Middle East*, edited by Paul Sloman, 132-135. London: Black Dog Publication.
- [22] Stuart Hall, David Held, Don Hubert, and Kenneth Thomson. (1996). *Modernity: An Introduction to Modern Societies*. Malden: Blackwell Publishers.

- [23] Shabout, Nada. (2015). "Shakir Hassan Al Said: A Journey Toward the One-Dimension." Accessed March 14, 2015. http://universes-in-universe.org/eng/nafas/articles/2008/shakir_hassan_al_said.
- [24] Utku, Hatice Ahsen. "Artist Mounir Fatmi Poses Urban Questions in Recent Exhibition," Artist Official Website, accessed March 30, 2015, <http://www.mounirfatmi.com/critics-158.html>.
- [25] Wallerstein, Immanuel. (2008). "World System Analysis." In *The Globalization Reader*. Eds. Boli, John and Lechner, Frank. Blackwell Publication.
- [26] Zahi, Farid. (2015). "Modern and Contemporary Art of the Middle East and North Africa." Floris Schreve. Accessed April 10, 2015. <http://fhs1973.wordpress.com/2011/05/21/modern-and-contemporary-art-of-the-middle-east-and-north-africa/>.
- [27] "Official Website," Fatmi Mounir, accessed April 10, 2015. <http://www.mounirfatmi.com/1biographie/biographie.html>.
- [28] See Yoav Di-Capua, "Nahda: The Arab Project of Enlightenment," in *The Cambridge Companion To Modern Arab Culture*, 54-74. ed. Dwight F. Reynolds. Cambridge: Cambridge University Press, 2015.
- [29] "Mounir Fatmi / Suspect Language," Goodman Gallery, Accessed on April 12, 2015. <http://www.goodman-gallery.com/exhibitions/268>.
- [30] Megan Crutch, "If only Dreams were Subtitled," accessed december 15, 2020. <http://www.mounirfatmi.com/critics-162.html>.
- [31] Hatice Ahsen Utku, "Artist Mounir Fatmi Poses Urban Questions in Recent Exhibition," Artist Official Website, accessed March 30, 2015, <http://www.mounirfatmi.com/critics-158.html>.
- [32] Immanuel Wallerstein, "Introduction," *Explaining Globalization*, ed. John Hutchinson and Anthony D. Smith. 2010 (: Blackwell Publisher,)), 52.
- [33] Peter Geschiere, "Introduction," p. 1, 2008.
- [34] Yoav Di-Capua, "Nahda: The Arab Project of Enlightenment," in *The Cambridge Companion To Modern Arab Culture*, 54-74, ed., Dwight F. Reynolds. Cambridge: Cambridge University Press, 2015.
- [35] Megan Crutch, "If Only Dreams were Subtitled, Form and Function in Calligraphique Art and The Machinery," Accessed April 20, <http://www.mounirfatmi.com/5critiques/mcrutch.html>.
- [36] See Abdulrahman Munif, *Cities of Salt*, trans. Peter Theroux (New York: Vintage International, 1987).
- [37] Edward Said, *Culture and Imperialism*, 1994.
- [38] Fernando Coronil, *The Magical State* (Chicago: the University of Chicago Press, 1997), xi.
- [39] Ibid, 388.
- [40] Peter Geschiere, 2.
- [41] Mounir Fatmi, "Technologia," Artist official website, Accessed April 3, 2015. <http://www.mounirfatmi.com/2video/technologia.html>.
- [42] Caroline Rossiter, March 2008. "Modern Times, A History of The Machine," Mounir Fatmi Official Website, accessed April 28, 2015, <http://www.mounirfatmi.com/work-305-35.html>.
- [43] Wijdan Ali, *Modern Islamic Art: Development And Continuity* (Gainesville: University Press of Florida, 1997), p. 151.
- [44] Nuha N. N. Khoury, "Art" in *The Cambridge Companion To Modern Arab Culture*, 191-208, ed. Dwight F. Reynolds. Cambridge: Cambridge University Press, 2015, p. 196. See also: Farid Zahi, "Art In Morocco: Genesis Of An Artistic Presence," in *Memory Space And Desire: Contemporary Art of The Maghreb And Maghrebi Diaspora*. Accessed April 28, 2015, <http://exhibits.haverford.edu/memoryplacedesire/essays/art-in-morocco-genesis-of-an-artistic-presence>.
- [45] Nuha N. N. Khoury, "Art" in *The Cambridge Companion To Modern Arab Culture*, 202.
- [46] Yoav Di-Capua, "Nahda: The Arab Project of Enlightenment," in *The Cambridge Companion To Modern Arab Culture*, 54-74, eds., Dwight F. Reynolds. Cambridge: Cambridge University Press, 2015, p. 57.
- [47] K. Anthony Appiah, *In My Father's House: Africa in the Philosophy of Culture*. (New York: Oxford University Press, 1992), p. 145.
- [48] Ibid.
- [49] Nicole Gingras, in *Exhibition catalogue Manif d'Art 6*, 2012, p. 32.

Geochemical characterization and evaluation of the Upper Cretaceous petroleum source rock of Donga in the Termit Basin (East Niger)

Ibrahim Sarki Laouali and Moussa Harouna

Laboratory of geology, sedimentary team basins and georesources, Faculty of science and technology, Abdou Moumouni University, Niger

Copyright © 2021 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 oil potential of Niger is mainly located in two large sedimentary basins: the Iullemeden Basin in the West and the Eastern Niger Basin in the East. These two basins cover 90% of the National Territory. Nowadays, exploration and exploitation activities take place in the Eastern Niger Basin, more particularly in the Termit-Basin. Despite the development of some deposits and recent discoveries, the Termit Basin, one of the largest Cretaceous to Tertiary trenches belonging to the West and Central African Rift System (WCARS), remains under-explored. The overall objective of this study is to assess the petroleum potential and kerogen type contained in the Donga bedrock of the Termit Basin.

This study, which follows previous organic geochemical work, is based on the Rock-Eval6 method and Gas chromatography (GC-SM) method of analysis of source rock samples and crude oil from the Upper Cretaceous of Donga formation. The samples come from the following wells: Trakes N-1D, Minga-1, Douwani N-1, Kanga-1, and Koulele Deep-1.

The Source rock evaluation of Well Douwani N-1 and Trakes N-1D, suggests that, the Donga Formation contains more Type II2 and II1 organic matters in the eastern basin than in the western basin, and is generally considered the moderate to good source rock.

Pr/Ph is 1.57, the Tricyclic terpane content is higher than the Pentacyclic terpane content, the Gammacerane content is high, the ratio of Gammacerane to C30 Hopane is 1.05.

The Donga Formation crude oil from Well Trakes N-1D is different from those from Well Trakes-1, as shown in the triangular chart of C27-C28-C29 Regular steranes, and hence is defined as Class IV. The cross plot of Gammacerane/C30 Hopane and C27/C29 Regular steranes provides a good approach to distinguish these four classes of crude oil.

KEYWORDS: Source Rock, Donga Formation, Termit Basin.

1 INTRODUCTION

The Termit Basin is a sub-basin belonging to the Eastern Niger Basin. It is one of the largest trenches belonging to the Cretaceous-Tertiary Rift in the West and Central African Rift System (WCARS) (Fairhead, 1986; Genik, 1992, 1993; Guiraud et al, 2005).

The Termit basin is located in the southeastern part of the Republic of Niger, about 1400km from the capital (Niamey).

In Niger, it is the first hydrocarbon-rich basin (Xue et al., 2014; Wan et al. 2014). The hydrocarbons currently discovered are from marine formations of the Upper Cretaceous (thickness ranging from 500 to 2000 m) and Paleocene formations (Genik, 1992, 1993; Harouna and Philp, 2012; Liu et al. 2015).

The objective of the present work is to characterize and evaluate the petroleum potential of the Donga source rocks of the Termit Basin, using the rock-Eval 6 pyrolysis method developed by LAFARGUE.all and the Gas chromatography method.

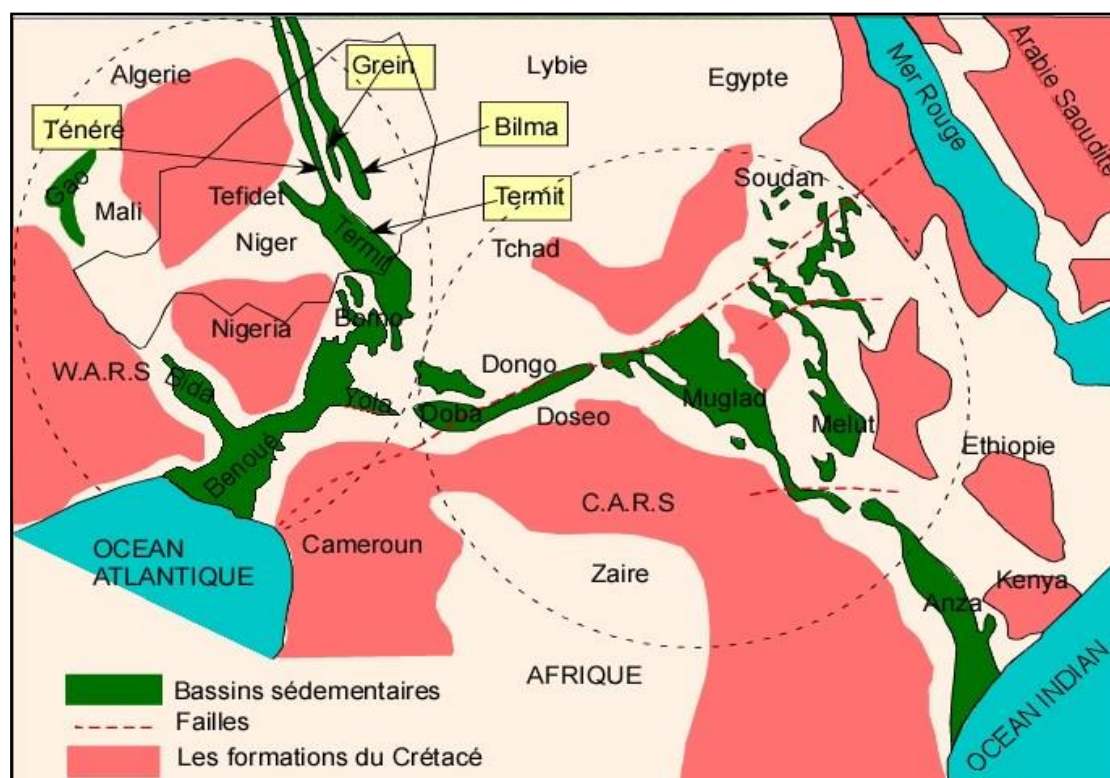


Fig. 2. Tectonic evolution of WCARS (Genik 1992, modified)

3 LITHO-STRATIGRAPHIC OF THE TERMIT BASIN

From its formation to the present day, the Termit Basin has undergone two depositional episodes: one (1) in the Upper Cretaceous accompanied by a marine transgression and the other (2) in the Paleocene.

This Basin is composed of sandstones and marine and continental clays whose maximum thickness of deposition can exceed 12,000 m.

According to seismic reflection data, drilling data, paleontological data and the stratigraphy of the Termit Basin is presented from the base to the top as follows:

- The Basement: The Precambrian Basement and the Cambrian-Jurassic Metamorphic Basement composed of biotite gneiss, pegmatite, quartz, mica and phyllite.
- Cretaceous formations which are composed of Lower Cretaceous K1 formation, Upper Cretaceous K2 formation (Donga formation, Yogou formation, Madama formation).
- The formation of the Paleocene
- The formation of Neocene
- The recent formation of the quaternary

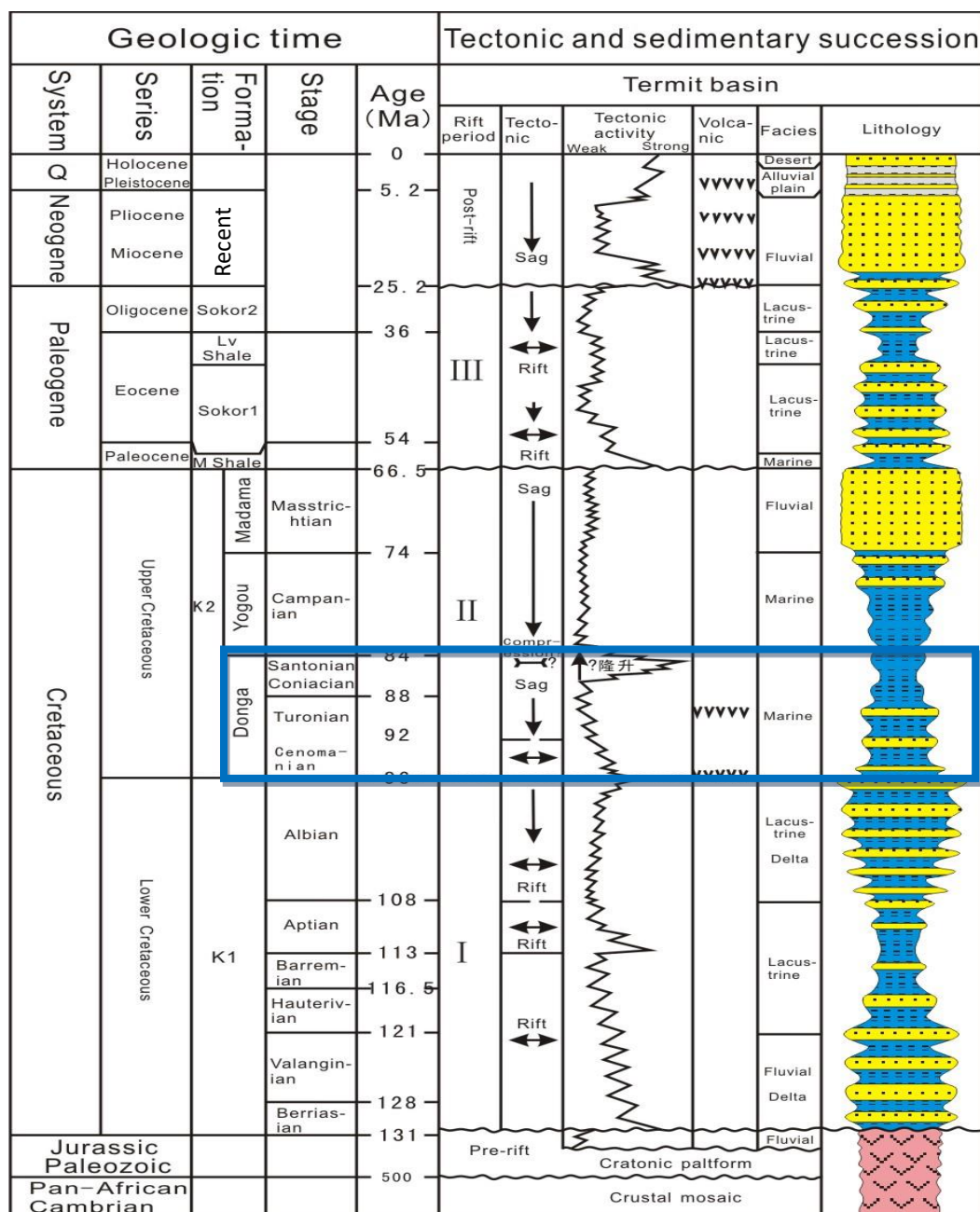


Fig. 3. Column litho-Stratigraphic of the Termit Basin (modified after Genik 1993)

4 MATERIALS AND METHODS

In this study, 40 samples were collected. These samples come from five wells of Termit basin of the study area and belong to the following wells:

- 10 samples from the Trakes N-1D
- 5 samples from the Minga-1
- 5 samples from the kanga-1
- 10 samples from the Douwani N-1
- 10 samples from the Koulele Deep-1

All those samples are analyzed by Rock-Eval pyrolysis (Rock-Eval6) according to the method developed by E. LAFARGUE and All of the French Petroleum Institute (IFP).

Two crude oil of the Donga formation were selected: the crude oil of Trakes N-1D and the crude oil of Trakes-1.

All of those two crudes oils were analyses by the Gas Chromatography and MS method

PREPARATION OF THE SAMPLES

The sample preparation is as follows: the crushing of samples (core) with a diameter between 2 and 3 mm before pyrolysis, the sieving to select the seeds whose size is less than 2 mm in diameter, sorting under the magnifying glass of soluble and pasty pollutants and finally the taking of 500 mg of sample to submit analysis

5 RESULTS AND DISCUSSIONS

5.1 EVALUATION OF DONGA FORMATION SOURCE ROCK

Two reservoir-caprock assemblages were formed in the Donga Formation in the Termit Basin: the upper and lower assemblages.

The upper reservoir-caprock assemblage is an alternating sequence of sandstone and mudstone in the upper section of the Donga Formation, with the thick-bedded mudstone and shale that are present in the middle and upper sections of the Yogou Fm serving as caprocks.

This assemblage has been proved by exploration in Block Lake Chad to be effective. The lower reservoir-caprock assemblage is an alternating sequence of sandstone and mudstone in the lower section of the Donga Formation, with the mudstone and shale of the Donga and K1 formations acting as source rocks, the Lower Donga Formation sandstone as reservoir and the Middle Donga Formation mudstone as caprock. This assemblage has been proved by drilling the Trakes N-1D well to be effective.

The source rock evaluation of the Donga Formation was carried out in five wells of this study: Minga-1, Kanga-1, Douwani N-1, Koulele Deep-1 and Trakes N-1D. Through a variety of analytical tests (rock pyrolysis and saturated hydrocarbon GC-MS), source rock potential, maturation threshold depth and scope of currently matured source rock were analyzed, providing the basis for further understanding the hydrocarbon accumulation law of the Donga Formation.

5.2 GEOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF THE DONGA SOURCE ROCK

5.2.1 GEOCHEMICAL ANALYSIS OF DONGA SOURCE ROCK IN WELL MINGA-1

Well Minga-1 was drilled in the southern part of the Dinga fault terrace belt. Rock pyrolysis analysis of this well indicates that, the Donga Formation has Type III-II2 organic matter, and is considered poor source rocks. Peak temperature of pyrolysis indicates that, the maturation threshold of source rock in this well is about 1800 m (Fig.4)

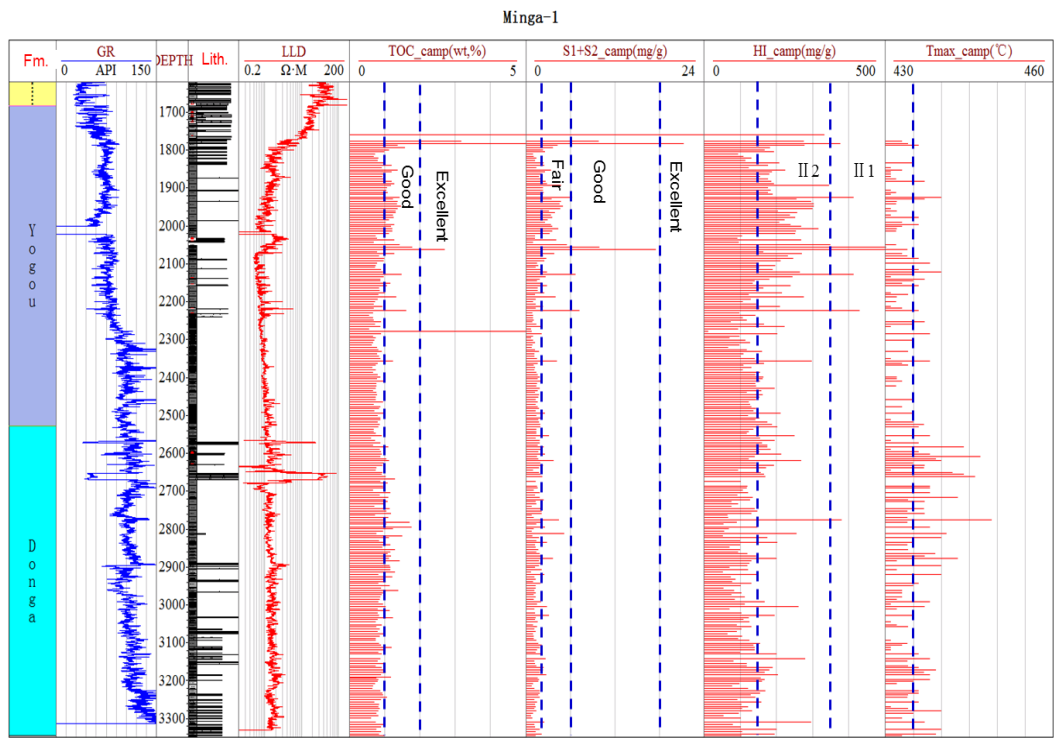


Fig. 4. Geochemical profile of Well Minga-1

5.2.2 GEOCHEMICAL ANALYSIS OF SOURCE ROCK IN WELL DOUWANI N-1

Well Douwani N-1 was drilled in the eastern part of the Moul depression in the basin. The Rock pyrolysis analysis of this well indicates that, the upper section of the Donga Formation has Type II-III organic matter, and is considered moderate to good source rock. Peak temperature of pyrolysis indicates that, the Donga source rock in this well is thermally mature (Fig.5).

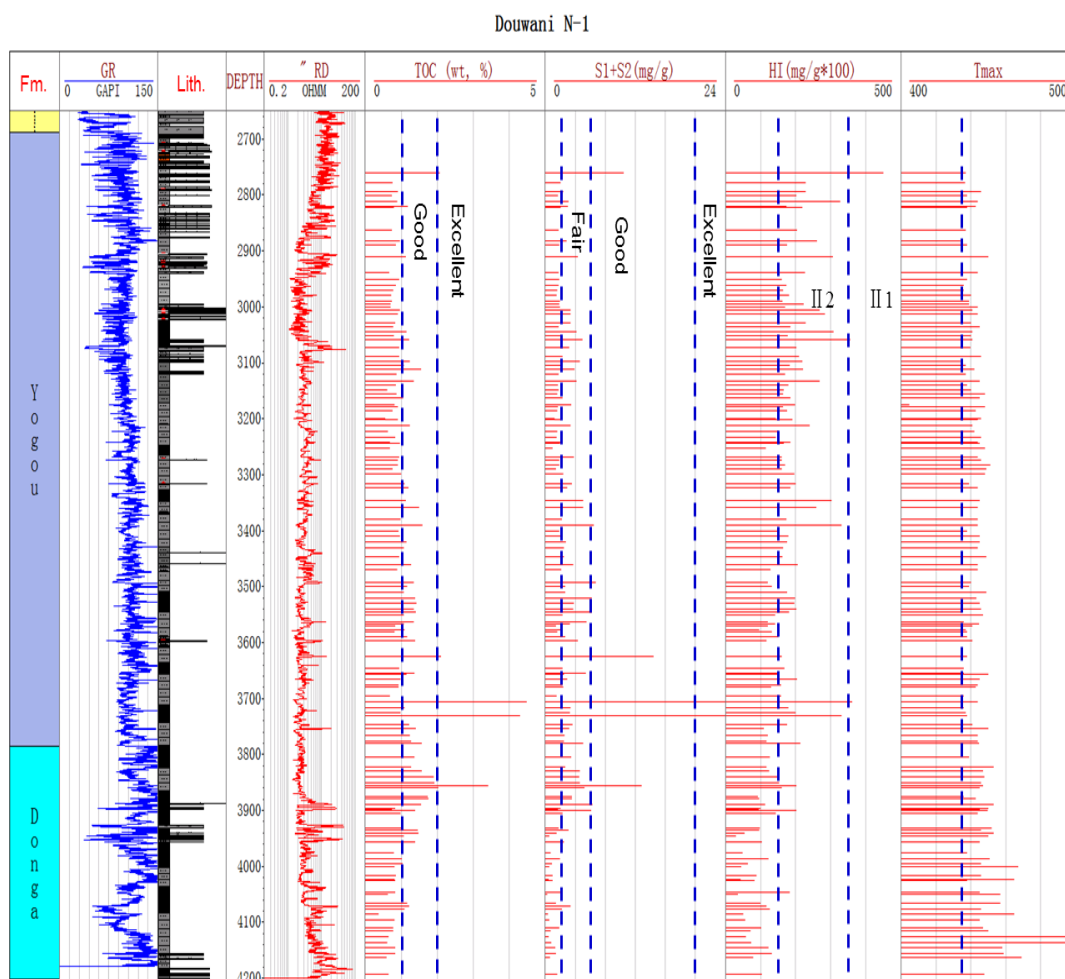


Fig. 5. Geochemical profile of Well Douwani N-1

5.2.3 GEOCHEMICAL ANALYSIS OF SOURCE ROCK IN WELL TRAKES N-1D

Well Trakes N-1D was drilled on the Trakes slope in the eastern basin. Rock pyrolysis analysis of this well indicates that, good source rock intervals are present in both the upper and lower sections of the Donga Formation, with Type II2 to II1 organic matter. Peak temperature of pyrolysis indicates that, the maturation threshold depth of the Donga Formation source rock in this well is about 2100 m (Fig.6).

The Source rock evaluation of Well Douwani N-1 and Trakes N-1D, both of which were drilled on the structural belt in the eastern basin, suggests that, the Donga Formation contains more Type II and II organic matters in the eastern basin than in the western basin, and is generally considered the moderate to good source rock.

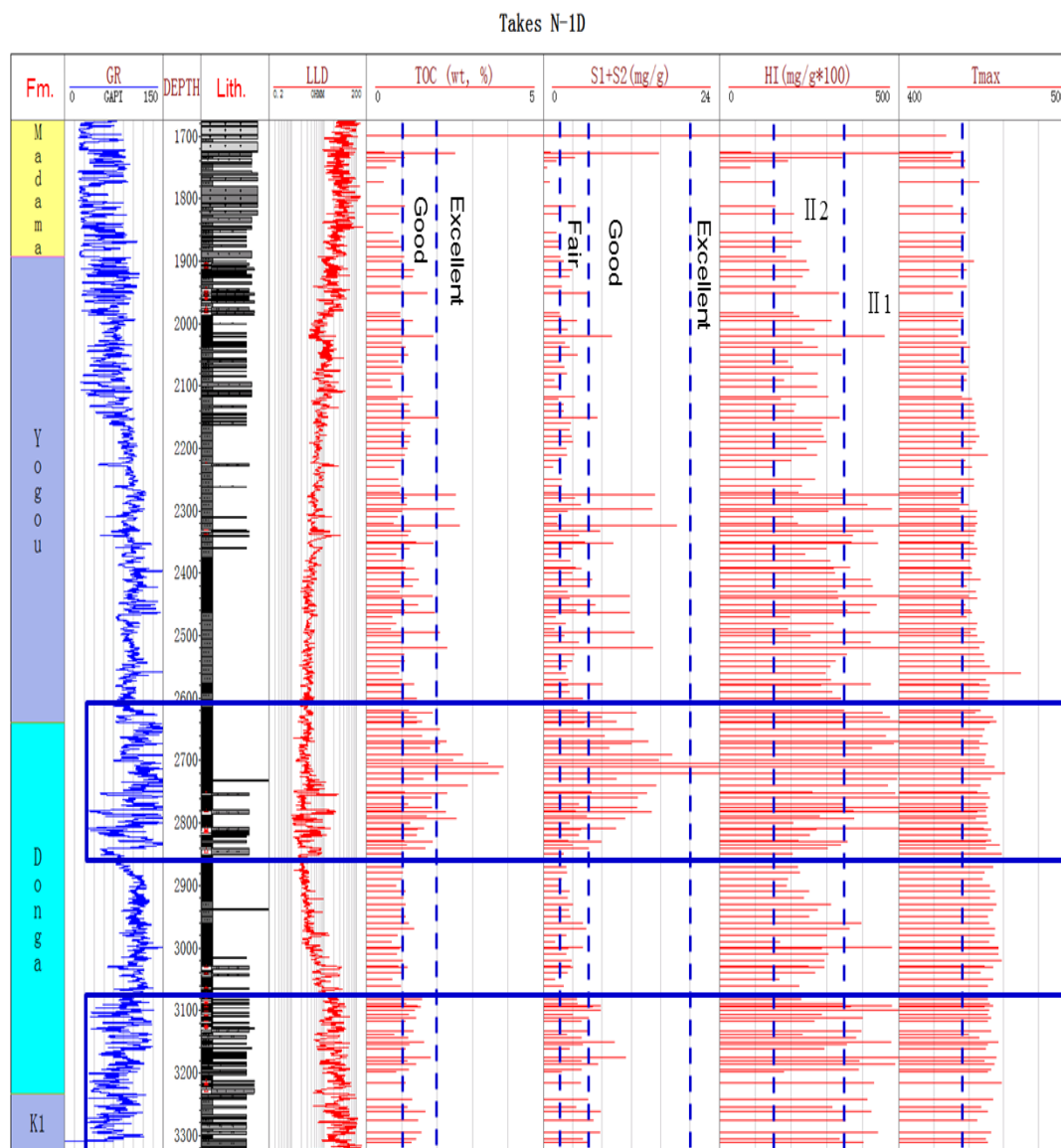


Fig. 6. Geochemical profile of Well Trakes N-1D

5.2.4 SCOPE OF CURRENTLY MATURED DONGA FORMATION SOURCE ROCK

Gas logging value derived from mud logging provides an opportunity to roughly determine the maturation threshold depth of a source rock. It is generally believed that, the depth at which the C4 component and above are present corresponds to the present maturation threshold depth of the source rock. Gas logging of Well Trakes N-1D indicates that, the presence of the C4 component is firstly recorded at a depth of 2070 m (TVD) (Fig.7), which matches well with the maturation threshold depth (2100 m) given by the indication of peak temperature of rock pyrolysis (Fig.8).

In accordance with the result of the well-seismic synthetic seismogram record calibration for Well Trakes N-1D, the depth of 2100 m corresponds to the TWT of 1750 ms (Fig.9). This figure shows the scope of the area exceeding 1750 ms on TWT structural map of Top Donga Formation, which corresponds to the scope of the currently matured Donga Formation source rock.

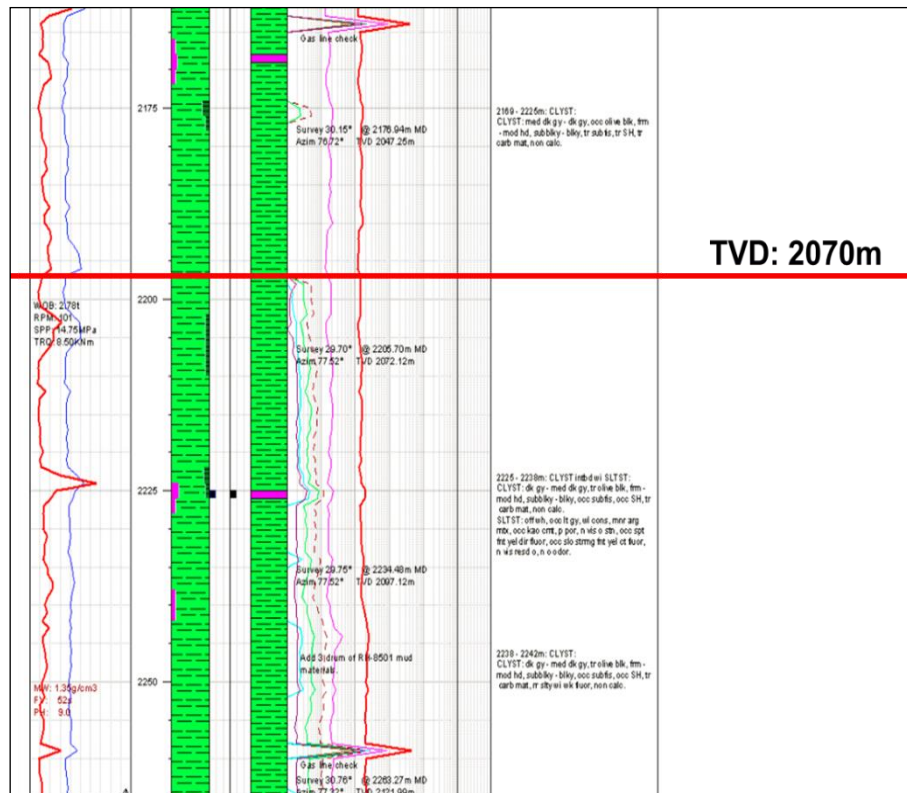


Fig. 7. Comprehensive mud-logging diagram of Well Trakes N-1D

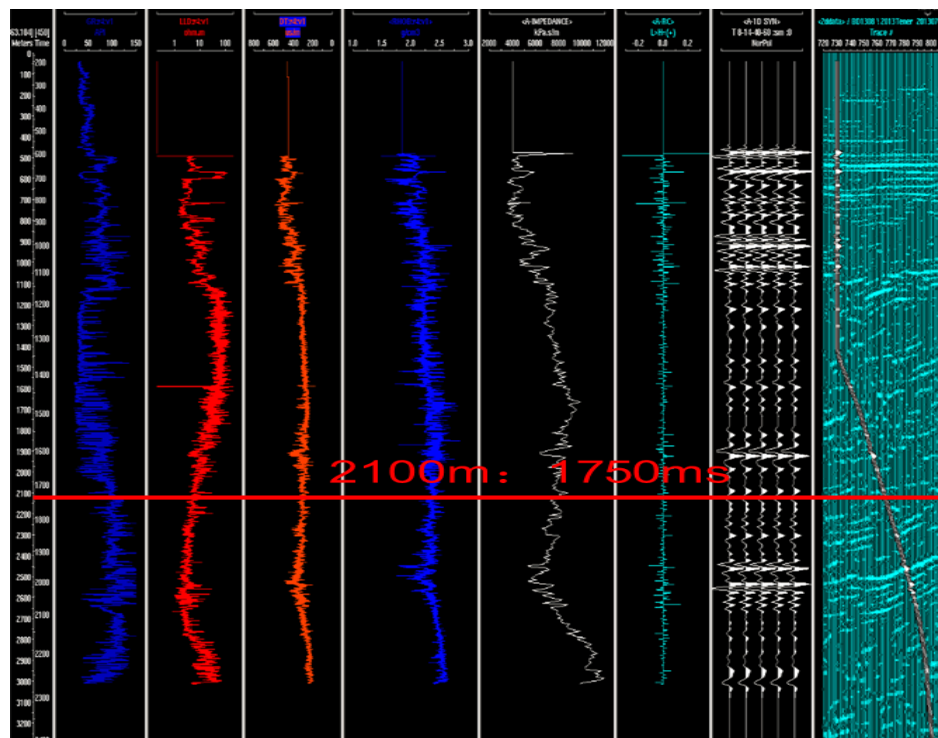


Fig. 8. Well-seismic synthetic seismogram calibration for Well Trakes N-1D

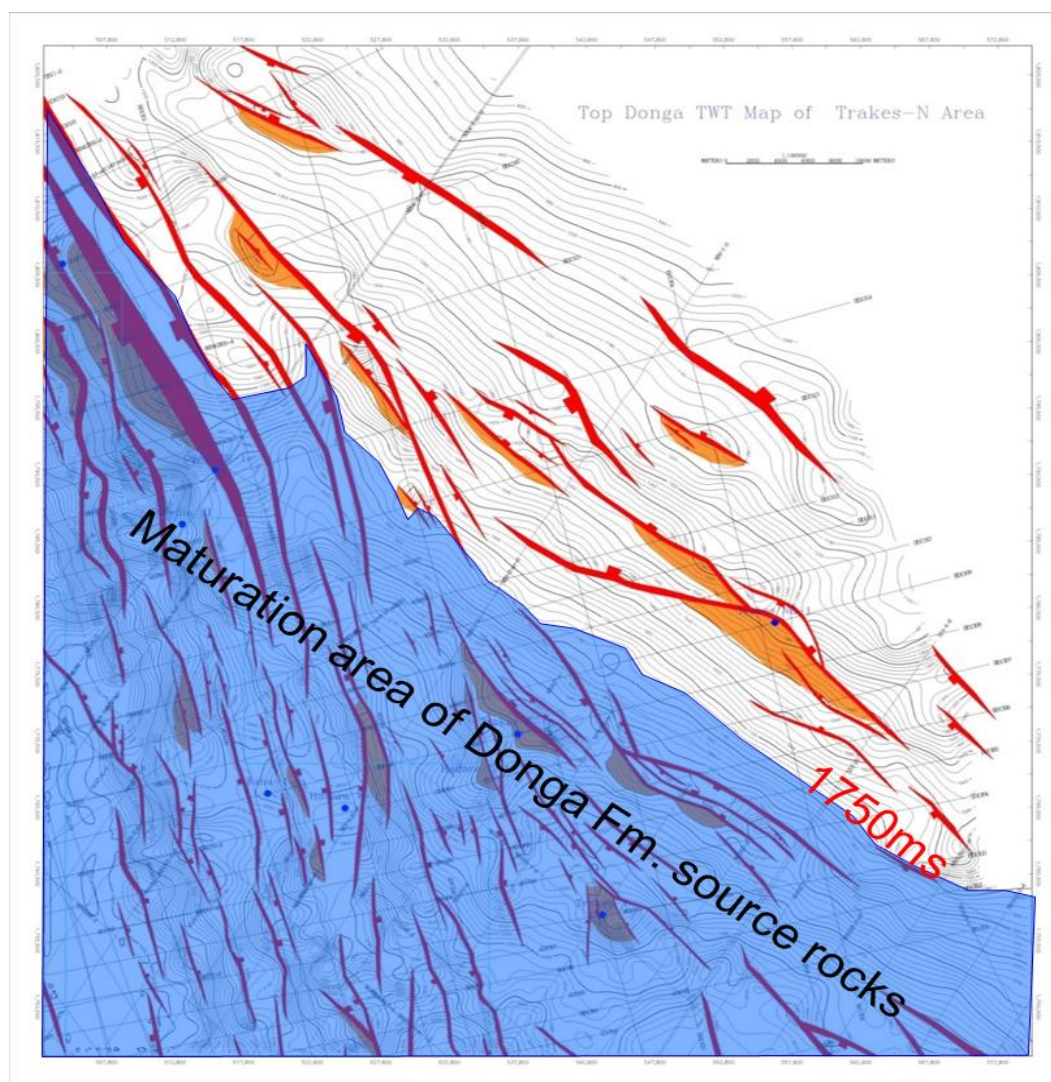


Fig. 9. Scope of the matured Donga Formation source rock in the Termit Basin

5.3 CRUDE OIL GEOCHEMICAL ANALYSIS

The study area of oil flow has been recorded only in Well Trakes N-1D from the hydrocarbon accumulation assemblage in the Donga Formation across the Termit Basin.

The GC and GC-MS analyses were carried out using the samples recovered from this well by oil testing. On the basis of the existing crude oil geochemical analysis of Well Trakes-1 made by this study, the crude oil geochemical features and crude oil types of the Donga Formation were analyzed, and the source of the crude oil trapped in the Donga Formation was studied through the oil source correlation, thereby providing the basis for further understanding the hydrocarbon accumulation law of the Donga Formation.

5.3.1 CRUDE OIL SAMPLE FROM DONGA FORMATION

There are only two crude oil samples available from the hydrocarbon accumulation assemblage in the Donga Formation in the Termit Basin: samples of Well Trakes N-1D and Well Trakes-1. Of particular note is Well Trakes-1, where analytical test was performed by ex-operator. Crude oil sample of Well Trakes-1 was recovered from an oil layer that is present in the upper section of the Donga Formation, and that of Well Trakes N-1D from the lower section. Well Trakes N-1D produced 169.5bbl per day of API 33 crude oil while DST1 oil testing. API 39.4 Crude oil from Well Trakes-1 was recovered with RFT.

5.3.2 GEOCHEMICAL FEATURES OF DONGA FORMATION CRUDE OIL

Geochemical features of the Donga Formation crude oil in Well Trakes-1 are as follows: Pr/Ph is 1.57, the Tricyclic terpene content is higher than the Pentacyclic terpene content, the Gammacerane content is high, the ratio of Gammacerane to C30 Hopane is 1.05 (Fig.10), and C27-C28-C29 Regular steranes show the C27 predominance and C27>C28>C29, with C27/C29 of 1.5.

Geochemical features stated above suggest that, the source rock of this crude oil was deposited in a saline water environment, where numerous lower hydrobionts acting as oil-generating kerogen.

Geochemical features of the Donga Formation crude oil in Well Trakes N-1D are as follows: Pr/Ph is 0.98, the Tricyclic terpene and Gammacerane contents are relatively high, ratio of Gammacerane to C30 Hopane is 0.35 (Fig.11), C27-C28-C29 Regular steranes show the C29 Sterane predominance in content and C29>C27>C28 (Fig.12), with C27/C29 of 0.85, and the Pregnane and Homopregnane contents are high. Geochemical features stated above suggest that, the source rock of this crude oil was deposited in a saline water environment, where oil-generating kerogen is dominated by terrigenous higher plants, followed by a certain amounts of lower hydrobionts.

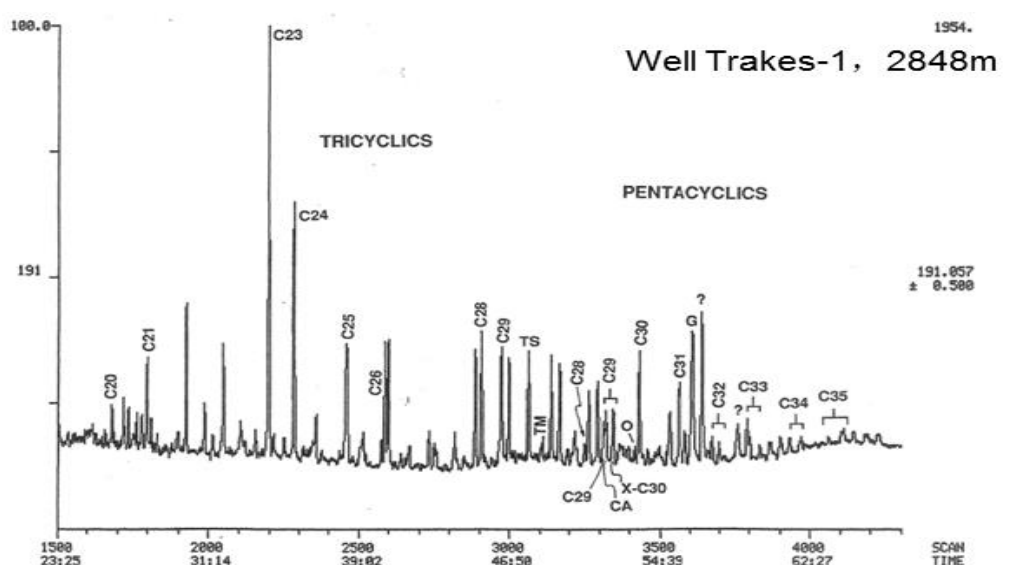


Fig. 10. $m/z191$ GC-MS of the Donga Formation crude oil in Well Trakes-1

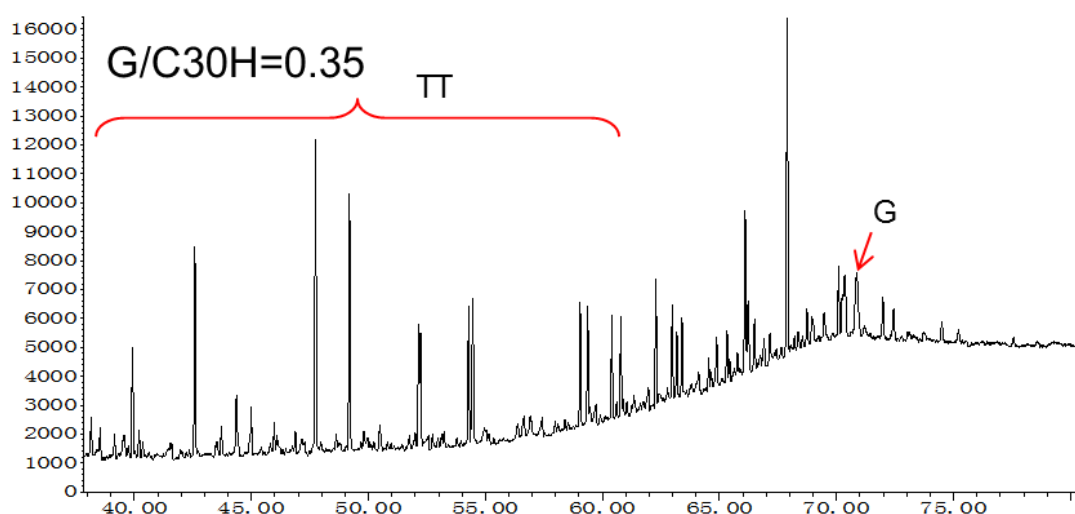


Fig. 11. $m/z 191$ GC-MS of the Donga Formation crude oil in Well Trakes N-1D

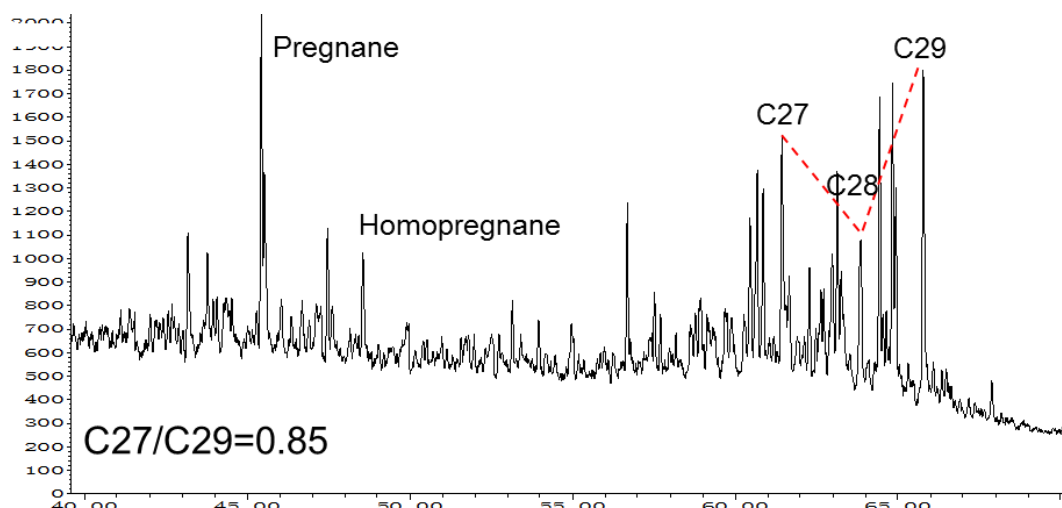


Fig. 12. *m/z 217 GC-MS of the Donga Formation crude oil in Well Trakes N-1D*

5.3.3 CRUDE OIL TYPE

The crude oil in the Termit Basin was divided into three classes before we perform the analysis of the Donga Formation crude oil recovered from Well Trakes N-1D. The majority of crude oil discovered in the basin is defined as Class I, those recovered from the Dinga Deep-1, Tairas-1 (E0), Goumeri (E0) and Dinga-1 (E0) are Class II, and the Donga Formation crude oil from Well Trakes-1 is Class III.

In addition, the Donga Formation crude oil from Well Trakes N-1D is different from those from Well Trakes-1, as shown in the triangular chart of C27-C28-C29 Regular steranes, and hence is defined as Class IV. The cross plot of Gammacerane/C30 Hopane and C27/C29 Regular steranes provides a good approach to distinguish these four classes of crude oil (Fig.13).

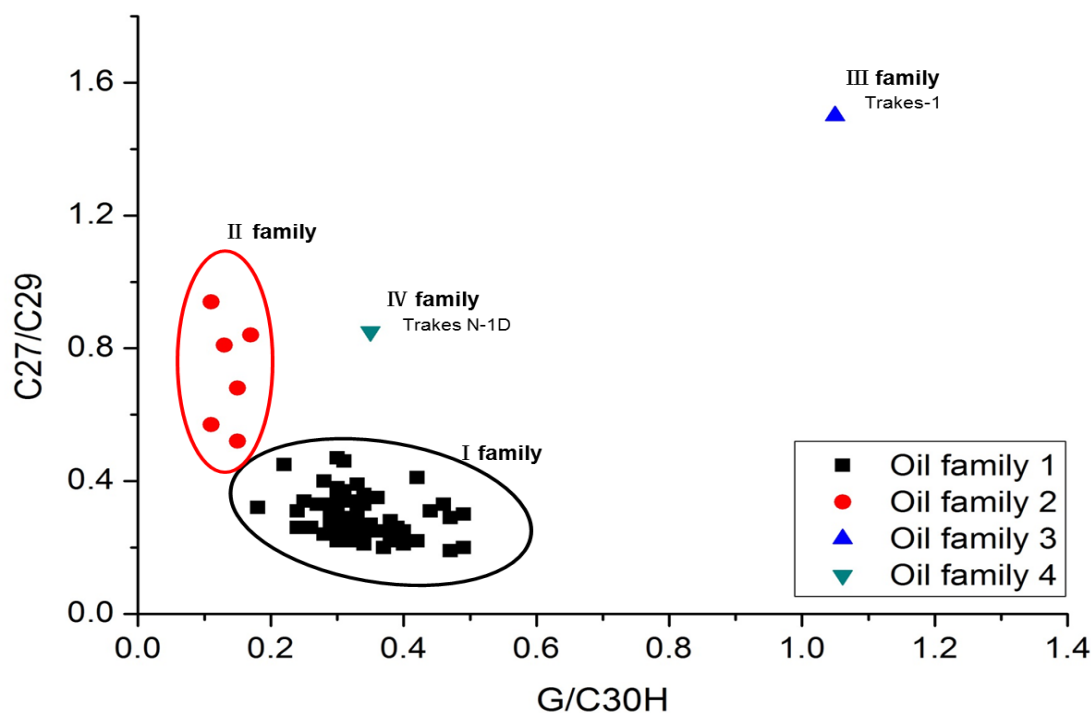


Fig. 13. *Crossplot of Gammacerane/C30 Hopane and C27/C29 Regular steranes of crude oil in the Termit Basin*

5.3.4 OIL SOURCE CORRELATION

In this study, the Donga Formation crude oil of Well Trakes N-1D and the Donga Formation mudstone of Well Koulele Deep-1 are selected for oil source correlation. The study indicates that, the Terpane and Sterane distribution features of the crude oil sample is consistent with the that of the mudstone sample, exhibiting high contents of Tricyclic terpane, Pregnane and Homopregnane, with $C_{29} > C_{27} > C_{28}$ Regular steranes (Fig.14, 15, 16 and 17).

In the crossplot of the Gammacerane/C₃₀ Hopane and (Pregnane + Homopregnane/Regular steranes), the Donga Formation crude oil samples of Well Trakes N-1D and the Donga Formation mudstone samples of Well Koulele Deep-1 fall within the same zone (Fig.18), indicating that the Donga Formation crude oil is sourced from the Donga Formation source rock.

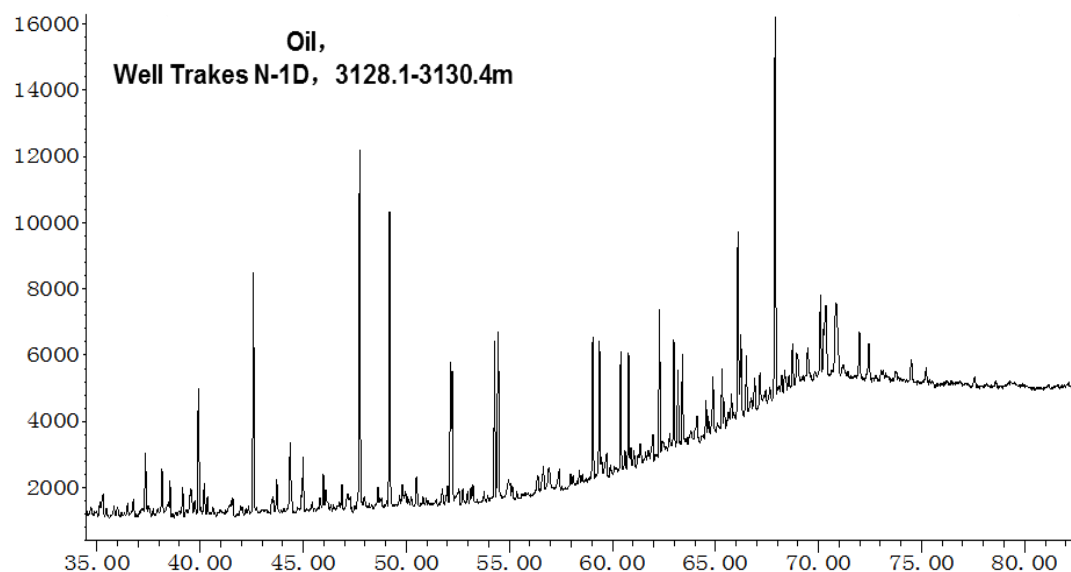


Fig. 14. m/z 191 GC-MS of the Donga Formation crude oil of Well Trakes N-1D

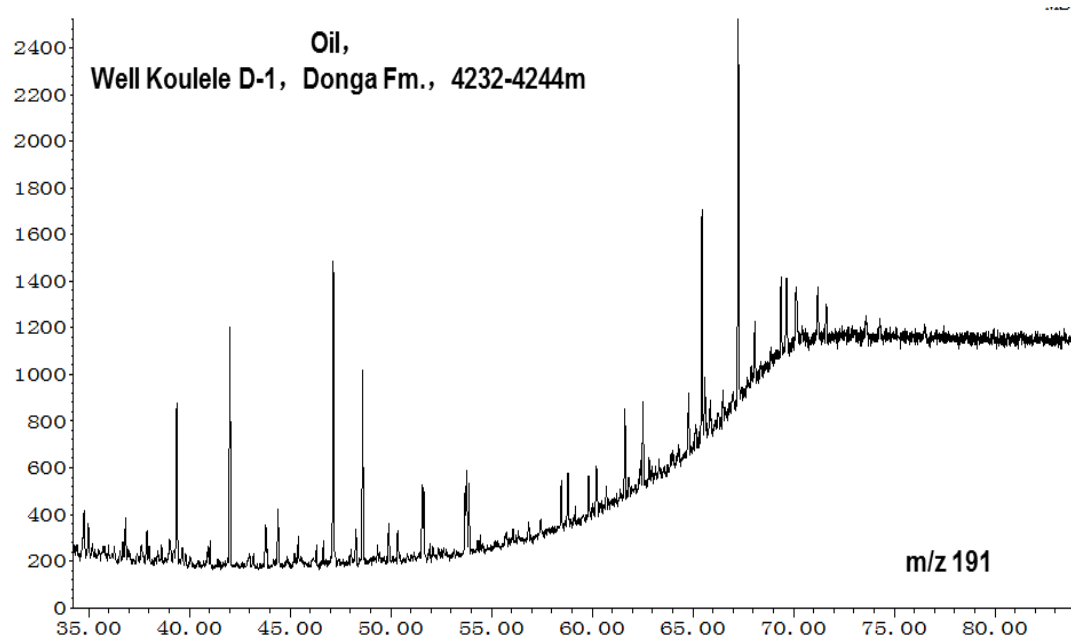


Fig. 15. m/z 191 GC-MS of the Donga Formation mudstone of Well Koulele Deep-1

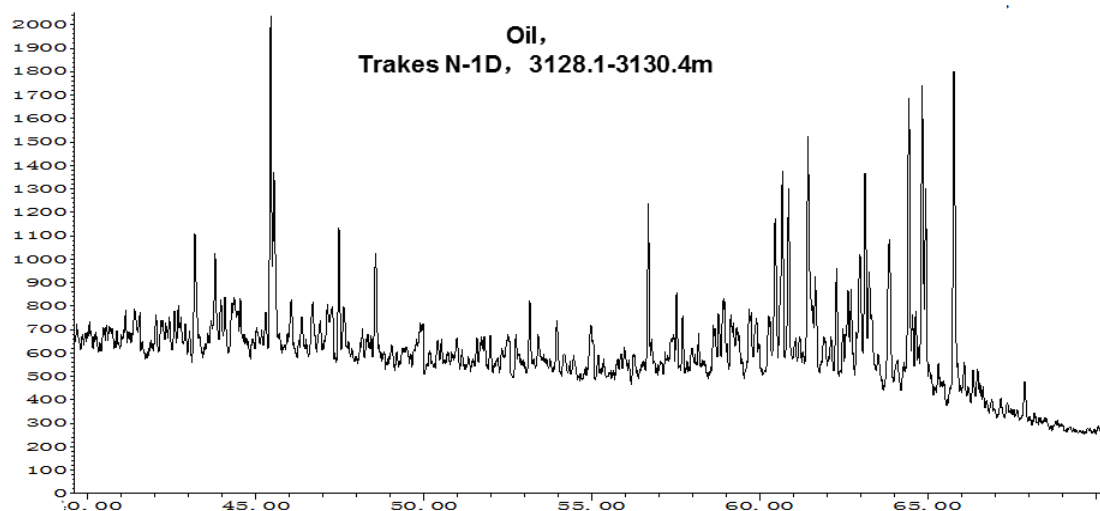


Fig. 16. m/z 217 GC-MS of the Donga Formation crude oil of Well Trakes N-1D

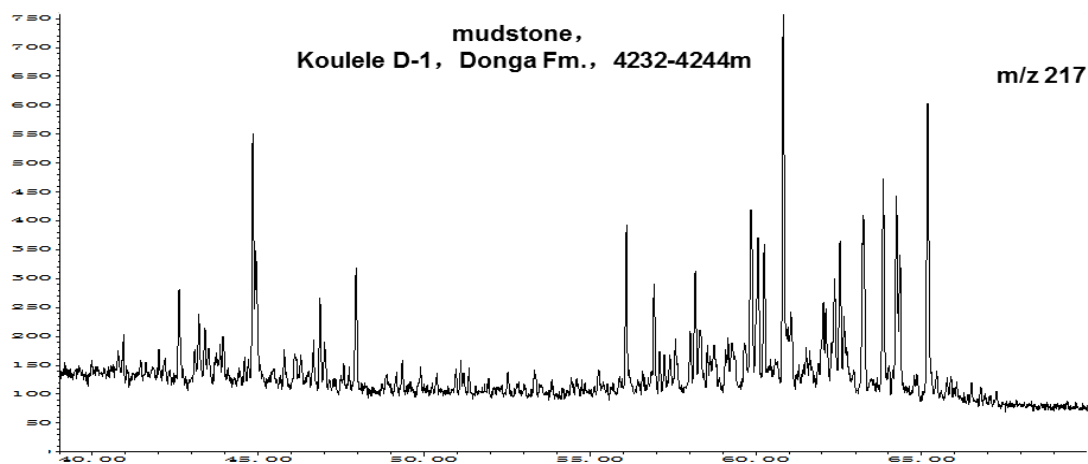


Fig. 17. m/z 217 GC-MS of the Donga Formation mudstone of Well Koulele Deep-1

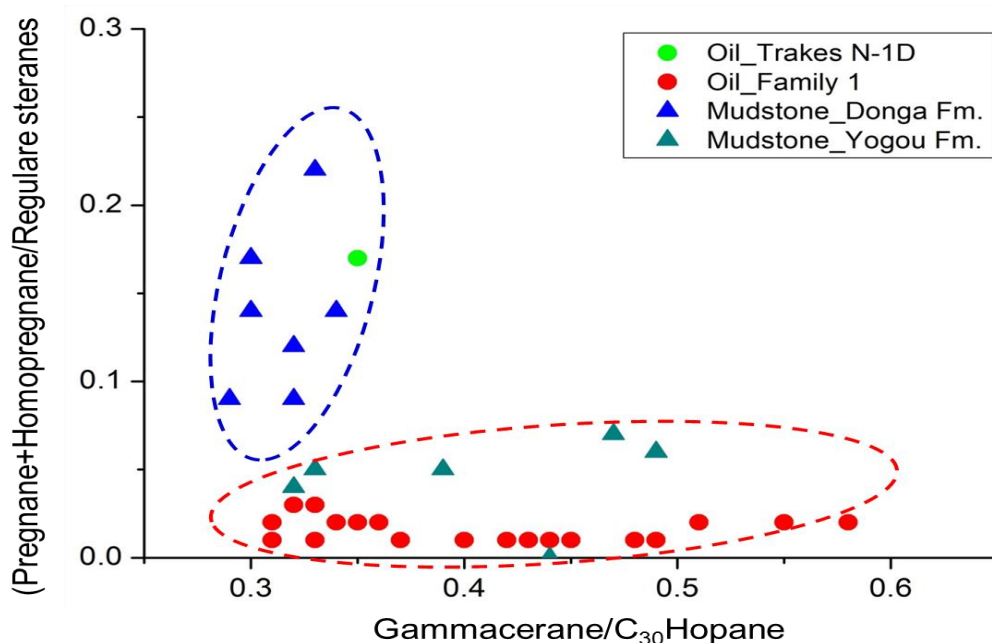


Fig. 18. Crossplot of Gammacerane/C30 Hopane (Pregnane+Homopregnane) /Regular steranes of the crude oil in the Termit Basin

6 CONCLUSION

The geochemical characterization and evaluation of the donga source rock of the Termit basin show that:

The Source rock evaluation of Well Kanga-1 and Well Minga-1, both of which were drilled on the structural belt in the western basin, suggests that, the Donga Formation has Type III-II organic matter and is generally considered poor to non-source rock.

The Source rock evaluation of Well Douwani N-1 and Trakes N-1D, both of which were drilled on the structural belt in the eastern basin, suggests that, the Donga Formation contains more Type II2 and II1 organic matters in the eastern basin than in the western basin, and is generally considered the moderate to good source rock.

The Donga Formation crude oil from Well Trakes N-1D is different from those from Well Trakes-1, as shown in the triangular chart of C27-C28-C29 Regular steranes, and hence is defined as Class IV. The cross plot of Gammacerane/C30 Hopane and C27/C29 Regular steranes provides a good approach to distinguish these four classes of crude oil.

REFERENCES

- [1] Bokanda Ekoko Eric, Fralick Philip, Ekomane Emile, Njilah Isaac Konfor,.
- [2] Bisse Salomon Betrant, Akono Daniel Florent, Ekoa Bessa Armel Zacharie (2019), Geochemical characteristics of shales in the Mamfe Basin, South West.
- [3] Cameroon: Implication for depositional environments and oxidation conditions: *volume 131–142*.
- [4] Hongfei Lai, Meijun Li, Jiguo Liu, Fengjun Ma, Hong Xiao, Wenxiang He, Lu Yang (2018), Organic geochemical characteristics and depositional models of Upper Cretaceous marine source rocks in the Termit Basin, Niger. *Volume pp17*.
- [5] Moussa Konate, Yacouba Ahmed, Moussa Harouna (2018), Structural evolution of the Tefidet trough (East Aïr, Niger) in relation with the West African Cretaceous and Paleogene rifting and compression episodes. *Volume pp11*.
- [6] ZHOU Lihong1, SU Junqing, DONG Xiaowei, SHI Buqing, SUN Zhihua, QIAN Maolu, LOU D, LIU Aiping (2017), Controlling factors of hydrocarbon accumulation in Termit rift superimposed basin, Niger. *Volume 358–367*.
- [7] Mao, F., Liu, R., Liu, B., Jiang, H., Liu, J., Wang, X., Tang, W., Zheng, F., Li, Z., (2016), Palaeogeographic evolution of the Upper Cretaceous in Termit Basin and its adjacent.
- [8] areas, Niger. *Earth Sci. Front. 23, Volume 186–197* (In Chinese with English Abstract).
- [9] Mohamed M. El Nady, Fatma S. Ramadan, Mahmoud M. Hammad, Nira M. Lotfy (2014), Evaluation of organic matters, hydrocarbon potential and thermal maturity of source rocks.

- [10] based on geochemical and statistical methods: Case study of source rocks in Ras Gharib oilfield, central Gulf of Suez, Egypt. *Volume 203–211*.
- [11] Lunkun Wan, Jiguo Liu, Fengjun Mao, Mingsheng Lv, Bang Liu (2014), The petroleum geochemistry of the Termit Basin, Eastern Niger. *Volume 167-183*.
- [12] J.D. Fairhead, C.M. Green, S.M. Masterton, R. Guiraud (2013), The role that plate tectonics, inferred stress changes and stratigraphic unconformities have on the evolution of the West and Central African Rift System and the Atlantic continental margins. *Volume 118–127*.
- [13] Liu, B., Wan, L., Mao, F., Liu, J., Lü, M., Wang, Y., 2015, Hydrocarbon potential of Upper Cretaceous marine source rocks in the Termit Basin, Niger. *J. Pet. Geol. 38, Volume 157–175*.
- [14] Lunkun Wan, Jiguo Liu, Fengjun Mao, Mingsheng Lv, Bang Liu (2014), The petroleum geochemistry of the Termit Basin, Eastern Niger. *Volume 167-183*.
- [15] Harouna, M., Philp, R.P, (2012), Potential petroleum source rocks in the Termit Basin, Niger. *Volume 165–185*.
- [16] Liu, B., Pan, J., Wan, L., Mao, F., Liu, J., Lü, M., Wang, Y., Chen, Z., Jiang, H.,.
- [17] , Polyphase rift evolution of the Termit Basin, eastern Niger: constraints from structural and sedimentary records. *Volume 319-325*.
- [18] M. Zanguina, A. Bruneton and R. Gonnard (1998), An introduction to the petroleum of Niger. *Volume 83-103*.
- [19] Jones, B., Manning, D.A.C. (1994), Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones. *Volume 111–129*.
- [20] Genik, G.J (1993), Petroleum geology of Cretaceous-Tertiary rift basins in Niger, Chad and Central African Republic. *Volume 1405-1434*.
- [21] Genik, G.J. (1992), Regional framework, structural and petroleum aspects of rift basins in Niger, Chad and the Central African Republic (C.A.R.). *Volume 169-185*.
- [22] Guiraud, R., Bellion, Y., Benkhelil, J., Moreau, C, (1987), Post-Hercynian tectonics in Northern and Western Africa. *Volume 433-466*.

L'Algorithme de rétro-propagation de gradient dans le perceptron multicouche: Bases et étude de cas

[Gradient Back-Propagation Algorithm in the Multi layer Perceptron: Foundations and Case Study]

Nsenge Mpia Héritier and Inipaivudu Baelani Nephtali

Département d'Informatique de Gestion, Université de l'Assomption au Congo, B.P 104, Butembo, Nord-Kivu, RD Congo

Copyright © 2021 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: Training a multi-layer neural network is sometimes difficult, especially for novices in Artificial Intelligence. Many people believe that this training must be relayed to computers in order to be able to perform these ultra-powerful calculations. As a result, we can't figure out what is going on behind these calculations, thinking that there is too much mathematics, making it difficult for humans to understand what is at stake. Far from this mythical caricature stuck to neural networks. The training of a neural network consists in finding synaptic weights such that the output layer allows to classify with precision the observed values of a training set with the aim of allowing the created model to present generalisation capacities on examples that it will never have encountered during the training phase.

KEYWORDS: Artificiel Intelligence, Loss Function, Epoch, Logitic Function, Neural Network.

RESUME: Entraîner un réseau neuronal multicouche s'avère difficile, surtout pour des novices en Intelligence artificielle. Nombreuses personnes estiment qu'il faut relayer cet entraînement aux ordinateurs pour pouvoir effectuer ces calculs ultra puissants. Du coup, on n'arrive pas à cerner ce qui se passe derrière ces calculs, pensant qu'il y a trop de mathématiques, difficile pour l'homme d'en comprendre des enjeux. Loin de là cette caricature mythique collée aux réseaux de neurones. L'entraînement d'un réseau de neurones consiste à trouver des poids synaptiques tels que la couche de sortie permette de classer avec précision les valeurs observées d'un ensemble d'entraînement dans le but de permettre à ce que le modèle créé présente des capacités de généralisation sur des exemples qu'il n'aura jamais rencontrés lors de la phase d'entraînement.

MOTS-CLEFS: Intelligence Artificielle, Fonction Coût, Itération, Fonction Logistique, Réseau de Neurones.

1 INTRODUCTION

Lorsqu'on parle de réseau de neurones en Intelligence Artificielle, nombreuses personnes, spécialement profanes en la matière, pensent directement à des grandes fonctions mathématiques et au fonctionnement complexe du cerveau humain. Du coup, ils ne veulent même pas entrer à fond de ce domaine récent qui révolutionne l'informatique de nos jours afin d'en comprendre les merveilles qu'il cache et même la simplicité de son fonctionnement dans la résolution presque de la quasi totalité des problèmes complexes modernes. Bien sûr, la mise au point d'un réseau de neurones ne s'écarte pas de l'implémentation de quelques fonctions mathématiques et dont chacune réalise une tâche bien précise. On y trouve, de ce fait, des fonctions permettant:

- D'activer la sortie d'une information qui a été prise à l'entrée du neurone et traitée dans les différentes couches du réseau. Pour cela, le modèle a besoin d'une fonction qui soit dérivable en tout point pour calculer la sortie du perceptron. Pour cet article, nous utiliserons la fonction sigmoïde:

$$S(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

- D'optimiser l'algorithme d'apprentissage. En fait, le but principal d'un réseau de neurones, c'est d'approximer la fonction f ayant un ensemble de paramètres θ et des valeurs x que le réseau doit calculer à une fonction inconnue g . Sur ce, la capacité de $f(x, \theta)$ à approximer la fonction $g(x)$, qui contient la valeur exacte cible, est évaluée en utilisant la fonction coût. Dans notre cas, nous utiliserons la méthode de Descente de gradient afin de minimiser le coût d'erreur dans l'apprentissage du réseau et de modifier des poids des paramètres qui constituent les connexions entre les neurones. Etant donné qu'il existe plusieurs types de fonctions coût dans cette méthode, nous ferons usage de la fonction de moindre carré [2]:

$$E(x, y, \theta) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m (f(x_i, \theta) - y_i)^2$$

E représente la fonction d'erreur (coût), $f(x_i, \theta)$ est la prédiction des neurones de sortie de la valeur x_i munie de certains paramètres θ et y_i c'est la valeur cible spécifiée dans l'ensemble d'entraînement.

- De calculer des gradients. Avec la fonction coût, on peut arriver à savoir l'erreur de l'avant-dernière couche du réseau. Ce qui permet ainsi de calculer l'erreur de la couche précédente afin de modifier les poids des différents paramètres du réseau. Par conséquent, ce retour en arrière pour calculer des erreurs des couches précédentes s'appelle la rétro-propagation [9]. Ce calcul se fait via le processus d'apprentissage par rétro-propagation qui utilise le théorème de dérivation des fonctions composées appelé en anglais *chain rule*. Ainsi, soit l'erreur $E(x, y, \theta)$, la mise à jour du poids de la connexion w_{jl}^h du neurone j de la couche $h-1$ vers le neurone l , est calculée comme suit [3]:

$$\frac{\partial E(x, y, \theta)}{\partial w_{jl}^h}$$

Après avoir appliqué ce *chain rule*, on actualisera ainsi les poids pour refaire l'entraînement du modèle afin d'observer, dans la prochaine itération (Epoch), les résultats obtenus, c'est-à-dire si $f(x, \theta^*) \approx g(x)$. On suit, de ce fait, la règle suivante pour mettre à jour les poids des paramètres à chaque itération:

$$w_{jl}^{h+} = w_{jl}^h - \eta * \frac{\partial E(x, y, \theta)}{\partial w_{jl}^h}$$

Avec w_{jl}^h la valeur du poids à l'itération précédente, w_{jl}^{h+} le nouveau poids après ajustement et le η learning rate qui est un paramètre qui détermine dans quelle mesure les poids peuvent changer en réponse à une erreur observée sur l'ensemble de données à entraîner.

- Etc.

Dans cet article, nous voulons expliquer le fonctionnement de l'algorithme de la rétro-propagation de gradient en des termes simples par un exemple clair pour qu'après la lecture de cet article, le lecteur ait un meilleur aperçu de ce qu'est une fonction d'activation dans un modèle de machine learning, spécialement dans le réseau de neurones artificiels; du rôle de l'apprentissage par descente de gradient et du comment fonctionne la rétro-propagation.

2 RÉSEAU DE NEURONES

2.1 LA BASE D'UN RÉSEAU DE NEURONES

Les techniques de l'intelligence artificielle sont, de nos jours, utilisées dans plusieurs domaines de recherches notamment dans le traitement d'image, la médecine, le big data, la régulation de processus industriels, la prédiction d'une série temporelle,

etc. Dans cet article, notre effort se focalise sur la technique de réseau des neurones artificiels. Dans cette technique, l'élément le plus basic à connaître est celui de Perceptron qui est l'algorithme d'apprentissage pour des réseaux de neurones formels (simplement neurone) à deux couches (couche d'entrée et couche de sortie). Rappelons qu'un neurone, dans son acception artificielle, est un opérateur mathématique qui transforme les valeurs de ses entrées en sortie selon des règles précises. Il peut ainsi effectuer la somme de ses entrées, comparer la valeur de la somme résultante à une valeur seuil pour enfin répondre en émettant un signal indiquant si cette somme est supérieure ou égale à ce seuil. En ce sens, un neurone est une fonction algébrique qui est non linéaire et est bornée, dont la valeur dépend des paramètres poids [16].

Considérons un ensemble de données contenant des informations sur des fruits ayant certaines caractéristiques et dont on veut prédire si c'est un fruit délicieux ou pas:

Tableau 1. Exemple d'un dataset pour étude de cas d'un perceptron

<i>Fruit</i>	<i>Goût</i>	<i>Graine</i>	<i>Chair</i>	<i>Délicieux ?</i>
1	1	1	0	1
2	1	0	1	1
3	0	0	0	0
4	1	1	1	1
5	0	0	1	0

Dans l'exemple ci-haut, les caractéristiques sont: goût, graine et chair. C'est en fonction de ces trois caractéristiques que l'on peut savoir si le fruit est délicieux ou pas. Et, 1 dans la colonne ayant la cellule jaune représente délicieux et 0 représente pas délicieux. Cette dernière colonne est appelée Target (y). Tandis que les trois colonnes qui la précèdent (caractéristiques) sont appelées Features. De ces données, il faut maintenant créer un modèle de neurone pour arriver à prédire, à partir des nouvelles données des fruits si, partant de leurs caractéristiques, ils sont délicieux ou pas. Ainsi, doter ce modèle de cette capacité, en terme technique se dit entrainer le modèle.

Précisons qu'un Perceptron est composé d'une couche d'entrée, appelée aussi vecteur de n neurones qui correspond chacune à une variable d'entrée (Dans notre exemple, le fruit 2 a pour variables d'entrée 1,0,1) et ces neurones vont transmettre la valeur de leur entrée à la couche suivante, dans le cas échéant, à la couche de sortie. Toutefois, pour ajouter de la flexibilité à l'algorithme du perceptron, en permettant de varier le seuil de déclenchement du neurone par l'ajustement des poids lors de l'apprentissage, la nouvelle version du perceptron intègre l'ajout d'une unité appelée biais qui prend souvent -1 et 1 comme valeur [3]. Ce qui fait que le vecteur fruit 2 devient $\vec{x} = (1, 1, 0, 1)$, si on ajoute le biais de 1. Dans le cas de neurone formel, le biais joue le rôle de seuil d'activation. Ayant des valeurs d'entrées, le réseau ne manque que des poids qui pondèrent les entrées et peuvent être modifiés par apprentissage. On peut nommer le poids w . Le poids w_{ji} est donc la connexion entre le neurone d'entrée j et le neurone de sortie i dont le processus d'activation de la sortie s'illustre de la manière suivante:

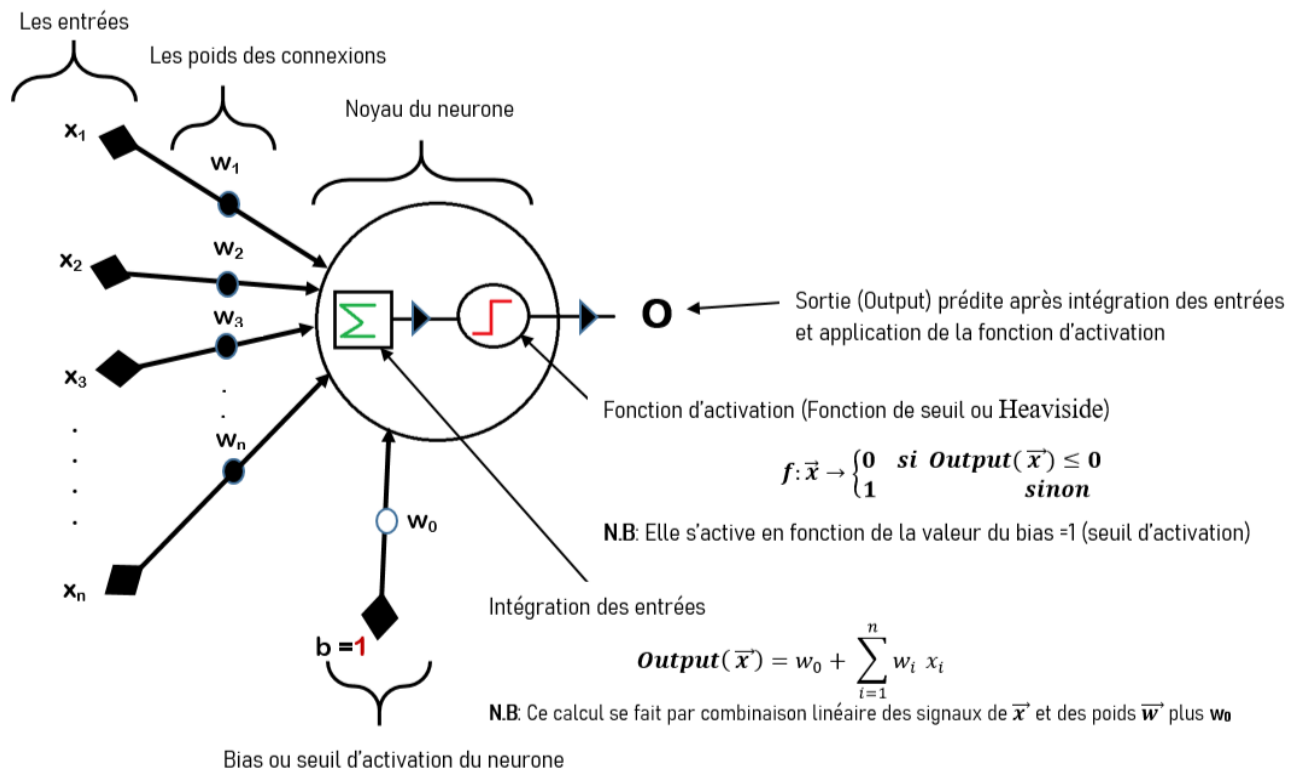


Fig. 1. Représentation du processus d'activation d'un neurone formel

Si nous retournons à l'exemple de notre dataset des fruits ci-haut, nous pouvons appliquer l'algorithme de perceptron en ceci pour le cas du fruit 1:

Observation du fruit 1

$\vec{x} = \text{fruit 1} = (1, 1, 0)$ et $\vec{w} = (0, 0, 0)$ sont les poids correspondant à chaque variable d'entrée x_i . Le biais est initialisé ici à 1 et vecteur de poids de connexion à 0, car l'algorithme d'entraînement nécessite l'initialisation aléatoire, au début, du vecteur de poids de connexion [3]. Signalons que la valeur du vecteur de poids de connexion n'est pas nécessairement 0, les poids sont initialisés avec des valeurs aléatoires tirées de l'intervalle entre $(-1, +1)$ [10].

Afin d'entraîner notre modèle pour l'observation du fruit, nous devons préciser que l'entraînement se fait en suivant cet algorithme:

1. Insérer les valeurs d'entrée ($\vec{x}$) d'une observation
2. Initialiser aléatoirement les poids ($\vec{w}$)
3. Calculer la combinaison linéaire $\vec{x}$ et $\vec{w}$ de l'observation plus w_0
4. Faire vérifier si la valeur de sortie ($\hat{y}$) après l'activation marche avec le target (y)
 - Calculer l'erreur de prédiction pour l'observation
 - Mettre à jour les poids de connexion
5. Jusqu'à **convergence** entre y et $\hat{y}$

Sur ce, la combinaison linéaire $\text{output}(\vec{x}) = w_0 + \sum_{i=1}^n w_i x_i = 0 + (1*0) + (1*0) + (0*0) = 0$. C'est ce 0 qui est dans le noyau du perceptron ci-dessous (Cf. Fig. 2). Si nous regardons la valeur d'output de la Fig. 2, nous constatons qu'elle vaut 0. En fait, étant donné que le résultat de output ($\vec{x}$) qui est égal à 0 est inférieur à la valeur du biais qui vaut 1. C'est ainsi que selon la règle d'activation (Cf. Fig.1), le output ($\hat{y}$) vaut 0.

Nous constatons que $\hat{y}$ ne correspond pas à y . En effet, la valeur de y pour le fruit 1 vaut 1, Cf. Il y a donc erreur. Pour calculer cette erreur, dans le cadre de neurone formel, on utilise la formule $E = y - \hat{y}$. Sur ce, $E = 1 - 0 = 1$. Ce dernier indique réellement qu'il y a erreur de prédiction. Il faut donc ajuster les poids de connexion afin de permettre au perceptron de ne pas

commettre l'erreur de classification de ce premier fruit. En ce sens, on applique la règle suivante d'ajustement: $\Delta w_j = \eta (y - \hat{y}) x_j$ et le poids ajusté sera calculé comme suit: $w_j^+ = w_j + \Delta w_j$.

Légende

$y - \hat{y}$: Erreur de prédiction. C'est elle qui détermine s'il faut corriger ou non les paramètres.

$\hat{y}$: Valeur de sortie prédite par le modèle

y : Target cible. Pour le fruit 1, c'est 1. Cf.

x_j : C'est la force du signal. En fait, c'est la variable se trouvant dans l'échelle du poids que l'on veut ajuster. Dans notre cas, nous avons 1, 1, 0.

η : Taux d'apprentissage qui détermine l'amplitude de l'apprentissage. Le choix de ce taux intrigue souvent. En effet, quand c'est trop petit, il y aura la lenteur de convergence et quand c'est trop grand, il y a une sorte d'oscillation [11]. En général, le taux d'apprentissage est choisi entre 0.05 et 0.15. Dans le cas de notre exemple, nous avons choisi 0.25.

w_j : C'est le poids précédent

w_j^+ : Le poids ajusté.

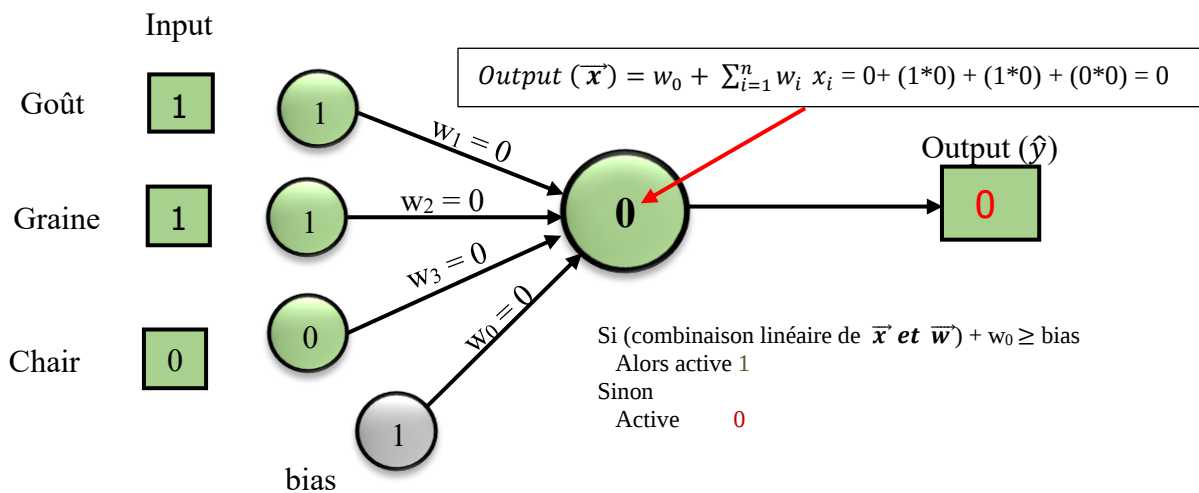


Fig. 2. Entraînement du perceptron avec l'observation du fruit

Cela étant, nous pouvons ajuster nos poids comme suit:

Tableau 2. Résultat des poids ajustés dans le premier entraînement

Features pour fruit 1	x_j	Erreur = $y - \hat{y}$ = 1 - 0 = 1	η	$\Delta w_j = \eta (\text{Erreur}) x_j$	w_j	$w_j^+ = w_j + \Delta w_j$
Goût	1	1	0.25	0.25	0	0.25
Graine	1	1	0.25	0.25	0	0.25
Chair	0	1	0.25	0	0	0

En remplaçant les nouvelles valeurs des poids (w_j^+) dans notre algorithme, nous obtenons le résultat suivant:

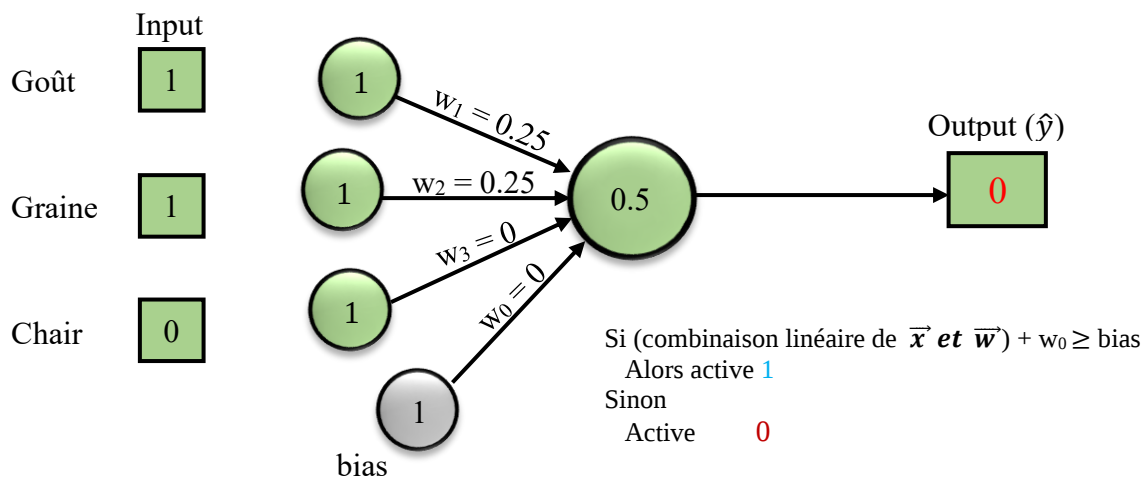


Fig. 3. Résultat du premier entraînement du perceptron avec l'observation du fruit 1

Le résultat de Fig. 3 montre que le perceptron a encore activé 0 car 0.5 est inférieur au biais. D'où, la continuation de l'entraînement du modèle jusqu'à ce qu'il apprenne et prédise le vrai résultat correspondant au target du fruit 1.

Tableau 3. Résultat des poids ajustés dans le deuxième entraînement

Features pour fruit 1	x_j	Erreur = $y - \hat{y}$ = 1 - 0 = 1	η	$\Delta w_j = \eta$ (Erreur) x_j	w_j	$w_j^+ = w_j + \Delta w_j$
Goût	1	1	0.25	0.25	0.25	0.5
Graine	1	1	0.25	0.25	0.25	0.5
Chair	0	1	0.25	0	0	0

On constate dans le diagramme ci-dessous que notre modèle a appris pour cette observation car la sortie $\hat{y}$ correspond au target y cible pour l'observation du fruit 1. On peut ainsi entraîner, avec le même processus, les autres observations de

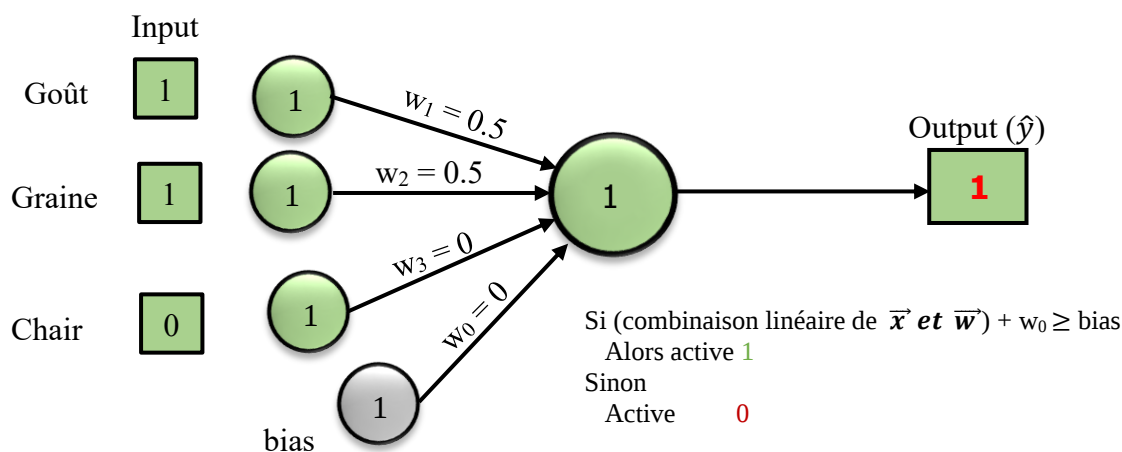


Fig. 4. Arrêt de l'apprentissage pour l'observation du fruit 1

En substance, nous venons là d'utiliser la fonction de seuil ou de Heaviside pour pouvoir prédire une étiquette binaire (soit 1, soit 0). En fait, le perceptron dans sa dimension unitaire est un classifieur linéaire qui classifie des données à partir d'une combinaison linéaire de ses entrées. De ce fait, il est incapable de classifier des données dans des classes non linéairement séparables. Ainsi, pour des cas des problèmes de classification multi-classe, on devrait modifier cette architecture que nous avons utilisé ci-haut de sorte à n'avoir non plus un seul neurone comme sortie mais plutôt C neurones dans la couche de sortie

tel que C le nombre de différentes classes de sortie. En ce sens, les $j + 1$ neurones de la couche d'entrée seront tous connectés à chacun de neurone de sortie. Sur ce, on utilise la fonction *softmax* comme fonction d'activation [3].

Bref, le perceptron pose de problème d'apprentissage car sa capacité de modélisation ne prend pas en compte les modèles non linéaires. Alors que nous faisons face aujourd'hui à des problèmes complexes non linéaires qui doivent être modélisés. D'où, l'importance de mise en place des perceptrons multicouche appelés aussi *Multi-layer perceptron* (MLP) afin de rendre l'apprentissage plus profond [5].

2.2 PERCEPTRON MULTI-COUCHE

Le PMC est un modèle de réseau qui contient, à la différence de neurones formels qui n'ont que la couche d'entrée et celle de sortie, des couches cachées ayant pour fonction de faire des traitements intermédiaires pour une meilleure prédiction [1]. Ces architectures font usage des fonctions qui sont non linéaires telles que la fonction tangente hyperbolique ou fonction logistique pour activer les sorties des neurones. On peut instruire avec ces modèles un réseau avec plusieurs couches cachées et de neurones. Ainsi, plus il y a de couches, plus le réseau est profond et le modèle devient riche. C'est du Deep Learning [7].

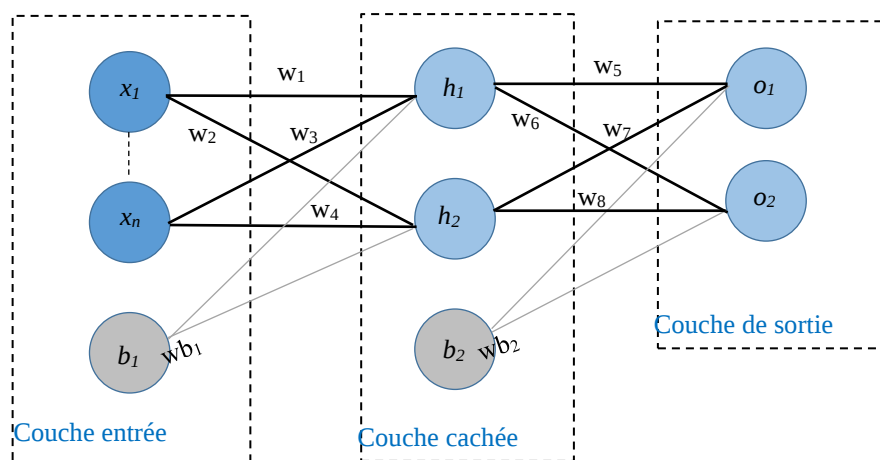


Fig. 5. Exemple d'une architecture du perceptron multicouche

Fig. 5 représente un réseau composé de neurones interconnectés en trois couches successives. La première couche, qui est celle d'entrée est composée de neurones dits transparents qui n'effectuent aucun calcul mais qui distribuent leurs entrées à tous les neurones de la couche suivante dite couche cachée. Les neurones de la couche cachée reçoivent ainsi les entrées $\{x_1, \dots, x_n\}$ de la couche d'entrée avec les poids associés $\{w_1, \dots, w_n\}$. Chaque neurone de la couche cachée comprend deux phases. La première que l'on peut appeler *netinput* contient le résultat du calcul de la somme pondérée des entrées de la couche d'entrée et du biais: $Netinput_j = (x_1 * w_1) + (x_2 * w_2) + \dots + (x_n * w_n) + (b_j * w_{bj})$ et la seconde *netoutput* comprend le résultat de la transformation de *netinput* par l'intermédiaire de la fonction d'activation. En général, les couches cachées utilisent la fonction ReLU (*Rectified Linear Unit*), en français, Unité Linéaire Rectifiée pour le cas de prédiction des valeurs positives non dérivable et la couche de sortie utilise soit la fonction sigmoïde pour le cas d'une sortie binaire soit la fonction softmax pour des classifications multi-classe comme fonctions d'activation. Toutefois, dans le cadre de cet article, nous allons utiliser la fonction sigmoïde (logistique) comme fonction d'activation pour aussi bien la couche de sortie que celles cachées. Signalons que le même processus de *netinput* et de *netoutput* s'effectue aussi dans les neurones de la couche de sortie.

Dans le cas où il y a erreur dans la sortie, on n'utilisera plus le même processus comme pour le réseau de neurone formel, mais plutôt l'algorithme de la rétro-propagation qui est une méthode permettant de mettre à jour les coefficients d'un réseau de neurones multicouche en comparant la sortie obtenue et la sortie désirée (target). Cette méthode vérifie la contribution à l'erreur de chaque neurone après le traitement d'un batch (lot) de données [6]. Le point 4.1 illustre le fonctionnement de cet algorithme.

En sus, les perceptrons multicouches sont des réseaux neuronaux artificiels de type feedforward qui s'inspirent des capacités de la cognition humaine et du système cérébral pour traiter l'information [14]. En fait, un réseau neuronal de type feedforward peut être considéré comme étant une régression logistique, mais avec une projection sur certaines couches

cachées pour rendre l'entrée plus linéairement séparable. Cette méthode initialisée des poids aléatoires et est formée par la minimisation de l'erreur rétro-propagée en utilisant une méthode basée sur la descente de gradient [8].

3 PRÉDIRE LA VALEUR DE SORTIE AVEC LA FONCTION SIGMOÏDE

3.1 FONCTIONS D'ACTIVATION

Il existe plusieurs types de fonctions d'activation. On parle de fonction d'activation du perceptron non lisse lorsque le taux d'erreur du modèle est une fonction discontinue des paramètres de poids. Avec ce type de fonctions, l'ajustement des poids optimaux en minimisant la fonction de perte est souvent difficile. D'où, l'application d'une fonction d'activation continue afin de résoudre ce problème. En ce sens, la fonction sigmoïde logistique est un choix approprié à cet effet car elle est capable d'apprendre les limites de décision non linéaires pour les espaces séparables non linéaires. En fait, les fonctions d'activation dans le PMC doivent être non linéaires, continuellement différenciables et non décroissantes de façon monotone [4].

En outre, il est souhaitable de choisir une fonction d'activation dont la dérivée serait facilement calculée. En faisant ainsi usage d'une fonction d'activation non linéaire, par exemple sigmoïde, le PMC est un approximateur de fonction universelle. C'est-à-dire qu'un réseau de perceptron multicouche à une seule couche cachée associée à un nombre suffisamment grand et fini de neurones peut approcher et apprendre toute fonction continue sur un domaine compact avec une précision arbitraire [15].

3.2 NÉCESSITÉ DE LA FONCTION SIGMOÏDE

Lors de la rétro-propagation en PMC, l'objectif est de minimiser la fonction coût. Ainsi, les fonctions sigmoïde et tangente hyperbolique, calculent toutes deux leurs dérivés de manière très simple et efficace, ce qui justifie leur utilisation courante lors de l'optimisation du gradient dans un PMC. Bien que les fonctions ReLU sont utilisées dans des réseaux de neurones modernes et permettent un apprentissage plus rapide et plus efficace des réseaux neuronaux profonds sur des données complexes et à haute dimension, en calculant la fonction $f(x) = \max(0, x)$ et en seuillant simplement la matrice d'entrée à zéro, en ne nécessitant pas de calcul coûteux [15], la fonction sigmoïde est le plus utilisé car elle est dérivable en tout point [13].

On utilise ainsi la dérivée de la fonction Sigmoïde pour calculer le coefficient d'erreur. Elle permet de calculer les erreurs en faisant une marche en arrière tout en parcourant toutes les couches en partant de la sortie à l'entrée pour voir comment l'erreur a été propagée sur le réseau neuronal afin d'ajuster les poids des connexions des neurones [13]. Considérons l'exemple d'un réseau de neurones qui classe des images qu'on lui donne en entrée afin de déterminer si l'image est celle d'un chien ou d'un chat (Fig. 6). Ce modèle, en cas d'une erreur de classification, fera une marche en arrière en faisant des calculs des dérivées partielles de l'erreur $E(x, y, \theta)$ par rapport à w_{ji}^h correspondant à la valeur du poids reliant le neurone i de la couche h à son entrée j .

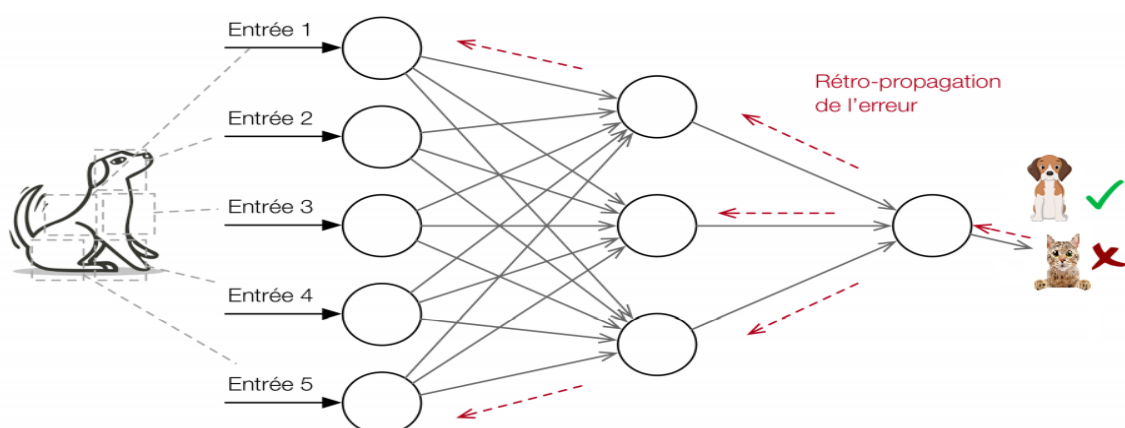


Fig. 6. Illustration graphique du processus de la rétro-propagation

4 ENTRAINER UN RESEAU DE NEURONES AVEC L'ALGORITHME DE RÉTRO-PROPAGATION DE GRADIENT

4.1 REVUE DE LITTÉRATURE

D'emblée, pour effectuer l'apprentissage, trois éléments sont essentiels. La *Force du signal*, l'*Erreur* et le *Taux d'apprentissage*. Toutefois, il est important de savoir, certaines notions élémentaires interviennent lors de l'apprentissage d'un modèle de perceptron multicouche.

Rappelons que l'algorithme de rétro-propagation de gradient est l'un des algorithmes les plus répandus dans les réseaux de neurones de type feedforward, c'est-à-dire à propagation directe. Cet algorithme comprend deux grandes phases:

1. Propagation ou Forward Pass: Dans cette première phase, à chaque itération (Epoch), on donne au réseau un ensemble des entrées. Ces entrées sont propagées jusqu'à la couche de sortie avec un résultat $\hat{y}$ (output). Si cette sortie ne correspond pas au target cible y , l'algorithme va faire une marche en arrière (de la couche de sortie à la couche d'entrée) pour corriger cette erreur en modifiant progressivement les poids se trouvant dans chaque neurone de chaque couche.
2. Correction de l'erreur Backward Pass: Dans le premier Epoch, le réseau ne fournit pas souvent exactement ce que l'on attend comme résultat. Il doit d'abord apprendre. On calcule ainsi l'erreur entre la valeur de sortie et la valeur cible. De façon générale, on fait la somme quadratique moyenne des erreurs, en anglais *mean squared error* (MSE) pour tous les neurones de sortie que l'on rétro-propage dans le réseau.

Cela étant, les poids du réseau seront changés à chaque itération. Ce changement se fait de sorte à minimiser l'erreur entre la sortie désirée, le target cible et le résultat du réseau à une entrée x_i . Ce changement est ainsi effectué via la méthode de descente de gradient. En fait, partant de deux phases ci-haut, l'algorithme propage le signal d'entrée dans le réseau à chaque itération dans le sens de la sortie afin d'obtenir une sortie et l'on calcule l'erreur entre cette sortie et la sortie désirée. Ensuite, par rétro-propagation, on calcule des erreurs intermédiaires qui correspondent aux couches cachées. Enfin, on ajuste des poids w_{ji}^h . Le but de l'apprentissage est de trouver donc les poids corrects des connexions, c'est-à-dire donnant au réseau un comportement se rapprochant le plus possible de celui du target. D'où, l'algorithme de rétro-propagation consiste à effectuer plusieurs itérations (Epoch) jusqu'à ce que l'erreur soit suffisamment petite [16].

Algorithme de rétro-propagation de gradient

Initialisation aléatoire des poids w_{ij} tirés de l'intervalle $[-1, +1]$

Normalisation dans l'intervalle $[0, 1]$ des données d'apprentissage

Tant que la fonction coût $E > \text{erreur max}$ ou Epoch $n < \text{Epoch max}$ **Fait**

Propager un exemple X : $x_i = f(SP_i)$ avec SP_i la somme pondérée $((x_1 * w_1) + (x_2 * w_2) + \dots + (x_n * w_n) + (b_j * w_{bj}))$

Rétro-propager:

Couche de sortie: $\delta_i = -f'(SP_i) (target_i - x_i)$ avec x_i la valeur prédite après activation

Couche cachée: $\delta_i = f'(SP_i) \sum_k w_{ki} \delta_k$ avec k la couche suivante

Mettre à jour chaque poids $w_{ij}^+ = w_{ij} - \eta * \frac{\partial E(x,y,\theta)}{\partial w_{ij}}$

Fin Tant que

4.2 ETUDE DE CAS

Imaginons une base d'observation ayant pour entrées $x_1 = 2$; $x_2 = 3$, avec les biais $b_1 = 1$; $b_2 = 1$; $b_3 = 1$; $b_4 = 1$ ayant respectivement pour poids 0.25; 0.45; 0.15; 0.35. Le taux d'apprentissage est donné par $\eta = 0.1$. Les targets cibles pour x_1 vaut 1 et x_2 vaut 0.2. Enfin, les poids de connexion sont donnés par $W_1 = 0.3$; $W_2 = 0.2$; $W_3 = -0.4$; $W_4 = 0.6$; $W_5 = 0.7$; $W_6 = -0.3$; $W_7 = 0.5$; $W_8 = -0.1$. On peut représenter ce réseau de la manière suivante:

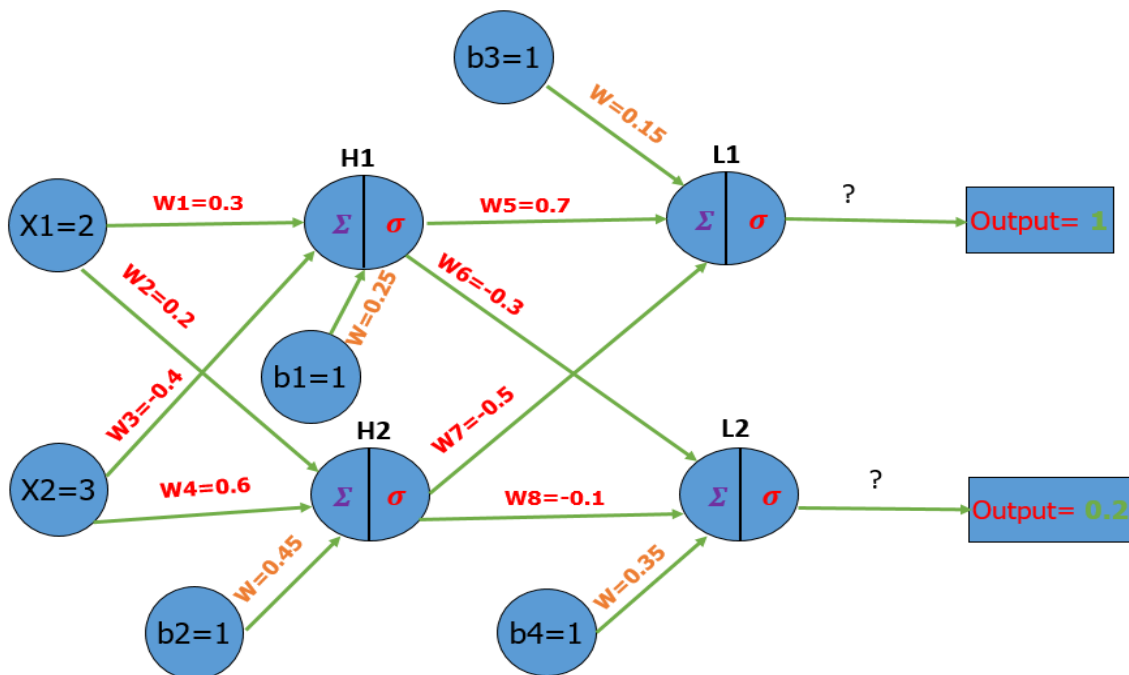


Fig. 7. Réseau relatif à l'observation

Le réseau ci-dessus comprend une couche cachée (H) et une couche de sortie (L). Le but est d'entraîner ce modèle pour qu'il soit généralisé pour d'autres observations. On voit également que dans chaque neurone, il y a deux parties Σ et σ . Le symbole de somme représente le Netinput tandis que le sigma représente le Netoutput. Rappelons que nous allons entraîner ce modèle en itérant les deux phases de l'algorithme de rétro-propagation de gradient:

Epoch 1

Forward Pass

Par definition,

$$\begin{aligned}\text{NetinputH1} &= (w1*x1 + w3*x2 + \text{bias1}*wbias1) \\ &= [(0.3*2) + ((-0.4)*3) + (0.25*1)] \\ &= -0.35\end{aligned}$$

et

$$\begin{aligned}\text{NetoutputH1} &= \frac{1}{1+e^{-\text{NetinputH1}}} \\ &= \frac{1}{1+e^{-(-0.35)}} \\ &= 0.413382421\end{aligned}$$

En appliquant les mêmes procédures pour les autres neurones, on obtient ce résultat:

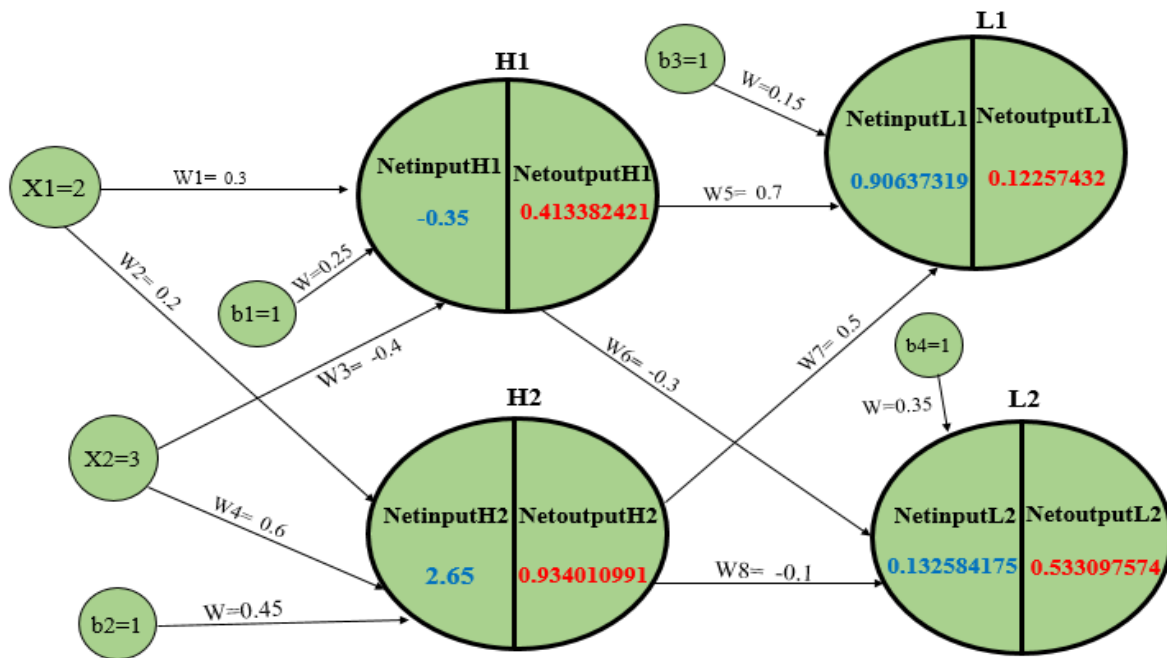


Fig. 8. Forward Pass Epoch 1

Nous pouvons voir que le target cible pour x_1 est 1, mais le modèle à prédire 0,712257432, il y a donc une erreur. De même, pour x_2 qui est 0,2, la sortie du réseau neuronal vaut 0,533097574, ce qui est également une erreur. Nous calculons donc l'erreur pour enfin faire le backward Pass et ajuster les poids. En effet, nous voulons trouver des poids et biais qui feront que, quelles que soient les entrées x_1 et x_2 , nous ayons toujours un NetoutputL1 le plus proche de 1 et NetoutputL2 le plus proche de 0.2.

Calcul d'Erreur

En faisant usage de la fonction de moindre carré, nous obtenons:

$$\begin{aligned}
 E_{\text{outputL1}} &= 1/2 (\text{Target1} - \text{OutputL1})^2 \\
 &= 1/2 (1 - 0.712257432)^2 \\
 &= 0.041397893
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{\text{outputL2}} &= 1/2 (\text{Target2} - \text{OutputL2})^2 \\
 &= 1/2 (0.2 - 0.533097574)^2 \\
 &= 0.055476997
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{\text{Total}} &= E_{\text{outputL1}} + E_{\text{outputL2}} \\
 &= 0.041397893 + 0.055476997 \\
 &= 0.096874889
 \end{aligned}$$

Etant donné que l'erreur obtenue ci-haut, nous allons maintenant passer à la seconde phase de la rétro-propagation.

Backward Pass

Comme les résultats de sortie ne sont pas les mêmes avec les résultats attendus, et avec l'obtention d'une erreur, nous allons maintenant calculer le changement de poids en utilisant la règle d'apprentissage. Nous pouvons donc appliquer le théorème de dérivation des fonctions composées en dérivant l'erreur par rapport à chaque poids.

Soit la fonction composée $f(g(h(x)))$, sa dérivée partielle donne:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{\partial h}{\partial x} * \frac{\partial g}{\partial h} * \frac{\partial f}{\partial g}$$

Dans le cas échéant,

f: Eoutputi

x: w_{ji}^h

g: Netoutputi

h: Netinputi

Ce qui donne:

$$\begin{aligned} w1 &= \frac{\partial Etotal}{\partial w1} = \frac{\partial NetinputH1}{\partial w1} * \frac{\partial NetoutputH1}{\partial NetinputH1} * \frac{\partial Etotal}{\partial NetoutputH1} \\ w2 &= \frac{\partial Etotal}{\partial w2} = \frac{\partial NetinputH2}{\partial w2} * \frac{\partial NetoutputH2}{\partial NetinputH2} * \frac{\partial Etotal}{\partial NetoutputH2} \\ w3 &= \frac{\partial Etotal}{\partial w3} = \frac{\partial NetinputH1}{\partial w3} * \frac{\partial NetoutputH1}{\partial NetinputH1} * \frac{\partial Etotal}{\partial NetoutputH1} \\ w4 &= \frac{\partial Etotal}{\partial w4} = \frac{\partial NetinputH2}{\partial w4} * \frac{\partial NetoutputH2}{\partial NetinputH2} * \frac{\partial Etotal}{\partial NetoutputH2} \\ w5 &= \frac{\partial Etotal}{\partial w5} = \frac{\partial NetinputL1}{\partial w5} * \frac{\partial NetoutputL1}{\partial NetinputL1} * \frac{\partial Etotal}{\partial NetoutputL1} \\ w6 &= \frac{\partial Etotal}{\partial w6} = \frac{\partial NetinputL2}{\partial w6} * \frac{\partial NetoutputL2}{\partial NetinputL2} * \frac{\partial Etotal}{\partial NetoutputL2} \\ w7 &= \frac{\partial Etotal}{\partial w7} = \frac{\partial NetinputL1}{\partial w7} * \frac{\partial NetoutputL1}{\partial NetinputL1} * \frac{\partial Etotal}{\partial NetoutputL1} \\ w8 &= \frac{\partial Etotal}{\partial w8} = \frac{\partial NetinputL2}{\partial w8} * \frac{\partial NetoutputL2}{\partial NetinputL2} * \frac{\partial Etotal}{\partial NetoutputL2} \end{aligned}$$

Notes:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial E_{total}}{\partial NetoutputH1} &= \frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetoutputH1} + \frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetoutputH1} \\
\frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetoutputH1} &= \frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetL1} * \frac{\partial NetinputL1}{\partial NetoutputH1} \\
\frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetinputL1} &= \frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetoutputL1} * \frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetinputL1} \\
\frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetoutputL1} &= -(Target1 - NetoutputL1) \\
\frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetinputL1} &= NetoutputL1 * (1 - NetoutputL1) \\
\frac{\partial NetinputL1}{\partial NetoutputH1} &= w5 = 0.7 \\
\frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetoutputH1} &= \frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetinputL2} * \frac{\partial NetinputL2}{\partial NetoutputH1} \\
\frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetinputL2} &= \frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetoutputL2} * \frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetinputL2} \\
\frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetoutputL2} &= -(Target2 - NetoutputL2) \\
\frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetinputL2} &= NetoutputL2 * (1 - NetoutputL2) \\
\frac{\partial NetinputL2}{\partial NetoutputH1} &= w6 = -0.3 \\
\frac{\partial NetinputH1}{\partial w1} &= x1 = 2 \\
\frac{\partial NetoutputH1}{\partial NetinputH1} &= NetoutputH1 * (1 - NetoutputH1)
\end{aligned}$$

$w1 = \frac{\partial E_{total}}{\partial w1}$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial E_{total}}{\partial NetoutputH2} &= \frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetoutputH2} + \frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetoutputH2} \\
\frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetoutputH2} &= \frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetinputL2} * \frac{\partial NetinputL2}{\partial NetoutputH2} \\
\frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetinputL2} &= \frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetoutputL2} * \frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetinputL2} \\
\frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetoutputL2} &= -(Target2 - NetoutputL2) \\
\frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetinputL2} &= NetoutputL2 * (1 - NetoutputL2) \\
\frac{\partial NetinputL2}{\partial NetoutputH2} &= w8 = -0.1 \\
\frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetoutputH2} &= \frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetinputL1} * \frac{\partial NetinputL1}{\partial NetoutputH2} \\
\frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetinputL1} &= \frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetoutputL1} * \frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetinputL1} \\
\frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetoutputL1} &= -(Target1 - NetoutputL1) \\
\frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetinputL1} &= NetoutputL1 * (1 - NetoutputL1) \\
\frac{\partial NetinputL1}{\partial NetoutputH2} &= w7 = 0.5 \\
\frac{\partial NetinputH2}{\partial w2} &= x1 = 2 \\
\frac{\partial NetoutputH2}{\partial NetinputH2} &= NetoutputH2 * (1 - NetoutputH2)
\end{aligned}$$

$w2 = \frac{\partial E_{total}}{\partial w2}$

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial E_{total}}{\partial NetoutputH1} &= \frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetoutputH1} + \frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetoutputH1} \\
 \frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetoutputH1} &= \frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetinputL1} * \frac{\partial NetinputL1}{\partial NetoutputH1} \\
 \frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetinputL1} &= \frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetoutputL1} * \frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetinputL1} \\
 \frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetoutputL1} &= -(Target1 - NetoutputL1) \\
 \frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetinputL1} &= NetoutputL1 * (1 - NetoutputL1) \\
 \frac{\partial NetinputL1}{\partial NetoutputH1} &= w5 = 0.7 \\
 \frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetoutputH1} &= \frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetinputL2} * \frac{\partial NetinputL2}{\partial NetoutputH1} \\
 \frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetinputL2} &= \frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetoutputL2} * \frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetinputL2} \\
 \frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetoutputL2} &= -(Target2 - NetoutputL2) \\
 \frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetinputL2} &= NetoutputL2 * (1 - NetoutputL2) \\
 \frac{\partial NetinputL2}{\partial NetinputH1} &= w6 = -0.3 \\
 \frac{\partial NetinputH1}{\partial w3} &= x2 = 3 \\
 \frac{\partial NetoutputH1}{\partial NetinputH1} &= NetoutputH1 * (1 - NetoutputH1)
 \end{aligned}$$

$w3 = \frac{\partial E_{total}}{\partial w3}$

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial E_{total}}{\partial NetoutputH2} &= \frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetoutputH2} + \frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetoutputH2} \\
 \frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetoutputH2} &= \frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetinputL2} * \frac{\partial NetinputL2}{\partial NetoutputH2} \\
 \frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetinputL2} &= \frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetoutputL2} * \frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetinputL2} \\
 \frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetoutputL2} &= -(Target2 - NetoutputL2) \\
 \frac{\partial E_{outputL2}}{\partial NetinputL2} &= NetoutputL2 * (1 - NetoutputL2) \\
 \frac{\partial NetinputL2}{\partial NetoutputH2} &= w8 = -0.1 \\
 \frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetoutputH2} &= \frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetinputL1} * \frac{\partial NetinputL1}{\partial NetoutputH2} \\
 \frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetinputL1} &= \frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetoutputL1} * \frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetinputL1} \\
 \frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetoutputL1} &= -(Target1 - NetoutputL1) \\
 \frac{\partial E_{outputL1}}{\partial NetinputL1} &= NetoutputL1 * (1 - NetoutputL1) \\
 \frac{\partial NetinputL1}{\partial NetinputH2} &= w7 = 0.5 \\
 \frac{\partial NetinputH2}{\partial w4} &= x2 = 3 \\
 \frac{\partial NetoutputH2}{\partial NetinputH2} &= NetoutputH2 * (1 - NetoutputH2)
 \end{aligned}$$

$w4 = \frac{\partial E_{total}}{\partial w4}$

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial E_{total}}{\partial NetoutputL1} &= - (Target1 - NetoutputL1) \\
 \frac{\partial NetinputL1}{\partial w5} &= NetoutputH1 = \frac{1}{1 + e^{-NetinputH1}} \\
 \frac{\partial NetoutputL1}{\partial NetinputL1} &= NetoutputL1 * (1 - NetoutputL1)
 \end{aligned}
 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \frac{\partial E_{total}}{\partial NetoutputL1} &= - (Target1 - NetoutputL1) \\ \frac{\partial NetinputL1}{\partial w5} &= NetoutputH1 = \frac{1}{1 + e^{-NetinputH1}} \\ \frac{\partial NetoutputL1}{\partial NetinputL1} &= NetoutputL1 * (1 - NetoutputL1) \end{aligned}} \right\} w5 = \frac{\partial E_{total}}{\partial w5}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial E_{total}}{\partial NetoutputL2} &= - (Target2 - NetoutputL2) \\
 \frac{\partial NetinputL2}{\partial w6} &= NetoutputH1 = \frac{1}{1 + e^{-NetinputH1}} \\
 \frac{\partial NetoutputL2}{\partial NetinputL2} &= NetoutputL2 * (1 - NetoutputL2)
 \end{aligned}
 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \frac{\partial E_{total}}{\partial NetoutputL2} &= - (Target2 - NetoutputL2) \\ \frac{\partial NetinputL2}{\partial w6} &= NetoutputH1 = \frac{1}{1 + e^{-NetinputH1}} \\ \frac{\partial NetoutputL2}{\partial NetinputL2} &= NetoutputL2 * (1 - NetoutputL2) \end{aligned}} \right\} w6 = \frac{\partial E_{total}}{\partial w6}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial E_{total}}{\partial NetoutputL1} &= - (Target1 - NetoutputL1) \\
 \frac{\partial NetinputL1}{\partial w7} &= NetoutputH2 = \frac{1}{1 + e^{-NetinputH2}} \\
 \frac{\partial NetoutputL1}{\partial NetinputL1} &= NetoutputL1 * (1 - NetoutputL1)
 \end{aligned}
 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \frac{\partial E_{total}}{\partial NetoutputL1} &= - (Target1 - NetoutputL1) \\ \frac{\partial NetinputL1}{\partial w7} &= NetoutputH2 = \frac{1}{1 + e^{-NetinputH2}} \\ \frac{\partial NetoutputL1}{\partial NetinputL1} &= NetoutputL1 * (1 - NetoutputL1) \end{aligned}} \right\} w7 = \frac{\partial E_{total}}{\partial w7}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial E_{total}}{\partial NetoutputL2} &= - (Target2 - NetoutputL2) \\
 \frac{\partial NetinputL2}{\partial w8} &= NetoutputH2 = \frac{1}{1 + e^{-NetinputH2}} \\
 \frac{\partial NetoutputL2}{\partial NetinputL2} &= NetoutputL2 * (1 - NetoutputL2)
 \end{aligned}
 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \frac{\partial E_{total}}{\partial NetoutputL2} &= - (Target2 - NetoutputL2) \\ \frac{\partial NetinputL2}{\partial w8} &= NetoutputH2 = \frac{1}{1 + e^{-NetinputH2}} \\ \frac{\partial NetoutputL2}{\partial NetinputL2} &= NetoutputL2 * (1 - NetoutputL2) \end{aligned}} \right\} w8 = \frac{\partial E_{total}}{\partial w8}$$

En regardant la Fig. 8, l'on se rend compte que dans ce réseau de neurones, NetoutputH1 et NetoutputH2 influencent L1 et donc $E_{outputL1}$, mais aussi L2 (et donc $E_{output2}$). C'est ainsi que pour W1, W2, W3 et W4, nous nous sommes intéressé aux dérivées de E_{total} par rapport respectivement à NetoutputL1 et à NetoutputL2.

En revanche, nos dérivées partielles valent:

$$\begin{aligned}
 W1 = \frac{\partial E_{total}}{\partial w1} &= (((- (Target1 - NetoutputL1) * NetoutputL1 * (1 - NetoutputL1)) * W5) + ((- (Target2 - NetoutputL2) * NetoutputL2 * (1 - NetoutputL2)) * W6)) * x_1 * NetoutputH1 * (1 - NetoutputH1) \\
 &= (((- (1 - 0.712257432) * 0.712257432 * (1 - 0.712257432)) * 0.7) + ((- (0.2 - 0.533097574) * 0.533097574 * (1 - 0.533097574)) * (-0.3))) * 2 * (0.413382421) * (1 - 0.413382421) \\
 &= (-0.290008845) * 2 * (0.242497395) \\
 &= -0.140652779
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W2 = \frac{\partial E_{total}}{\partial w2} &= (((- (Target2 - NetoutputL2) * NetoutputL2 * (1 - NetoutputL2)) * W8) + ((- (Target1 - NetoutputL1) * NetoutputL1 * (1 - NetoutputL1)) * W7)) * x_1 * NetoutputH2 * (1 - NetoutputH2) \\
 &= (((- (0.2 - 0.533097574) * 0.533097574 * (1 - 0.533097574)) * (-0.1)) + ((- (1 - 0.712257432) * 0.712257432 * (1 - 0.712257432)) * 0.5)) * 2 * (0.934010991) * (1 - 0.934010991) \\
 &= (-0.037776907) * 2 * (0.06163446) \\
 &= -0.004656719
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W3 = \frac{\partial E_{total}}{\partial w3} &= (((- (Target1 - NetoutputL1) * NetoutputL1 * (1 - NetoutputL1)) * W5) + ((- (Target2 - NetoutputL2) * NetoutputL2 * (1 - NetoutputL2)) * W6)) * x_2 * NetoutputH1 * (1 - NetoutputH1) \\
 &= (((- (1 - 0.712257432) * 0.712257432 * (1 - 0.712257432)) * 0.7) + ((- (0.2 - 0.533097574) * 0.533097574 * (1 - 0.533097574)) * (-0.3))) * 3 * (0.413382421) * (1 - 0.413382421) \\
 &= (-0.290008845) * 3 * (0.242497395) \\
 &= -0.210979168
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W4 = \frac{\partial E_{total}}{\partial w4} &= (((- (Target2-NetoutputL2) * NetoutputL2 * (1-NetoutputL2)) * W8) + ((- (Target1-NetoutputL1) * NetoutputL1 * (1-NetoutputL1)) * W7)) * x_2 * NetoutputH2 * (1-NetoutputH2) \\
 &= (((- (0.2 - 0.533097574) * 0.533097574 * (1-0.533097574)) * (-0.1)) + ((- (1 - 0.712257432) * 0.712257432 * (1 - 0.712257432)) * 0.5)) * 3 * (0.934010991) * (1 - 0.934010991) \\
 &= (-0.037776907) * 3 * (0.06163446) \\
 &= \mathbf{-0.006985078}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W5 = \frac{\partial E_{total}}{\partial w5} &= (- (Target1-NetoutputL1)) * \frac{1}{1+e^{-NetinputH1}} * NetoutputL1 * (1-NetoutputL1) \\
 &= (- (1 - 0.712257432)) * \mathbf{0.413382421} * 0.712257432 * (1 - 0.712257432) \\
 &= \mathbf{-0.024377952}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W6 = \frac{\partial E_{total}}{\partial w6} &= (- (Target2-NetoutputL2)) * \frac{1}{1+e^{-NetinputH1}} * NetoutputL2 * (1-NetoutputL2) \\
 &= (- (0.2 - 0.533097574)) * \mathbf{0.413382421} * 0.533097574 * (1 - 0.533097574) \\
 &= \mathbf{0.034273331}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W7 = \frac{\partial E_{total}}{\partial w7} &= (- (Target1-NetoutputL1)) * \frac{1}{1+e^{-NetinputH2}} * NetoutputL1 * (1-NetoutputL1) \\
 &= (- (1 - 0.712257432)) * \mathbf{0.934010991} * 0.712257432 * (1 - 0.712257432) \\
 &= \mathbf{-0.055080415}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W8 = \frac{\partial E_{total}}{\partial w8} &= (- (Target2-NetoutputL2)) * \frac{1}{1+e^{-NetinputH2}} * NetoutputL2 * (1-NetoutputL2) \\
 &= (- (0.2 - 0.533097574)) * \mathbf{0.934010991} * 0.533097574 * (1 - 0.533097574) \\
 &= \mathbf{0.077438386}
 \end{aligned}$$

Après avoir obtenu les dérivées partielles de l'erreur totale par rapport à chaque poids, nous allons maintenant mettre à jour nos poids. Nous le savons, pour mettre à jour les poids, on utilise cette formule:

$$W_i^+ = W_i - \eta * \frac{\partial E_{total}}{\partial W_i}$$

avec η le taux d'apprentissage, W_i le poids à l'état actuel, et W_i^+ le nouveau poids mise à jour.

Ainsi,

$$\begin{aligned}
 W_1^+ &= 0.3 - 0.1 * (-0.140652779) \\
 &= \mathbf{0.314065278}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_2^+ &= 0.2 - 0.1 * (-0.004656719) \\
 &= \mathbf{0.200465672}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_3^+ &= (-0.4) - 0.1 * (-0.210979168) \\
 &= \mathbf{-0.378902083}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_4^+ &= 0.6 - 0.1 * (-0.006985078) \\
 &= \mathbf{0.600698508}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_5^+ &= 0.7 - 0.1 * (-0.024377952) \\
 &= \mathbf{0.702437795}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_6^+ &= (-0.3) - 0.1 * (0.034273331) \\
 &= \mathbf{-0.303427333}
 \end{aligned}$$

$$W_7^+ = 0.5 - 0.1 * (-0.055080415)$$

$$= 0.505508042$$

$$W_8^+ = (-0.1) - 0.1 * (0.077438386)$$

$$= -0.107743839$$

En remplaçant ces nouveaux poids dans le réseau, nous sommes passé à l'Epoch 2 où nous avons obtenu ce Forward Pass:

Epoch 2

Forward Pass

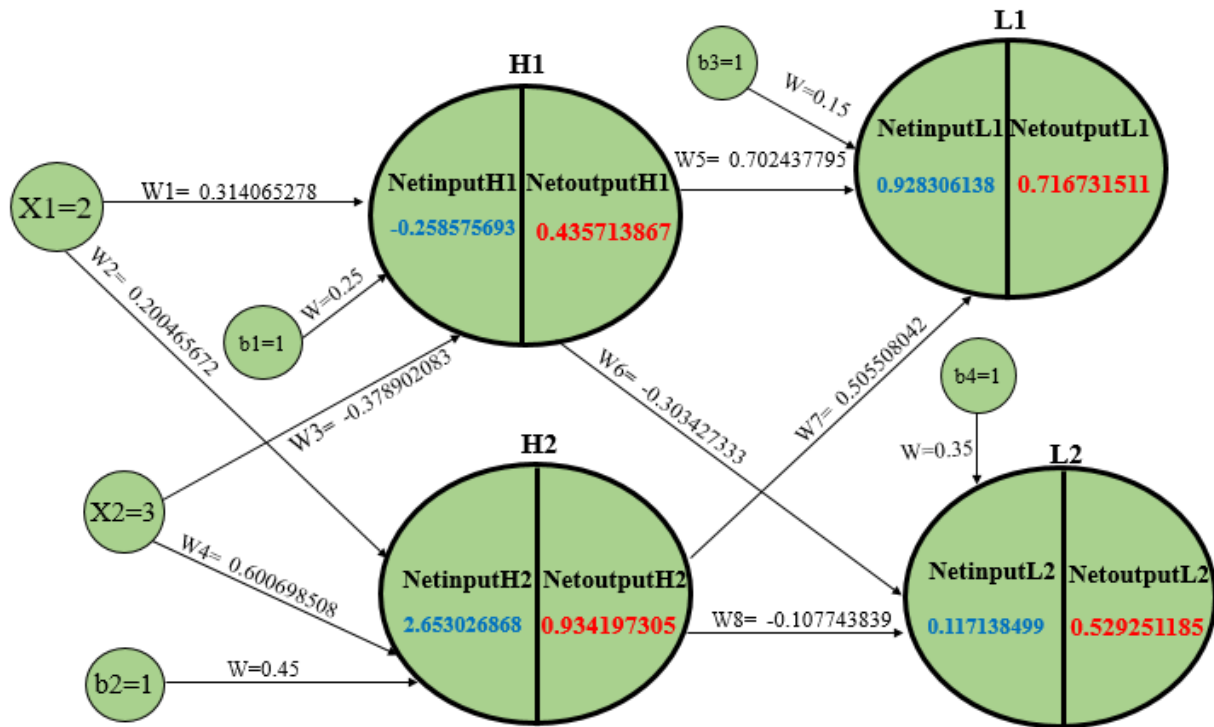


Fig. 9. Forward Pass Epoch 2

Le constat est que NetoutputL1 est toujours différent du target 1. En fait, $0.716731511 < 1$ et NetoutputL2 (0.529251185) différent de target 2 (0.2). Avec la même formule de l'erreur, nous obtenons 0.09432369 . Les résultats des nouveaux poids, après l'Epoch 1, nous ont montré que le réseau neuronal a appris un peu. En effet, lorsque nous avons remplacé ces poids à l'Epoch 2, nous nous sommes rendu compte que les résultats ont évolué positivement. En examinant les valeurs des targets attendus (target1 = 1; target2 = 0.2), et les sorties prédites (NetoutputL1 = 0.712257432 ; NetoutputL2 = 0.533097574) de l'Epoch 1, nous avons remarqué que les sorties (NetoutputL1 = 0.716731511 ; NetoutputL2 = 0.529251185) de Forward Pass dans l'Epoch 2 commencent à se rapprocher des valeurs cibles. En fait, le NetoutputL1 de l'Epoch 2 a augmenté et le NetoutputL2 a diminué. En outre, l'erreur de l'Epoch 2 (0.09432369) est inférieure à celle de l'Epoch 1 (0.096874889). Sur ce, nous allons faire le Backward Pass de l'Epoch 2 afin d'ajuster encore nos poids:

Backward Pass

$$W1 = \frac{\partial E_{total}}{\partial w1} = -0.0321$$

$$W2 = \frac{\partial E_{total}}{\partial w2} = -0.00466$$

$$W3 = \frac{\partial E_{total}}{\partial w3} = -0.04815697$$

$$W4 = \frac{\partial E_{total}}{\partial w4} = -0.007$$

$$W5 = \frac{\partial E_{total}}{\partial w5} = -0.025$$

$$W6 = \frac{\partial E_{total}}{\partial w6} = 0.035742$$

$$W7 = \frac{\partial E_{total}}{\partial w7} = -0.0537268824$$

$$W8 = \frac{\partial E_{total}}{\partial w8} = 0.076633$$

Ainsi,

$$\begin{aligned} W_1^+ &= 0.314065278 - 0.1 * (-0.0321) \\ &= \mathbf{0.317275278} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_2^+ &= 0.200465672 - 0.1 * (-0.00466) \\ &= \mathbf{0.200931672} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_3^+ &= (-0.378902083) - 0.1 * (-0.04815697) \\ &= \mathbf{-0.374086386} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_4^+ &= 0.600698508 - 0.1 * (-0.007) \\ &= \mathbf{0.601398508} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_5^+ &= 0.702437795 - 0.1 * (-0.025) \\ &= \mathbf{0.704937795} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_6^+ &= (-0.303427333) - 0.1 * (0.035742) \\ &= \mathbf{-0.307001533} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_7^+ &= 0.505508042 - 0.1 * (-0.0537268824) \\ &= \mathbf{0.51088073024} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_8^+ &= (-0.107743839) - 0.1 * (0.076633) \\ &= \mathbf{-0.115407139} \end{aligned}$$

En remplaçant les nouveaux poids de l'Epoch 2 dans le Forward Pass de l'Epoch 3, nous constatons que nous n'obtenons pas encore des prédictions proches des targets cibles. Ainsi, nous continuons à itérer jusqu'à ce que nous arrivions à l'Epoch qui aura pour prédictions des valeurs proches de target 1 et target 2. Poursuivant les itérations jusqu'à l'Epoch 925, nous nous sommes rendu compte que notre machine a enfin appris. En fait, elle a pu trouver des paramètres du modèle qui minimisent la fonction coût (L'erreur). C'est cela l'essentiel même du Machine Learning.

On pourrait par exemple développer un algorithme qui tente au hasard plusieurs combinaisons des paramètres, et qui retient la combinaison avec la Fonction Coût la plus faible. C'est un peu comme organiser un concours d'archers pour ne garder que le meilleur. Cette stratégie est cependant assez inefficace la plupart du temps. Notre effort a été de considérer la Fonction Coût comme une fonction **convexe**, n'ayant qu'un seul minimum. Ce minimum a été trouvé via l'algorithme de minimisation appelé **Gradient Descent**, en français **Descente de gradient**.

Il est clair qu'il fallait entraîner notre modèle jusqu'à 925 Epoch car la fonction coût qui a été, à l'Epoch 1, **0.096874889**, a pu être minimisée à **0.001600727**, à la phase Forward Pass de l'Epoch 926. Ainsi, le NetoutputL1, qui est égal à **0.943418607**,

de cette dernière itération est proche du target 1 qui vaut 1 et le NetoutputL2, qui vaut 0.200000245, est proche du target 2 qui a été donné à 0.2. Ce qui fait que le réseau a pu ajuster les paramètres Durant toutes ses itérations pour enfin trouver des bons paramètres pour pouvoir généraliser le modèle. Ces paramètres sont: $W_1 = 0.744985268$; $W_2 = 0.314552231$; $W_3 = 0.267478622$; $W_4 = 0.771832141$; $W_5 = 1.422782196$; $W_6 = -0.908934577$; $W_7 = 1.389947119$; $W_8 = -0.923640014$.

5 CONCLUSION

L'apprentissage par descente de gradient permet d'optimiser les paramètres du réseau de neurones par rapport à la fonction d'erreur. Toutefois, signalons que l'algorithme de rétro-propagation dans sa forme basic, utilisant la technique de descente du gradient, n'est pas très efficace car elle utilise peu d'information sur la réduction de l'erreur. Ainsi, il existe d'autres algorithmes puissants tels que le Gradient descendant avec un taux d'apprentissage variable; l'Algorithme de Quasi-Newton; la Rétro-propagation résiliente; l'Algorithme du gradient conjugué; Algorithme de Levenberg-Marquardt; l'Algorithme de Fletcher-Reeves; etc [16].

Avec l'apprentissage, le but c'est de pouvoir généraliser le modèle après l'avoir entraîné. Cette généralisation se fait après validation du modèle. La généralisation concerne la tâche réalisée par le réseau de neurones une fois on finit la phase d'apprentissage du modèle. On peut ainsi évaluer cette généralisation en testant le réseau sur des données qui n'ont pas servi à l'apprentissage. En général, la force d'un modèle de réseau de neurones, pour qu'il soit généralisable, dépend des facteurs notamment de l'algorithme d'apprentissage, c'est-à-dire de son aptitude à optimiser; de la complexité de l'échantillon: le nombre d'exemples; et de la complexité du réseau (nombre de poids, nombre d'Epoch et des couches cachées).

Et, au cas où les données observées sont immenses, on introduit la notion de batch qui, à chaque itération, un ensemble d'observations est présenté au réseau pour moyenner les gradients et mettre à jour des poids de façon rapide. Toutefois, il faudra veiller à la saturation du réseau car si les poids prennent des grandes valeurs, les sorties deviendront grandes et se rapprocheront de la zone de saturation de la fonction d'activation. Ce qui nécessite le choix d'un pas de correction petit et l'initialisation des poids à de très petites valeurs pour éviter le problème de sur-apprentissage (overfitting).

En définitive, nous tenons à préciser qu'il existe deux modes de fonctionnement dans un réseau de neurones. Le premier mode consiste à ajuster les paramètres du réseau grâce à la présentation d'exemples et des variables pour lesquels on connaît la réponse désirée, le target. Ce mode est appelé phase d'apprentissage. Le second mode fonctionne de manière à exploiter le réseau tout en lui présentant des données inconnues. C'est le mode appelé phase de reconnaissance ou phase de généralisation. Dans les exemples proposés dans cet article, nous avons utilisé le premier mode. Toutefois, ces deux modes peuvent être théoriquement entrelacées. Il ne s'agit pas, de ce fait, de phases distinctes mais plutôt de modes de fonctionnement [12].

REMERCIEMENTS

Ces quelques mots sont l'expression de notre gratitude à tous ceux qui nous permis d'obtenir les matériels nécessaires pour que cet article se réalise. Nous disons merci de façon particulière à Nsenge Mpia Héritier, initiateur de ce projet qui vise à éclaircir certains concepts de Backpropagation à des termes simples. En dépit de ses occupations comme Enseignant à l'Université de l'Assomption, comme étudiant en Théologie, et comme Doctorant en Systèmes d'Informations, il a pu se consacrer à cette recherche qui aiderait nombreuses personnes qui s'intéresseraient au comment fonctionne l'algorithme de rétro-propagation de gradient.

Nous tenons à remercier l'assistant Inipaivudu Baelani Nephtali qui a collaboré dans la mise au point de ce projet, ses contributions dans la vérification de certains résultats ont été profondément bénéfiques.

REFERENCES

- [1] A. Cornuéjols, L. Miclet, and V. Barra, Apprentissage artificiel. Deep learning, concepts et algorithmes, Paris, Eyrolles, 2018.
- [2] C. Hardy, Contribution au développement de l'apprentissage profond dans les systèmes distribués, Thèse de Doctorat en Informatique, Université Rennes 1, Rennes, 2019.
- [3] C.A. Azencott, Introduction au Machine Learning, Dunod, Paris, 2018.
- [4] C.E. Nwankpa, W. Ijomah, A. Gachagan, and S. Marshall, Activation Functions: Comparison of Trends in Practice and Research for Deep Learning, arXiv Prepr arXiv181103378, 2018.
- [5] F. Chollet, Deep Learning with Python, Manning Publications Co, Shelter Island, 2018.
- [6] F.C. Ribeiro, R.T. Carvalho, P.C. Cortez, V.H.C. De Albuquerque, and P.R. Filho, "Binary Neural Networks for Classification of Voice Commands from Throat Microphone," IEEE Access, vol. 6, pp. 70130-70144, 2018.
- [7] G. Saint-Cirgue, Apprendre le Machine Learning en une semaine, Machine Learnia, Londres, 2019.
- [8] I.H. Witten, E. Frank, and M.A Hall, Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques, 3rd edition, Morgan Kaufmann, Massachusetts, 2011.
- [9] Jouannic, Thibault, Deep learning: La rétropropagation du gradient, 2017. .
- [10] Online] Available: <https://www.miximum.fr/blog/introduction-au-deep-learning-2> (December 10, 2020).
- [11] M. Kordos and W. Duch, "Variable step search mlp training method," International Journal of Information Technology and Intelligent Computing, pp.45-56, 2006.
- [12] M.T.H. Rakotomalala Andrianandrasana, Réseau de neurones artificiels et application des séries temporelles, Mémoire du Diplôme d'Études Approfondies de Mathématiques, Inédit, Université d'Antananarivo, 2015.
- [13] P. Comon, "Réseau de neurones. Classification supervisée par réseaux multicouches," Traitement du Signal, vol. 8, no. 6, pp. 387-407, 1992.
- [14] R. Asaad and I.A. Rasan, "Back Propagation Neural Network and Sigmoid Activation Function in Multi-Layer Networks," Academic Journal of Nawroz University, pp. 1-6, 2019.
- [15] S. Haykin, Neural Networks and Learning Machines, 3rd edition, Pearson education, New Jersey, 2009.
- [16] X. Glorot, A. Bordes, and Y. Bengio, "Deep sparse rectifier neural networks," Proceedings of the Fourteenth International Conference on Artificial Intelligence and Statistics, pp. 315-323, 2011.
- [17] Y. Djeriri, Les réseaux de neurones artificiels, UDL-SBA, Sidi Bel Abbès, 2017.

Utilisation de drone pour le suivi écologique de la faune dans un ranch au Nord Bénin

[Use of drones in wildlife ecological monitoring on a ranch in northern Benin]

Sedjro Gilles A. Nago^{1,2}, Gérard Nounagnon Gouwakinnou^{1,2}, Joël E. Kpatchia^{1,3}, Etotépé A. Sogbohossou², Franck Mitchozounon³, Olivier Ahouandjinou^{1,3}, José E. Gnele⁴, Bagari Kiatti³, Michel Le Cornec³, Madjidou Oumorou^{2,5}, and Brice Sinsin²

¹Laboratoire d'Ecologie, de Botanique et de Biologie végétale (LEB), Université de Parakou (UP), Benin

²Laboratoire d'Ecologie Appliquée (LEA), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Benin

³Ferme Tatagtou, Dassari, Benin

⁴Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT), Université de Parakou (UP), Benin

⁵Laboratoire de Recherche en Biologie Appliquée (LARBA), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Benin

Copyright © 2021 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 conservation of wildlife populations requires regular studies for effective monitoring. However, although necessary, these studies are difficult to implement, particularly in the developing countries where the lack of financial resources and appropriate material are felt. Nowadays, the use of drones has grown steadily, opening up new avenues for wildlife management. The present research investigated on a ranch, the use of a mini-drone in the activities of wildlife surveys, monitoring and ranch mapping. After a line transects census, surveys with drone at various heights were made for animal counting, monitoring and ranch photogrammetry. The data was extracted from the taken images and analyzed as appropriate. From the results obtained, it is clear that the mini-drones give good results for the wildlife survey when the flights are made between an elevation of 20 to 50 m. The wildlife species encountered do not change their attitude when the drone passes by. Various acts of vandalism can also be observed with the drone and the mapping of the ranch set up in the middle of the savannah was obtained in a relatively short time. Long-lasting batteries will have to be manufactured in order to allow the mini-drones to operate easily in a real natural environment for ecological monitoring activities.

KEYWORDS: Drone, ecological monitoring, fauna, ranch, photogrammetry.

RESUME: La conservation des populations fauniques requiert des études régulières pour un suivi efficace. Cependant, bien que nécessaire, ces études sont difficilement mises en place, particulièrement dans les pays où le manque de moyens financiers et de matériels appropriés se fait sentir. Au cours de ces dernières années, l'utilisation des drones ne cesse de s'accroître, ouvrant de nouvelles perspectives pour la gestion de la faune. La présente étude a investigué dans un ranch, l'utilisation d'un mini-drone dans les activités de dénombrement de la faune, de surveillance et de cartographie du site aménagé. Après un dénombrement pédestre, des vols du drone à différentes hauteurs ont été effectués pour le comptage des animaux, la surveillance et la photogrammétrie du ranch. Les données ont été extraites des photos effectuées et, analysées selon les cas. Il est clair que les mini-drones donnent de bons résultats pour le dénombrement de différentes espèces de faune lorsque les vols se font entre une altitude de 20 à 50 m. Les espèces fauniques rencontrées ne changent pas d'attitude au passage du drone. Différents actes de vandalisme sont observables avec le drone et la cartographie du ranch aménagé en milieu de savane a pu être obtenue dans un délai relativement court. Des batteries à durée plus longue devront être fabriquées afin de permettre aux mini-drones de fonctionner aisément en milieu réel pour des activités de suivi écologique.

MOTS-CLEFS: Drone, suivi écologique, faune, ranch, photogrammétrie.

1 INTRODUCTION

La gestion et la conservation des écosystèmes naturels nécessitent une surveillance efficace de la biodiversité ainsi qu'un suivi régulier de l'abondance de la faune [1]. En outre, dans la nature, l'identification des espèces de même que l'évaluation de l'effectif des populations sont importantes pour la conservation et la gestion de la biodiversité [2]. Ces activités passent par la mise en place de différentes techniques d'inventaire de terrain telles que les transects [3] qui peuvent être difficiles à réaliser notamment dans les zones risquées ou pénibles d'accès. Ordinairement, la réalisation de ces techniques d'inventaire se fait sur un parcours pédestre, ou à partir d'avion léger, soit encore par photos aériennes ([4], [5], [6], [7], [8], [9]). Sans dénier l'efficacité de ces techniques et outre la pénibilité de leurs usages, il est clair qu'elles sont non seulement gourmandes en temps de travail et en main d'œuvre mais aussi difficiles à mettre en place en termes de logistique et de coût. Tout ceci limite fortement les activités liées à l'évaluation et au suivi de l'évolution de la couverture forestière, de la distribution des espèces et de la diversité des populations animales. Il y a donc nécessité de développer de nouvelles techniques de gestion efficaces et innovantes, abordables et multi-fonctionnelles afin d'alléger et de fluidifier la collecte des données pour une meilleure compréhension des processus sous-jacents la préservation des ressources naturelles.

Au cours de ces dernières années, l'utilisation des drones ne cesse de s'accroître et les applications n'ont cessé de se développer, ouvrant de nouvelles perspectives pour la gestion de l'environnement et de la faune ([10], [11], [12], [13], [14], [15]). L'apparition de cette technologie présente plusieurs avantages permettant d'acquérir une imagerie à haute résolution spatiale et temporelle contrairement aux plateformes classiques de télédétection ([16], [17], [18]). Il s'agit notamment des frais d'achat et de maintenance des mini-drones habituellement utilisés dans les applications civiles réduites ([19], [20], [21], [22]), de la faible empreinte écologique [23], de la facilité de la logistique, du déploiement et de la prise en main rapide ([20], [16]), puis de la capacité de voler dans une large gamme de conditions météorologiques, ainsi qu'à basse altitude. La combinaison de ces caractéristiques aux capteurs de plus en plus performants permet, en effet, l'obtention d'images avec une résolution spatiale atteignant quelques centimètres. Il est possible de repérer et de reconnaître sur de telles images, animaux, véhicules, êtres humains et infrastructures. C'est alors que les études effectuées dans le domaine de la faune utilisant la technologie drone se sont amplifiées mais restent cependant insuffisantes et cantonnées à un petit nombre d'animaux, principalement les oiseaux ([24], [25], [26]), les espèces d'eau telles que les lamantins, les baleines, les dugongs, les tortues ou encore les crocodiles ([10], [27], [23], [28], [29]). Quelques autres animaux terrestres ont également été observés tels que le chevreuil [30], l'orang-outang [14], l'éléphant [31] et dernièrement l'hippopotame [32]. Cependant, bien que la détection des espèces soit très encourageante, peu d'auteurs ont effectué de réels comptages de populations d'espèces et tenté de produire un protocole spécifique. Dans le cas des mammifères, [31] ont essayé de réaliser un dénombrement d'une population d'éléphants, sur un échantillon trop réduit, afin de pouvoir en tirer des résultats pertinents. De même, [33] se sont intéressés à la meilleure façon d'estimer la superficie réelle que couvrent les images. Les drones ont quand même la capacité de devenir les prochains outils, pour améliorer le suivi de la faune et aider les équipes de surveillance à faire face au braconnage intense [34]. Il est dès lors important d'investiguer en même temps le comptage de la faune que l'intégrité de son habitat. C'est dans cette optique que la présente étude a été réalisée sur un ranch de gibier au Nord Bénin. Ainsi, l'objectif général de ce travail est d'évaluer l'usage du drone dans le suivi écologique de la faune d'un ranch au Nord Bénin comme essai avant de l'étendre à l'échelle de plus grandes aires protégées du Bénin. De façon spécifique, il s'agit de : - (i) dénombrer la faune du ranch sur la base des images prises par le drone ; - (ii) détecter les actes de vandalisme à partir des images du drone et - (iii) réaliser la photogrammétrie du parc animalier dudit ranch.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 PÉRIODE ET MILIEU D'ÉTUDE

L'étude a été réalisée entre les mois d'août et novembre 2018 sur la ferme *Tatagtou*, un ranch non loin du Parc National de la Pendjari, dans l'arrondissement de Dassari, commune de Matéri au Bénin et dont les coordonnées sont 10°48'57" de latitude Nord et 1°48'57" de longitude Est (Fig. 1.).

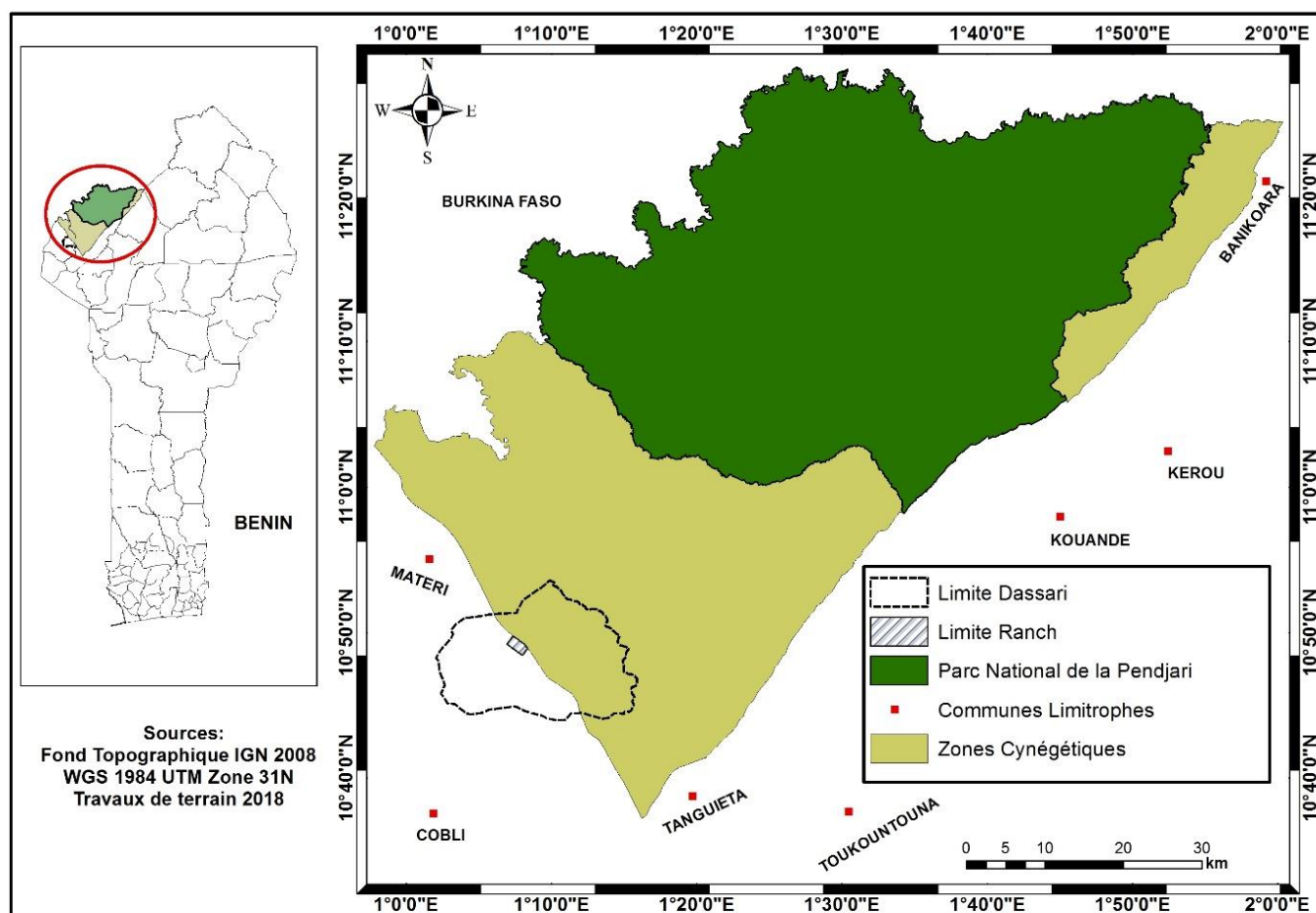


Fig. 1. Carte de situation du ranch Tatagou au Bénin

2.2 LEVÉS DE TERRAIN

Les levés de terrain ont permis de recenser la faune du ranch. Pour ce faire, la méthode des transects linéaires a été utilisée telle que décrite par [35] et déjà utilisée avec succès au Bénin par ([36], [7], [9]). Dix-sept transects d'une longueur moyenne de 200 m, perpendiculaires aux mares et zones marécageuses inaccessibles à la marche, ont été répartis de manière à couvrir tout le parc animalier. Ils ont été parcourus par une équipe constituée du chef d'équipe (qui reste au milieu avec le récepteur GPS, tout en respectant l'azimut de marche préalablement défini et prend note des données qu'il collecte) et de deux observateurs expérimentés (qui marchent lentement aux côtés du chef d'équipe et observent toute la zone afin d'identifier tout contact d'espèces animales le long du transect).

2.3 LEVÉS AÉRIENS

Les levés aériens ont été effectués pour tester l'efficacité du drone dans les activités de dénombrement de la faune, de surveillance et de cartographie.

La zone d'étude a été survolée avec un drone Phantom4 professionnel contrôlé par une télécommande DJI. Trois types de missions ont été menées à savoir les missions de dénombrement, de surveillance et de photogrammétrie.

Pour le dénombrement, la méthode d'échantillonnage systématique représentatif de la zone d'étude a été utilisée sur la base des données collectées au cours du dénombrement pédestre. Ainsi, le drone a survolé les zones stratégiques susceptibles d'observation des espèces de faune à trois hauteurs différentes (20 m, 30 m et 50 m). Les positions de décollage ont été choisies seulement sur le site conformément aux travaux de [30]. La capture des images a été faite à vue sur un écran de téléphone connecté à la télécommande et qui a servi de moniteur de réception. Les images sont prises seulement quand les animaux sont aperçus sur l'écran afin d'obtenir plus de précision et moins de données inutiles lors du traitement des données. Au total, 115 images ont été prises lors de trois vols effectués. Le renvoi de la position en vol sur un moniteur de contrôle permet de suivre et de guider précisément le vol du drone, ce qui optimise le positionnement des prises de vues [37]. La vitesse de passage lente permet d'avoir des images de très bonne netteté.

Pour la surveillance, un survol régulier de la zone d'étude a été effectué durant la période de l'étude en utilisant la méthode de [38] permettant la comparaison des valeurs des pixels obtenues pour une succession d'images acquises par drone dont la fraction commune est importante. Des images sont prises lors desdits vols de surveillance chaque fois qu'un fait particulier est observé.

Pour ressortir une photogrammétrie du ranch, des vols de 50 m d'altitude ont été réalisés suivant neuf (9) missions préétablies avec le logiciel Pix4D puis exécutées respectivement les 1^{er}, 2 et 3 octobre 2018. Une mission élémentaire couvre une superficie de 66572 m². La zone d'étude a été délimitée à l'aide d'une image satellitaire du ranch. Un chevauchement de 1% entre les différentes missions a été réalisé afin d'éviter des vides entre les images. Ces recouvrements garantissent en effet un bon assemblage des images lors du traitement photogrammétrique [39]. Au total, 3786 images ont été prises.

2.4 ANALYSES DE DONNÉES

Tout comme la collecte, l'analyse des données a porté sur la détection de la faune, la surveillance et la photogrammétrie de la faune du ranch.

2.4.1 DÉTECTION DE LA FAUNE

Elle a été faite à la fois par un dénombrement pedestre que par l'usage du drone.

La méthode des indices kilométriques d'abondance et de contact (IKA et IKC) utilisée par [9], a été utilisée pour l'estimation de la densité de la faune pour le dénombrement pedestre. Les formules de ces indices se présentent comme suit:

$$IKA (ind/km) = \frac{\text{Nombre d'individus observés par espèce (ind)}}{\text{Effort total d'inventaire (km)}}$$

$$IKC \left(\frac{cont}{km} \right) = \frac{\text{Nombre de contacts observés par espèce (cont)}}{\text{Effort total d'inventaire (km)}}$$

En ce qui concerne la détection de la faune avec le drone, deux observateurs ont examiné manuellement les images afin d'identifier sur chaque image les différentes espèces et le nombre d'individus. Suite à cette opération, la méthode de Jolly2 couramment utilisée pour estimer la densité ($\hat{R}$) des dénombrements aériens d'échantillons de bandes effectués avec des aéronefs légers [40] a été utilisée. La formule de la densité est la suivante:

$$\hat{R} = \frac{\sum_i Y_i}{\sum_j Z_j}$$

Avec $\hat{R}$ la densité de l'espèce comptée dans la zone échantillonnée

Y_i est le nombre d'individus d'une espèce comptée dans l'unité d'échantillonnage

Z_j est la superficie de l'unité d'échantillonnage (km²)

2.4.2 SURVEILLANCE DU RANCH

Les images prises lors de la surveillance sont triées et visualisées par deux opérateurs afin de confirmer la présence ou non d'un objet inhabituel sur les pixels des images prises.

2.4.3 PHOTOGRAMMÉTRIE DU RANCH

La photogrammétrie a été produite avec le logiciel Pix4Dmapper¹. Le processus de traitement des images avec le logiciel Pix4Dmapper comporte trois étapes que sont respectivement: l'alignement des images (alignement), la construction du modèle 3D (dense cloud) permettant ensuite dans une troisième phase de générer un modèle numérique de surface (MNS) et une ortho-image [41]. Avec l'automatisation du logiciel, tout le processus est entièrement conduit après avoir chargé les images et le fichier de localisation de celles-ci. Elle a duré 3 jours 21h 10min.

¹ <https://pix4d.com/>

3 RESULTATS

3.1 DÉNOMBREMENT DE LA FAUNE

3.1.1 LEVÉS DE TERRAIN

Au cours du levé de terrain, 6 km ont été parcourus et 5 contacts ont été faits pour un total de 41 individus toutes espèces confondues. Les indices kilométriques d'abondance et de contact sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1. *Indice kilométrique d'abondance et de contact au niveau du Parc animalier*

Espèces	Cob de Buffon (<i>Kobus kob</i>)	Dendrocygne veuf (<i>Dendrocygna viduata</i>)	Francolin (<i>Pternistis bicalcaratus</i>)	Autruche (<i>Struthio camelus</i>)
IKA	0,83	3,66	2	0,33
IKC	0,33	0,16	0,16	0,16

De l'analyse de ce tableau, il a été remarqué que toutes les espèces ont été faiblement observées. Néanmoins, il a été noté que le cob de Buffon est l'animal le plus observé dans ce parc. À contrario, dans le lot de toutes ces espèces, la dendrocygne veuf, le francolin et l'autruche sont moins rencontrés.

De même, on remarque une meilleure abondance du dendrocygne suivi du francolin, du cob de Buffon et enfin de l'autruche.

3.1.2 LEVÉ AÉRIEN

3.1.2.1 VISIBILITÉ DES ANIMAUX

Les 3 vols (Tableau 2) effectués ont démontré que le cob de Buffon et l'autruche sont facilement visibles à une altitude de 30 m alors que la dendrocygne veuf l'était déjà à 20 m d'altitude. Par exemple, un groupe de 5 individus de cob qui s'alimentaient a été photographié à partir du drone (Fig. 2). Chaque individu est clairement identifiable sur l'image aérienne. Les cobs et les autruches sont restés discernables jusqu'à une altitude de 50 m dans leurs habitats naturels, contrairement aux dendrocynes veufs qui sont restés discernables jusqu'à 30 m seulement. L'analyse des images a permis de conclure que l'observation des quatre espèces dénombrées dans les écosystèmes de savane (Fig. 2, 3, 4 et 5) est possible. L'acquisition des images a permis d'avoir au total 205 individus dans le ranch (Tableau 2).

Tableau 2. *Moyenne et densité des effectifs des animaux dénombrés*

	$\bar{x}$ vol1	$\bar{x}$ vol2	$\bar{x}$ vol3	$\bar{x}$ ranch	$\hat{R}$
Cob de Buffon (<i>Kobus kob</i>)	2	0	5	4,66666667	21,875
Dendrocygne veuf (<i>Dendrocygna viduata</i>)	0	34	102	69	323,4375
Autruche (<i>Struthio camelus</i>)	0	1	1	0,66666667	3,125
Héron cendré (<i>Ardea cinerea</i>)	0	59	1	20	93,75



Fig. 2. Image aérienne des cobs de Buffon prise lors du dénombrement de la faune par le drone dans le parc animalier du ranch à 30 m d'altitude



Fig. 3. Image aérienne d'un héron cendré en fuite prise lors du dénombrement de la faune par le drone dans le parc animalier du ranch à 30 m d'altitude



Fig. 4. Image aérienne d'une autruche prise lors du dénombrement de la faune par le drone dans le parc animalier du ranch à 30 m d'altitude



Fig. 5. Image aérienne des dendrocygnes veufs prise au niveau de la mare Millo lors du dénombrement de la faune par le drone dans le parc animalier du ranch à 20 m d'altitude

3.1.2.2 RÉACTION DES ANIMAUX LORS DU PASSAGE DU DRONE

Durant les trois vols, seul le héron cendré s'est envolé à l'approche du drone. Pour les trois autres espèces (cob de Buffon, dendrocygne veuf et autruche), aucun vol ou comportement d'alerte n'a été enregistré.

3.2 SURVEILLANCE DU RANCH

Au cours de la surveillance du ranch, les observations faites concernent les actes de vandalisme, la présence illégale de personnes autour du parc animalier, l'état des mares et de la végétation du ranch (Fig. 6, 7 et 8).



Fig. 6. Image de l'état d'une partie du ranch après un passage de feu précoce incontrôlé à 50 m d'altitude



Fig. 7. Image présentant l'état de la mare Hyper colonisé par *Typha latifolia* à 30 m d'altitude



Fig. 8. Image de présence humaine sans autorisation dans une zone protégée du ranch à 50 m d'altitude

De l'analyse des images prises durant l'étude, une carcasse d'autruche et trois actes de vandalisme ont été rencontrés dans le mois de septembre. À contrario, durant tout le mois d'octobre, seules les images sur le changement du couvert végétal ont été observées.

3.3 PHOTOGRAMMÉTRIE DU RANCH

Un total de 3786 images a été utilisé pour produire une orthomosaïque de 1 km² avec une résolution au sol de 2,23 cm (Fig. 9).

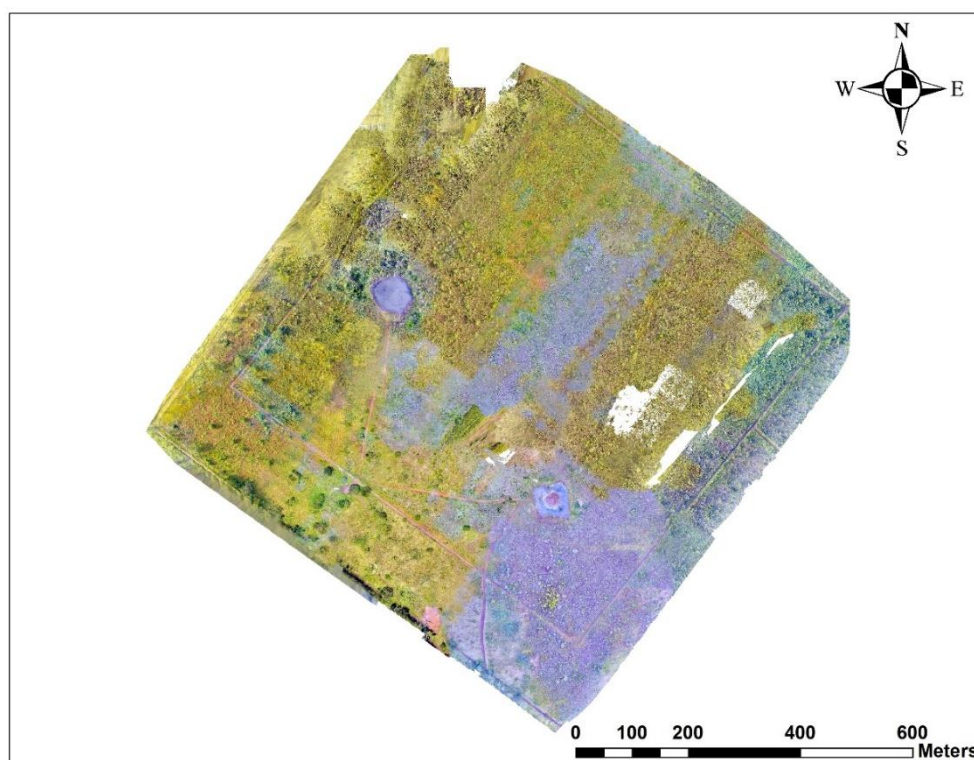


Fig. 9. Orthomosaïque de la zone d'étude

Sur ce modèle d'image, il a été retrouvé la couverture végétale, les infrastructures, les mares et le périmètre du parc.

4 DISCUSSION

Cette étude préliminaire montre que la faune peut être détectée dans les écosystèmes de savane à l'aide d'un petit drone. Des espèces animales de différentes classes et tailles ont pu être observées. L'altitude d'observation des espèces présentes sur le ranch varie de 20 m à 50 m en fonction des espèces.

Les résultats montrent que le nombre d'animaux (individus par km) est nettement plus élevé pour les relevés aériens que pour les relevés terrestres. Le drone peut permettre alors d'avoir de meilleures données d'inventaire faunique que la méthode pedestre puisqu'ici aussi, il a permis de prospecter des milieux difficilement accessibles à pied. L'absence de réaction animale lors de l'acquisition des images indique une absence de perturbation animale et renforce l'atout du drone à être utilisé pour de telles activités écologiques. Néanmoins, cette absence de réaction pourrait apparaître comme un inconvénient potentiel pour de prochaines études dans d'autres types d'écosystèmes parce que les animaux sont plus facilement visibles quand ils sont en mouvement que quand ils sont immobiles [31]. Cette attitude a permis au drone de survoler un transect à un autre sans rencontrer un déplacement considérable des animaux. C'est ainsi que tous les animaux étaient comptés sans possibilité de double comptage.

Pour la fiabilité des résultats, deux observateurs ont été utilisés comme recommandé par [42] pour estimer les probabilités de détection. Une comparaison des deux levés permet de conseiller pour de nouvelles études, une méthode en mettant l'accent sur la durée totale de réalisation, les limites de réalisation, la demande en ressources humaines et la période de réalisation au cours d'une année (Tableau 3).

Tableau 3. Comparaison des deux méthodes de dénombrement

Traits de comparaisons	Type	Dénombrement pedestre	Dénombrement aérien
Durée totale de réalisation		3 jours	45 minutes
Limites de réalisation		-Difficile d'accès en saison pluvieuse -Détection très difficile des animaux -Moyen financier élevé	Faible Autonomie des batteries, durée moyenne 25 minutes
Besoin en ressource humaine		3 personnes	2 personnes
Période de réalisation recommandée		Saison sèche	En toutes saisons et à tout moment de l'année
Effort de travail		Très élevé	Très faible
Risques encourus		Sol marécageux très difficile pour la marche	Aucun
Investissement de départ		Très élevé à court et long terme	Très élevé à court terme et très faible à long terme

Comme recommandé plus haut, le dénombrement aérien avec drone est la méthode qui présente de meilleures chances de détection de la faune. Afin de faciliter cette activité de terrain, il serait bien que l'autonomie des batteries soit améliorée lors de sa fabrication.

Les résultats de cette étude confirment les travaux de [38] sur les changements de mouvement sur les pixels d'une image à une autre, ce qui a permis d'observer sur ces changements de pixels, la carcasse d'autruche, l'invasion de mare par *Typha latifolia*, les passages de feux précoces et la présence humaine dans des zones interdites d'accès. Ces différents résultats ont permis le renforcement de la surveillance dans ce ranch.

Pour la réalisation de la photogrammétrie, les images ont été acquises en trois jours, ce qui peut être considéré comme acceptable en termes de délai d'exécution. La faible endurance énergétique des drones n'a pas d'impact sur les images obtenues comme remarqués par [43] et [44]. Pour avoir plus de précision dans les résultats, malgré que la zone d'acquisition d'images soit en savane, l'altitude retenue pour la prise des images a permis d'éviter les difficultés parfois rencontrées dans la phase d'assemblage des images acquises. Cette précision est plutôt particulièrement prise en compte en zone forestière ([14], [39]). Une erreur de l'assemblage (pixels) de 0,18 a été prise en compte par le logiciel, ce qui est bien plus précis que l'intervalle proposé par [45] et [46] si l'on considère l'instabilité des mini-drones et la distorsion des caméras numériques utilisées.

Au total, les mini-drones peuvent être utilisés dans le suivi écologique des aires protégées savaniques, notamment dans les activités de dénombrement de la faune, de surveillance et de cartographie.

CONTRIBUTIONS

SGAN, GG et JEK ont conçu le projet; SGAN, EAS, BK, ML, MO et BS ont facilité l'obtention de divers permis et la collecte des données; JEK, FM, OA et SGAN ont collecté les données; JEK, SGAN et JEG ont analysé les données collectées; SGAN, GG, JEK, EAS et JEG ont rédigé le manuscrit; MO, ML et BS ont amélioré le manuscrit.

REMERCIEMENTS

Les auteurs adressent leurs remerciements aux travailleurs de la ferme *Tatagto* pour leur soutien durant la phase de collecte de données sur le terrain et au Projet ACUPro (Appui aux Centres Universitaires Professionnalisant) pour la bourse de stage accordée à Joël E. KPATCHIA. Ils se sentent aussi redevables envers Fortuné AZIHOU et les lecteurs anonymes pour leurs orientations dans l'amélioration du manuscrit.

REFERENCES

- [1] Jachmann. Estimating abundance of African wildlife: an aid to adaptive management, 2001. [Online] Available: <https://www.springer.com/gp/book/9780792379591> (6 Juin, 2018).
- [2] F. Reed and Noss, "Indicators for Monitoring Biodiversity: a Hierarchical approach." Conservation Biology, vol.4 no. 4, pp. 355-364, 1990.
- [3] W. J. Sutherland, I. Newton, 2004. "Bird Ecology and Conservation: a Handbook of techniques," Oxford University Press, no. 2, pp. 35-52.
- [4] G. J. E. A. Hill, Barnes, G. R. Wilson. 1985. "Time of day and aerial counts of grey Kangaroos." The Journal of Wildlife Management. Vol. 4 no. 94, pp. 843-849, 1985.
- [5] G.M. Mourão, P. Bayliss, M.E. Coutinho, C.L. Abercrombie, A. Arruda. "Test of an aerial survey for caiman and other wildlife in the Pantanal, Brazil," Wildlife Society Bulletin, vol. 22 no. 4, pp. 698-715, 1994.
- [6] R.T. Kingsford, "Aerial survey of water birds on wetlands as a measure of river and floodplain health," Freshwater Biology, vol.41 no. 2, pp. 425-438, 1990.
- [7] B. Sinsin, A. Tehou, I. Daouda, A Saidou "Abundance and species richness of larger mammals in Pendjari National Park in Benin," Mammalia vol.66, pp 369-380, 2002.
- [8] F. Sardà-Palomera, G. Bota, C. Viñolo, O. Pallares, V. Sazatornil, L. Brotons, S. Gomariz, F. Sarda, "Fine-scale bird monitoring from light unmanned aircraft systems," IBIS The International Journal of Avian Science, vol. 154 no. 1, pp.177-183. 2011.
- [9] S.G.A. Nago, I. Amahowe, O. Zannou, L. Houessou, F. Ahononga, P. N'Séra, M. Kouton, F. Kidjo, S. Sahilou, B. Sinsin 2016. "Diversité, abondance et densité des populations de faune dans la Réserve de Biosphère de la Pendjari (Nord Bénin) " Annales de l'université de parakou. Série « Sciences Naturelles et Agronomie ». vol.6 no.1, pp. 10-25, 2016.
- [10] G.P. Jones, L.G. Pearlstine and F.H. Percival, "An assessment of small unmanned aerial vehicles for wildlife research Wildlife Soc, " Bull, vol. 34, no. 3, pp. 750-758, 2006.
- [11] P.J. Hardin, T.J. Hardin, "Small Scale Remotely Piloted Vehicles in Environmental Research, " Geography Compass, vol. 4, no. 9, pp.1297-1311, 2010.
- [12] A.C. Watts, J.H. Perry, S.E. Smith, M.A. Burgess, B.E. Wilkinson, Z. Szantoi, P.G. Ifju, and H. F. Percival, "Small unmanned aircraft systems for low-altitude aerial surveys" J. Wildlife Manage, vol. 74, no. 7, pp. 1614-1619, 2010.
- [13] S. Getzin, K. Wiegand, I. Schöning, "Assessing Biodiversity in Forests Using Very Highresolution Images and Unmanned Aerial Vehicles, " Methods in Ecology and Evolution, vol. 3. no. 2, pp. 397-404, 2012.
- [14] L.P. Koh and S.A. Wich, "Dawn of drone ecology: Low-cost autonomous aerial vehicles for conservation, " Trop. Conserv. Vol.5. no. 2, pp.121-132, 2012.
- [15] M.G. Wing, J. Burnett, J. Sessions, J. Brungardt, V. Cordell, D. Dobler and D.Wilson, "Eyes in the sky: Remote sensing technology development using small unmanned aircraft systems, " J. Forest, vol. 111. no. 34, pp. 13-47, 2013.
- [16] [H. Xiang and L. Tian, "Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV), " Biosystems Engineering, vol. 108. no. 2, pp.174-190, 2011.
- [17] D. Turner, A. Lucieer and C.Watson, "An Automated Technique for Generating Georectified Mosaics from Ultra-High Resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery. Based on Structure from Motion (SfM) Point Clouds, " Remote Sensing, vol. 4. no.5, pp.1392-1410, 2012.
- [18] M.J. Westoby, J. Brasington, N.F. Glasser, M.J. Hambrey and J.M. Reynolds JM, "Structure-from-Motion" photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. "Geomorphology, vol.179. no. 2012, pp. 300-314, 2012.
- [19] J. Berni, P. Zarco-Tejada, L. Surez, V. González-Dugo and F. Fereres, "Remote sensing of vegetation, from uav platforms using lightweight multispectral and thermal imaging sensors in The International Archives of the Photogrammetry " Remote Sensing and Spatial Information Sciences, pp.37, 2008.
- [20] R. Dunford, K. Michel, M. Gagnage, H. Piegay and M.L. Tremelo "Potential and Constraints of Unmanned Aerial Vehicle Technology for the Characterization of Mediterranean Riparian Forest," International Journal of Remote Sensing, vol. 30. no. 19, pp. 4915-4935, 2009.

- [21] S. Harwin and A. Lucieer, "Assessing the Accuracy of Georeferenced Point Clouds Produced via Multi-view Stereopsis from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery," *Remote Sensing*, vol.4 no. 6, pp. 1573–1599, 2012.
- [22] P. Charla, K. William, P. Paul, M. Brian, M.B. David, "Evaluation of an unmanned aircraft system for detecting surrogate caribou targets in Labrador." *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, vol.4.no.1, pp. 53-69. 2016.
- [23] J. Martin, H.H. Edwards, M.A. Burgess, H. F. Percival, D. E. Fagan, B. E. Gardner, J. G. Ortega-Ortiz, P.G. Ifju, B. S. Evers and T. J. Rambo, "Estimating Distribution of Hidden Objects with Drones: From Tennis Balls to Manatees." *PLoS ONE*, vol. 7 no. 6, 2012.
- [24] D. Chabot and D.M. Bird, "Evaluation of an off-the-shelf unmanned aircraft system for surveying flocks of geese," *Waterbirds*, vol. 35 no.1, pp.170-174, 2012.
- [25] F. Sardà-Palomera, G. Bota, C. Viñolo, O. Pallarés, V. Sazatornil, L. Brotons, S. Gomáriz, F. Sardà, "Fine-Scale Bird Monitoring from Light Unmanned Aircraft Systems" *IBIS*, 2012, vol. 15 no.4, pp. 177–183.
- [26] G. Grenzdörffer, 2013. "UAS-based automatic bird count of a common gull colony In International archives of the photogrammetry," *Remote Sens. Spatial In.*, vol.40 no.1, pp. 169-174, 2013.
- [27] W.R. Koski, T. Allen, D. Ireland, G. Buck, P. R. Smith, A. M. Macrander, M.A. Halick, C. Rushing, D. J. Sliwa, T. L. Donald, "Evaluation of an unmanned airborne system for monitoring marine mammals," *Aquat. Mamm*, vol. 35 no. 3, pp. 347-357, 2009.
- [28] A. Hogdson, N. Kelly and D. Peel D., "Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Surveying Marine Fauna: A Dugong Case Study," *PLoS One*, vol.8 no. 11, pp. 1–15, 2013.
- [29] V. Y. Biserkov S. P. Lukanov. 2017, "Unmanned aerial vehicles (UAV) for surveying freshwater turtle populations," *methodology adjustment. Acta Zool. Bulgar*, vol. 10pp. 161–163, 2017.
- [30] M. Israël, "A UAV-based roe deer fawn detection system. In: International Archives of the Photogrammetry," *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 38 no.1, pp. 14–16, 2011.
- [31] C. Vermeulen, P. Lejeune, J. Lisein, P. Sawadogo, P. Bouché P. 2013. "Unmanned aerial survey of elephants," *PLoS One*, vol.8. no. 2, 2013.
- [32] S. Lhoest, J. Linchant, S. Quevauvillers, S.; C. Vermeulen, P. Lejeune, "How many hippos (Homhip): Algorithm for automatic counts of animals with infra-red thermal imagery from UAV. *Int. Arch. Photogramm* " *Remote Sens. Spat. Inf*, 2015, no.40, pp.355–362.2013.
- [33] J. Lisein, J. Linchant, P. Lejeune, P. Bouché, C. Vermeulen, "Aerial surveys using an Unmanned Aerial System (UAS): comparison of different methods for estimating the surface area of sampling strips" *Trop Conserv*, vol.6 no.4, pp. 506–20. 2013.
- [34] A.C. Watts, V.G. Ambrosia and E. A. Hinkley, "Unmanned Aircraft Systems in Remote Sensing and Scientific Research: Classification and Considerations of Use," *Remote Sensing*, vol.4 no.6, pp. 671–1692. 2012.
- [35] D.S. Buckland, D.R. Anderson, K. P. Burnham, J. L. Laake, 1993. "Distance sampling. In Estimating abundance of biological populations." *Chapman et Hall*, pp.446. 1993.
- [36] B. Sinsin, I. Daouda, E. Ahokpe, 1998. "Abondance et évolution des populations des mammifères des formations boisées de la région des monts Kouffé au Bénin," *Cahiers d'éthologie*, vol.18 no. 1, pp. 261-281.
- [37] D. Raclot, C. Puech, N. Mathys, B. Roux, A. Jacome, J. Asseline et J. S. Bailly, "Photographies aériennes prises par drone et Modèle Numérique de Terrain: apports pour l'observatoire sur l'érosion de Draix." *Géomorphologie. relief, processus, environnement*. Vol.11. no1.1.pp. 7-20. 2005.
- [38] L. L. Coulter, D. A. Stow, Y. H. Tsai, C.M. Chavis, C. D. Lippit, R. W. Fraley, McCreight.. "Automated detection of people and vehicles in environment using high temporal resolution airborne remote sensing " *ASPRS*. pp.19-23. 2012.
- [39] N. J. Semeki, J. Linchant, S. Quevauvillers, M. J. P, P. Lejeune, C. Vermeulen, 2016. "Potentiel des véhicules aériens sans pilote dans la détection des activités humaines illégales dans les aires protégées en République Démocratique du Congo " *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, vol.4 no. 2, pp.151-159, 2016.
- [40] P. Bouché, P. Lejeune, C. Vermeulen "How to count elephants in West African savannahs? Synthesis and comparison of main gamecount methods." *Biotechnology, Agronomy, Sociology and Environment*, vol.16 no. 1, pp. 77–91, 2012.
- [41] Torres-Sánchez J., López-Granados F., Serrano N., Arquero O., Peña J. M., 2015. High-throughput 3-D monitoring of agricultural-tree plantations with unmanned aerial vehicle (UAV) technology. [en ligne]. *PLoS ONE*. 10 (6): e0130479. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130479>.
- [42] J.D. Nichols, J. E Hines, J. R. Sauer, F.W. Fallon, J. E Fallon, P. J. Heglund,. "Approche à double observateur pour estimer la probabilité de détection et l'abondance à partir des points compte," *L'auk* vol.117 no.2, pp. 393-408, 2000.
- [43] A. Laliberte, J. E Herrick, C. Winters, K. Havstad, C. Steele, D. Browning, 2009. "Unmanned aerial vehicle-based remote sensing for rangeland assessment monitoring and management." *Journal of Applied Remote Sensing*, vol.3 no.1, pp.33-54. 2009.
- [44] J. Linchant, J. Semeki, P. Lejeune, C. Vermeulen "Are unmanned aircraft systems (UASs) the future of wildlife monitoring? A review of accomplishments and challenges," *Mammal Rev*. vol.45 no.4, pp. 239–52. 2015.
- [45] Wu Jun, Zhongkui Dong, Zhigang Liu, Guoqing Zhou, 2007. Geo-registration and mosaic of UAV video for quick-response to forest fire disaster. In: *Proceedings SPIE*, vol. 6788, MIPPR 2007: Pattern Recognition and Computer Vision, 678810, November 15, 2007, Wuhan, China.
- [46] A. Laliberte. E. H. Jeffrey, A. Rango., C. Winters, "Acqui-sition, orthorectification and object-based classification of unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for rangeland monitor-ing." *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol.76 no.6, pp. 661-672, 2010.

Impacts environnementaux des déchets de couches jetables à usage unique dans la ville de Yaoundé

[Environmental impacts of single-use disposable diaper waste in the city of Yaounde]

Valérie Tsama¹, F. Brice Nicolas Atékoa Mbarga², Francis Kom Meliphe³, and Hervé Tchékoté⁴

¹Unité de Recherche en Botanique Appliquée, Université de Dschang, Cameroon

²Département de Géographie, CRESA Forêt-Bois, Université de Dschang, Cameroon

³Unité de Recherche en Botanique Appliquée, Université de Dschang, Cameroon

⁴Département de Géographie, CRESA Forêt-Bois, Université de Dschang, Cameroon

Copyright © 2021 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 presents the results of the survey on the impact of disposable diaper waste on the environment of the city of Yaoundé in Cameroon. In total, 140 households unequally distributed in the 26 selected districts were surveyed. The neighborhoods have been stratified according to criteria such as socio-economic aspect, access to hygiene and sanitation services, quality of houses. The households surveyed were chosen at random and the interview guides were administered to them. The survey population is young (105 households are between 18 and 38 years old) and 82% are made up of women mothers. 84% of households use around 3 diapers / day for an average of 7 months and the neighborhood shop is the preferred place of supply. Although most (58 households) declare their preference towards the MOLFIX brand for their offspring, others admit generally using around 2 brands in combination. The average mass of used diaper waste produced by a household with a child in the city of Yaoundé is estimated at 120 g / day or 840g / week or 4.32 kg / year of diaper waste. Based on the low frequency of emptying the bins by the hygiene services coupled with the multiplicity of wild piles, it cannot be ruled out that these different exposure routes lead to an increase in environmental risks, particularly through substances. such as: dioxins, furans, formaldehyde contained in baby diapers.

KEYWORDS: Yaoundé, baby diapers, households, environmental risks.

RESUME: Cet article présente les résultats de l'enquête sur l'impact des déchets de couches jetables sur l'environnement de la ville de Yaoundé au Cameroun. Au total, 140 ménages inégalement répartis dans les 26 quartiers sélectionnés ont été enquêtés. Les quartiers ont été stratifiés suivant les critères tels que l'aspect socio-économique, l'accès aux services d'hygiène et de salubrité, la qualité des maisons et la qualité du site de décharge. Les ménages enquêtés étaient choisis au hasard et les guides d'entretien leur ont été administrés. La population d'enquête est jeune (105 ménages ont entre 18 et 38 ans) et est à 82% constituée de femmes-mères de famille. Celles-ci utilisent environ à 84%, 3 couches/jour pour une durée moyenne de 7 mois et la boutique du quartier est le lieu préférentiel d'approvisionnement. Même si la plupart d'entre elles (58 ménages) déclare leur préférence envers la marque MOLFIX pour leurs progénitures, d'autres avouent utiliser généralement environ 2 marques en association. La masse moyenne de déchets de couches usagées produites par un ménage ayant un enfant dans la ville de Yaoundé est estimée à 120 g/jr ou 840g/semaine ou 4,32kg/an de déchets de couches. En se basant sur la faible fréquence de vidange des bacs par les services d'hygiène couplée à multiplicité des tas sauvage, il n'est pas à exclure que ces différentes voies d'exposition conduisent à une augmentation des risques environnementaux notamment à travers les substances telles que: les dioxines, les furanes, le formaldéhyde contenues dans les couches pour bébé.

MOTS-CLEFS: Yaoundé, couches jetables, ménages, risques environnementaux.

1 INTRODUCTION

Au cours des dernières décennies, la démographie sans cesse croissante et incontrôlée associée à un important exode rural dans les pays en voie de développement s'accompagne d'une production considérable de déchets. La [1] prévoit entre 2010 et 2025, une augmentation double de la production de déchets au niveau mondial principalement dans les pays du Sud, où les facteurs influençant la production des déchets sont en pleine croissance. Étant donné que la production de ces derniers continuera d'augmenter en raison de la croissance économique et démographique, il est clair que les pays à revenu intermédiaire notamment ceux de l'Afrique subsaharienne devraient connaître la plus forte progression du volume desdits déchets. Ces pays en effet, se développent rapidement sans se doter des systèmes nécessaires pour faire face à l'évolution de la composition des déchets ménagers qui augmente à un rythme alarmant. Leur gestion qui devrait s'en suivre, est malheureusement reléguée au second plan dans la plupart de ces États, alors qu'au même titre que les préoccupations de bonne gouvernance, les transports, l'éclairage public, la fourniture d'eau potable, la construction des infrastructures, la lutte contre les Maladies Sexuellement Transmissibles (MST), les Infections Sexuellement Transmissibles (IST) et le Syndrome Immunitaire Déficitaire Acquis (SIDA), les déchets devraient faire l'objet d'une attention particulière [2]. D'ailleurs, selon le rapport de [3] sur le développement dans le monde, les municipalités des pays à faible revenu et à revenu intermédiaire consacrent souvent entre 1/5 et 1/2 de leurs budgets aux services de la voirie, alors que beaucoup de déchets ne sont pas enlevés. C'est le cas à Karachi (Pakistan), Dar-es-salam (Tanzanie) et Djakarta (Indonésie) avec respectivement 2/3, 4/5 et plus de 30% des déchets solides générés ne sont pas collectés.

Si en Afrique centrale, plusieurs auteurs ont abordé plus ou moins différemment à la problématique de la gestion des déchets notamment la typologie, la quantité de déchets produits et les stratégies de gestion adoptées par les États [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], aucune étude cependant, ne prend en compte la gestion des déchets de couches de bébé qui représentent de plus en plus une part non négligeable des ordures issues des ménages dans nos villes. En France par exemple, pour un enfant qui porte des couches jetables jusqu'à ses 2 ans et demi, environ 20m³ de déchets sont produits (l'équivalent d'une piscine de maison), soit 800kg. On peut estimer que la production de couches jetables est comprise dans une fourchette de 700 000 tonnes à 1.8 millions de tonnes par an en France. Avec un taux de croissance élevé et une tendance de plus en plus accrue à l'utilisation des couches jetables de bébé, les populations des pays en voie de développement produisent plus de déchets.

La ville de Yaoundé au Cameroun en l'occurrence, produit environ 1920 tonnes de déchets par jour (en 2016) pour une population estimée à environ 3,1 millions d'habitants, soit environ 700 000 tonnes par an [14]. La majorité des habitants de cette ville de fait, se sont arrimés aux modes de consommation des sociétés modernes. L'effet immédiat de ce changement social a été l'augmentation de la consommation et la production des déchets [15]. Ces déchets proviennent en grande majorité des ménages (75%) et des services publics et activités économiques (20%). Par ailleurs, si l'on veut se donner les moyens de faire en sorte que cette ville de Yaoundé soit résiliente, durable et ouverte à tous pour offrir de grandes opportunités de consommations, il est indispensable de mettre en place une gestion efficace et appropriée des déchets solides pour atteindre les Objectifs 3 et 12 de Développement Durable (ODD). Pour cela, un état de lieu fiable prenant en compte les risques environnementaux liés à chaque type de déchets est indispensable pour l'amélioration de la lutte contre les ordures. Si de nombreuses études réalisées dans la ville de Yaoundé montrent ainsi que le textile sanitaire est de plus en plus présent dans les déchets [14], [15], aucune étude cependant ne se focalise sur les risques ou impacts environnementaux des couches jetables à usage unique de bébé de plus en plus utilisées par les ménages. La présente étude se propose donc de collecter et de créer une banque de données originales et susceptibles d'aider à la compréhension des rôles des acteurs dans les enjeux environnementaux des couches jetables pour bébé ainsi que les problèmes causés par les couches de bébé à usage unique sur le plan environnemental.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 SITE D'ÉTUDE

La ville de Yaoundé (3° 52' 12" N, 11° 31' 12" E) s'étend sur 36 000 ha avec une population estimée à environ 3,1 million d'habitants [16]. Le climat est de type tropical caractérisé par deux saisons de pluies et deux saisons sèches [17]. Cependant, le constat établit ces dernières années indiquent un climat progressivement caractérisé par une longue saison de pluies et une longue saison sèche. La température moyenne annuelle est de 23.7 °C et les précipitations sont en moyenne de 1643 mm d'eau par an [18]. Située dans la région du Centre (figure 1), Yaoundé, capitale politique du Cameroun est le siège des institutions administratives et politiques, et également le siège social des sociétés privées et publiques. C'est également la capitale de la Région du Centre ayant à sa tête un Gouverneur comme chef administratif.

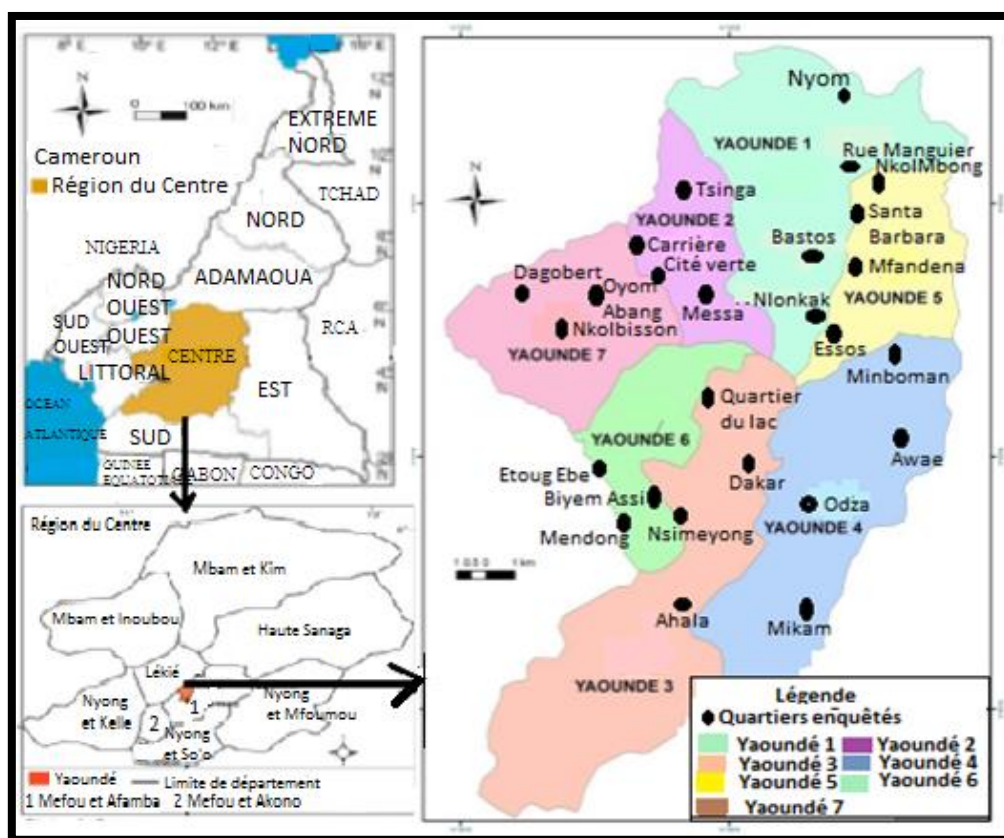


Fig. 1. Carte de localisation des quartiers enquêtés dans la ville de Yaoundé

2.2 ÉCHANTILLONNAGE AUPRÈS DES MÉNAGES DE LA VILLE YAOUNDÉ

Les enquêtes par échantillon ou quantitatives et les enquêtes par le biais d'un interlocuteur ou qualitatives ont été utilisées pour la collecte des données sur le terrain, les objectifs étant de cerner les actions des habitants et leurs perceptions des déchets de couches de bébé à usage unique, puis d'identifier des inégalités environnementales et les modes de gestion dans les différents milieux socioéconomiques.

Pour atteindre ces objectifs, 26 quartiers de la ville de Yaoundé ont été au préalable catégorisés à partir des critères tels que l'aspect socio-économique, l'accès aux services d'hygiène et de salubrité, la qualité des maisons et la qualité du site de décharge. Cette stratification avait pour but de définir des zones homogènes suivant les critères définis. A cet effet, cinq (5) catégories de quartiers ont été retenus pour l'enquête: haut standing (Bastos, Quartier du lac, Odza, Mfandena), moyen standing (Tsinga, Dakar, Minboman, Santa Barbara, Biyem-Assi), habitats spontanés (Rue Manguier, Carrière, Nsiméyong, Awae, Essos, Etoug-Ebe, Nkolbisson, Oyon, Abang, Dagobert), rurbains (qui se trouvent aux limites des zones urbanisées et des zones rurales; Nyom, Ahala, Minkan, Nkolmbong, Dagobert) et habitats collectifs (Nlongkak, Cité Verte, Messa, Mendong). Par la suite, suivant la méthode décrite par [15], un échantillonnage aléatoire simple a été utilisé pour la sélection des quartiers selon le type d'habitat majoritaire (en tenant compte de la mixité territoriale) dans une unité administrative. Par exemple, pour sélectionner un quartier de bas standing dans une Commune de Yaoundé, tous les quartiers de cette catégorie étaient enregistrés et nous procédions au tirage. Au total, 26 quartiers ont été retenus dans les sept communes d'arrondissement de Yaoundé. Une fois les quartiers retenus, les ménages devant participer à l'enquête étaient choisis au hasard et les questionnaires et les guides d'entretien leur ont été administrés. Les ménages privilégiés étaient ceux situés à proximité de la voie principale desservant le quartier.

L'équipe ayant contribué à l'enquête auprès des ménages était composée de sept (7) étudiants de Master 1 de la spécialité Environnement et Mesure de Conservation (EMC) du Centre Régional des Études Spécialisées en Agriculture Forêt et Bois (CRESA-Forêt-Bois) de Nkolbisson. Au total, 140 ménages inégalement répartis dans les 26 quartiers sélectionnés ont été enquêtés. Pour un bon suivi des activités, un briefing journalier était effectué (via les plates-formes de réseaux sociaux) pour faire le point sur l'avancée de l'enquête et des problèmes rencontrés. Quelquefois, les questionnaires étaient laissés et l'enquêteur revenait plus tard et à une date fixée par un membre du ménage pour faire l'entretien.

La Grille d'Analyse de Développement Durable (GADD) permet d'évaluer dans quelle mesure une politique, une stratégie, un programme ou un projet favorise l'amélioration des conditions humaines. Elle permet à ceux qui l'appliquent de se situer et de proposer des pistes de bonification à un projet ou à une démarche, dans une perspective d'amélioration continue. Elle nous a permis d'effectuer une analyse de la protection et la gestion de l'environnement selon la dimension écologique. La GADD calcul automatiquement la moyenne des pondérations des objectifs associés à chaque thématique. Elle procède par pondération de l'objectif à évaluer, et du principe de performance et de la performance globale. Une moyenne des pondérations élevée signifie que la majorité des objectifs associés à un thème a été jugé important ou indispensable. Le thème représente donc d'un enjeu majeur associé au PSPP (politique stratégie programme ou projets) ou à une organisation. Les enjeux prioritaires sont les thèmes pour lesquels la moyenne des pondérations des objectifs associés est égale ou supérieure à 2,5.

2.3 ANALYSE DES DONNÉES

Les données brutes issues de l'enquête ont été encodées dans un tableur Excell, puis les différentes courbes et histogrammes ont été réalisés. La moyenne des pondérations de la GADD a été calculée automatiquement par le tableur.

3 RÉSULTAT ET DISCUSSION

3.1 CARACTÉRISTIQUES DES ENQUÊTÉS DANS LES MÉNAGES

Les informations sur le genre, l'âge, le rôle des enquêtés dans le ménage ont permis de caractériser les personnes ayant un lien direct ou indirect dans la chaîne de gestion des couches jetables à usage unique.

3.1.1 APPROCHE SUR LE GENRE D'ENQUÊTÉS

Une observation sur le pourcentage du genre d'enquêtés ayant effectivement pu répondre à notre questionnaire indique que la majeure partie (86%) est constituée de femmes. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que dans la plupart des ménages, les femmes sont inactives ou mènent une activité commerciale à la maison. Les femmes s'avèrent donc être la grande cible de notre population de travail.

3.1.2 RÔLE DES ENQUÊTÉS DANS LE MÉNAGE

Dans la majorité des ménages, les femmes sont considérées comme les actrices importantes de la situation des couches jetables sur l'environnement car elles sont en majorité (82%) dans un foyer avec des enfants. Les hommes (9%) et les jeunes issus du ménage mais ayant au moins 18 ans (9%) sont faiblement représentés dans notre échantillonnage (figure 2).

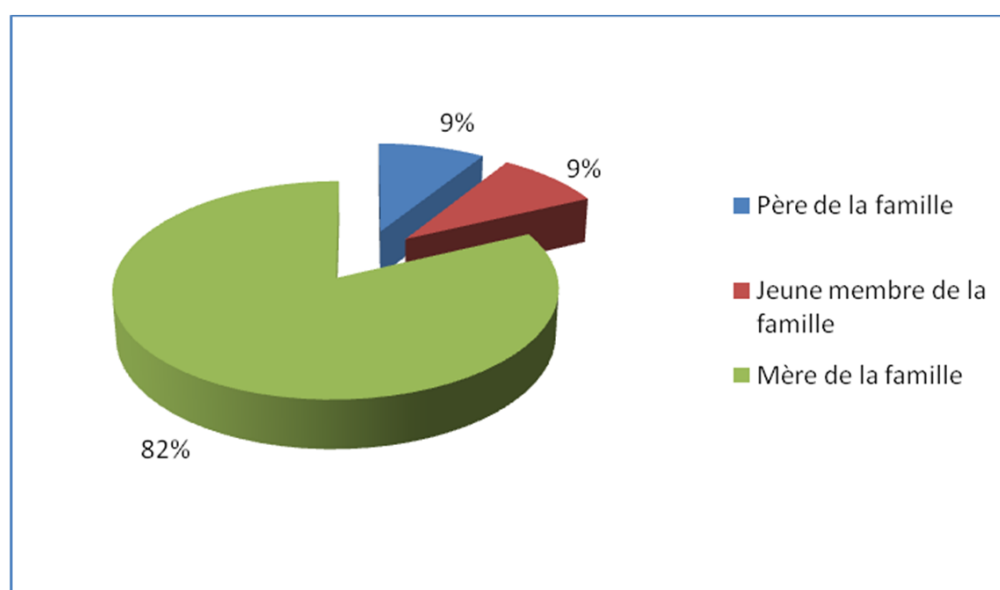


Fig. 2. Fonction des personnes enquêtées dans le ménage

3.1.3 ÂGES DES PERSONNES ENQUÊTÉES

La figure 3 présente la répartition des âges des enquêtés dans les ménages. Il en ressort que la tranche d'âge la plus représentative (66 personnes) est celle comprise entre 28 et 37 ans, suivie de la tranche d'âge allant de 18 à 27 ans (39 personnes). La tranche comprise entre 58 et 67, puis de 68 à 77 ans sont faiblement représentées avec une personne chacune. Les deux premières tranches d'âges sont en majorité constituées des femmes et d'enfants ayant un lien plus ou moins direct avec les couches à usage unique, soit par utilisation sur les bébés et les vieillards, soit en les achetant.

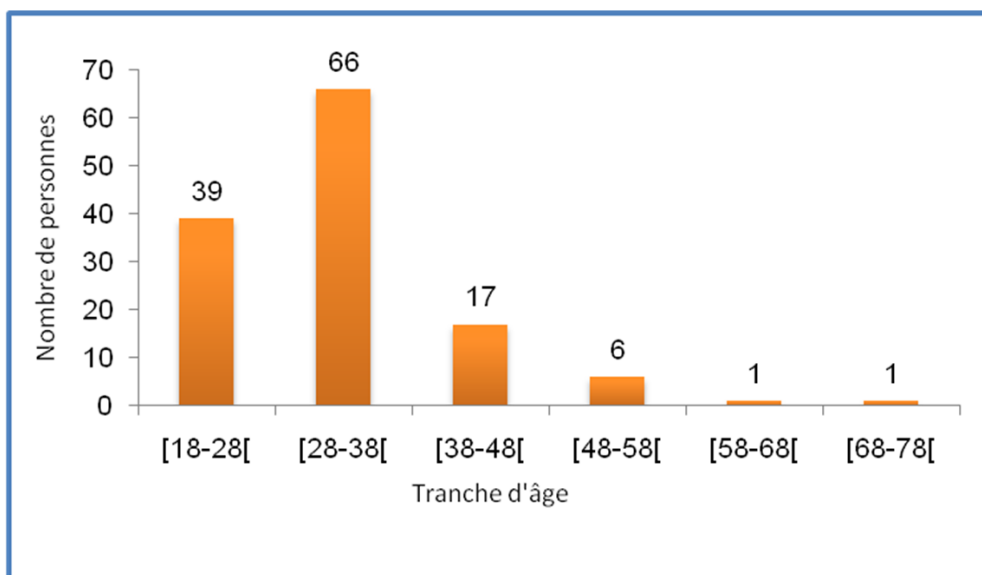


Fig. 3. Répartition des âges des enquêtés dans les ménages

3.2 QUANTITÉS DE COUCHES UTILISÉES PAR LES MÉNAGES

La figure 4 présente une approximation journalière de la quantité des couches utilisées dans les ménages. 84% soit 117 ménages utilisent ainsi environ 3 couches par jour, tandis que 9% utilisent en moyenne 7 couches et seulement 5% utilisent environ 5 couches par jour. Le nombre de couches utilisé dépend en effet de l'âge du nourrisson. Plus le nourrisson est âgé, moins il utilise les couches.

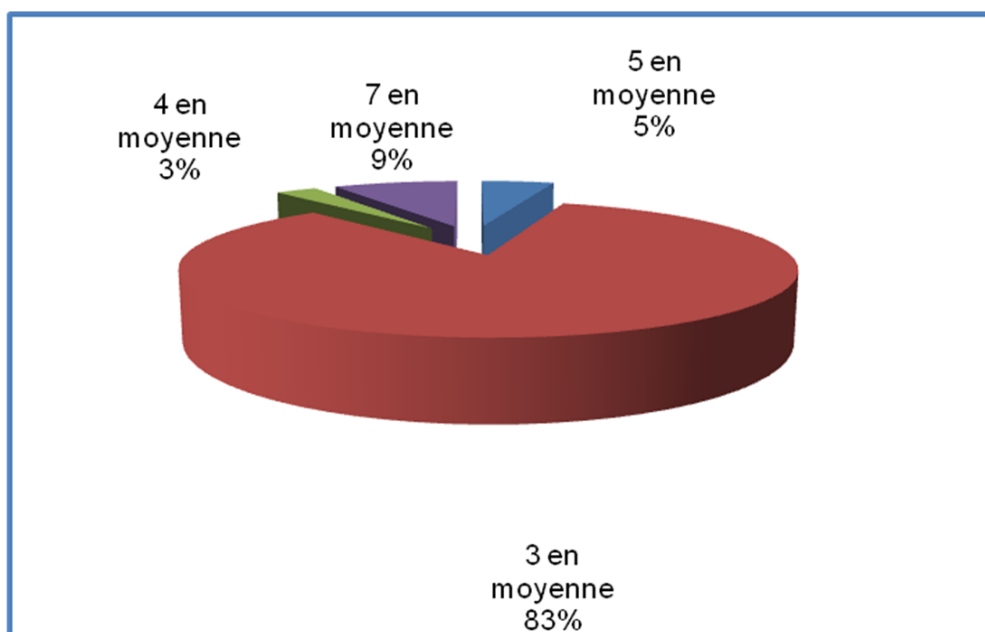


Fig. 4. Estimation journalière du nombre de couches utilisé par ménage

3.2.1 ESTIMATION DE LA DURÉE MOYENNE D'UTILISATION DES COUCHES DANS UN MÉNAGE À UN BÉBÉ

Dans le but d'évaluer la quantité de déchets de couches jetables, un questionnaire portant sur la durée moyenne d'utilisation des couches dans un ménage qui possède un bébé a été proposé à l'enquête. Il en ressort que 57%, soit 74 ménages utilisent les couches pour leur bébé pendant au moins 7 mois, et 43% entre 1 et 3 mois. Dans ce dernier cas, les enquêtés affirment utiliser pour la suite les couches lavables moins coûteuses que les couches jetables à usage unique.

3.2.2 RESPECT DES CONSIGNES DE LA NOTICE D'USAGE

Les consommables certifiés respectant les normes environnementales peuvent susciter un intérêt auprès des consommateurs et serait un paramètre important d'évaluation de l'impact sur l'environnement. A cet effet, 56 ménages (40 %) de notre population d'enquête estiment s'intéresser aux consignes inscrites sur la couche. Selon ces derniers, ce critère orienterait leur choix vers l'une ou l'autre marque de couches jetables. Cependant, la plupart des enquêtés affirment utiliser les couches sans s'intéresser sans lire la notice.

3.2.3 LIEU D'APPROVISIONNEMENT EN COUCHES JETABLES

La figure 5 indique les différents lieux d'approvisionnement en couches jetables dans les différents ménages. Il ressort que pour 69% des ménages de la ville de Yaoundé, s'approvisionnent en couches de bébés dans les boutiques du quartier, 10% dans les supermarchés, 9% dans les marchés et 2% chez les vendeurs à la sauvette. Ce constat est préoccupant car les boutiquiers du quartier, les vendeurs à la sauvette et même certains marchands pourraient être vecteurs des qualités douteuses (non conforme ou périmés), ce qui peut être une fatalité pour l'environnement.

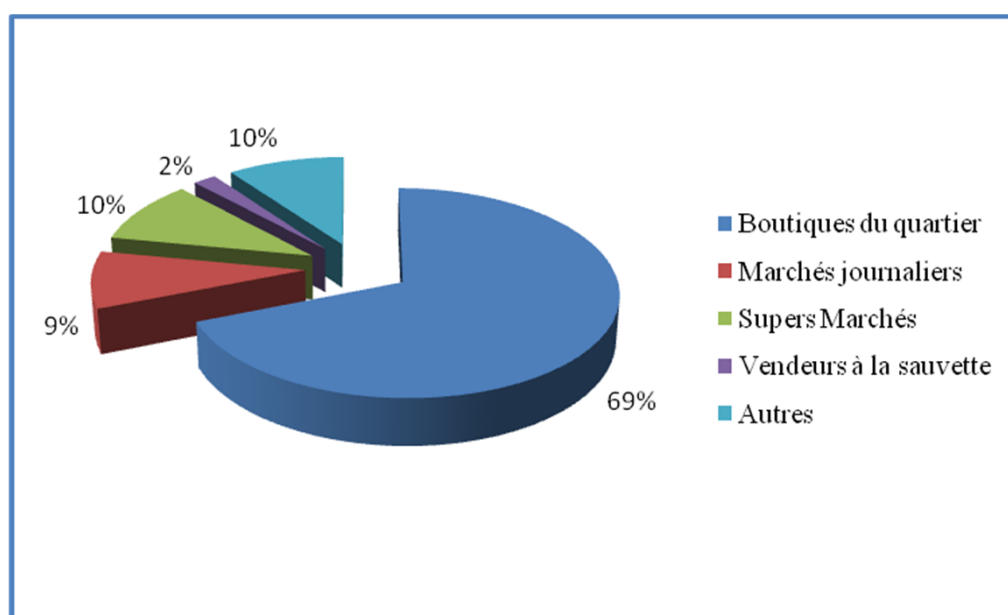


Fig. 5. Répartition des lieux d'approvisionnement en couche bébé à usage unique

3.2.4 CONNAISSANCES SUR LES MARQUES DES COUCHES UTILISÉES

Plusieurs marques de couches jetables ont été identifiées par les ménages de la ville de Yaoundé (tableau 1). Même si la plupart (58 ménages) déclare leur préférence envers la marque MOLFIX pour leurs progénitures (planche 1), d'autres avouent utiliser généralement environ 2 marques en association.



Planche 1: Photographie d'une marque de couche parmi les plus consommées dans la ville de Yaoundé. A: Emballage contenant les couches B: Aspect d'une couche de la marque Molfix

Tableau 1. Inventaire des différentes marques utilisées en fonction du nombre de ménages de la ville de Yaoundé

Différentes marques de couches utilisées par les ménages	Nombre de ménage utilisant la marque
MOLFIX	58
MOLFIX - ORIDEL	3
JOYLINKS;	12
LUNA	2
MOBY BEBE	2
MOLFIX – TAFFY - LUNA	2
MOLFIX - TIOF	4
SOFCARE - MOLFIX	6
ORIDEL	7
ORIDEL - LUNNA	7
ORIDEL ZERO WAIT	11
PAMPERS	10
SOFTCARE	4
TIOF	6
UNIHOPS	6
Total	140

Source: Enquête de terrain, Yaoundé août 2020

3.2.5 MODE DE GESTION DES COUCHES JETABLES APRÈS USAGE PAR LES MÉNAGES

Interrogé sur le mode de gestion de couches de bébé après usage, 93 % des ménages de notre échantillon affirment stocker tous les déchets dans des poubelles avant leur rejet dans les lieux de décharge et 7% les jettent dans directement la nature notamment dans les caniveaux et les cours d'eau au détriment de leur impact sur l'environnement.

3.3 ÉVALUATION DES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX DES COUCHES BÉBÉS À USAGE UNIQUE DANS LA VILLE DE YAOUNDÉ

Le résultat de l'analyse à l'aide de la Grille d'analyse de développement durable (GADD) a permis d'apprécier les enjeux de l'utilisation des couches bébés dans la ville de Yaoundé. Le tableau 2 présente les différents objectifs environnementaux considérés dans l'appréciation de la prise en compte de l'impact des couches bébés à usage unique dans la ville de Yaoundé sur l'environnement.

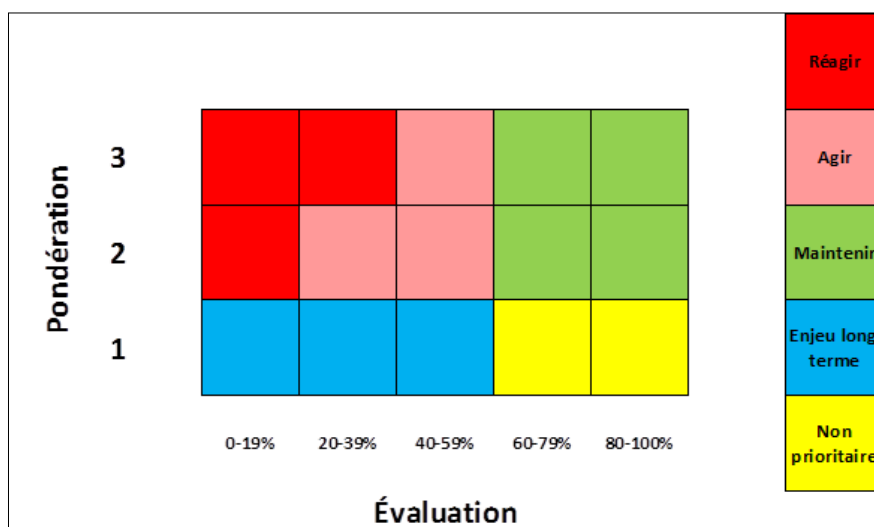
Tableau 2. Pondération et performance des thèmes de la dimension écologique des couches à usage unique dans la Grille d'analyse du développement durable

Dimension écologique		
Thème	Pondération moyenne	Performance moyenne
Ecosystèmes	3	12
Biodiversité	3	19
Ressources	3	14
Extrants	3	11
Usage du territoire	3	11
Changement climatique	3	11
Pondération globale / performance globale	3	13

Source: Enquête de terrain, Yaoundé août 2020

La dimension écologique de la GADD [18] vise à répondre aux besoins de qualité du milieu naturel et de pérennité des ressources ainsi qu'à redéfinir la relation humain-nature. Les pondérations et les performances sont attribuées en fonction de la pertinence des thèmes. L'évaluation de chaque thème a conduit globalement à une pondération de 3 et une performance égale à 13 (tableau 2). Sur la base de ces données, la situation des couches à usage unique dans la ville de Yaoundé est donc préoccupante et l'algorithme de priorisation des thèmes ou objectifs à bonifier (tableau 3) indique que l'action à mener dans ce cas est celle d'agir. Le thème représente un enjeu majeur associé à un projet. Les enjeux prioritaires sont les thèmes pour lesquels la moyenne des pondérations des objectifs associés est égale ou supérieure à 2,5.

Tableau 3. Algorithme de priorisation des objectifs à bonifier



Le tableau 4 présente quelques critères d'évaluation des enjeux environnementaux des couches dans la ville de Yaoundé. L'évaluation se distribue sur une échelle de trois valeurs: forte, moyenne et faible. Il ressort de ce tableau que le critère santé et sécurité des populations est le plus impacté de l'environnement à travers la pollution des sols, des eaux et de l'air ambiant relatif aux couches jetables usées et qui gisent dans la nature ambiante de la cité capitale. La pondération des différents critères prend en compte les impacts des couches de bébé sur les ressources, l'écosystème et les changements climatiques dans la ville de Yaoundé.

Tableau 4. Matrice des enjeux environnementaux potentiels des couches

Impact des couches	Critères environnementaux	Importance de l'impact: x xx = forte, xx = moyenne et x = faible
Impacts globaux des couches de bébés à usage unique sur le climat de la ville de Yaoundé	Changement climatique global	x x
	Déperdition de la couche d'ozone	x x
	Précipitation acide	x x
	Risque de catastrophe	x
Impacts des couches de bébés à usage unique sur les ressources de la ville de Yaoundé	Modification d'écosystème	x x
	Modification de l'aménagement	x
	Modification du paysage	x x
	Modification du mode de vie	x xx
Impacts spécifiques des couches de bébés à usage unique sur l'environnement de la ville de Yaoundé	Pollution de l'air ambiant	x x
	Pollution des eaux	x xx
	Pollution du sol	x xx
	Pollution thermique	x
	Pollution radioactive	x x
	Pollution olfactive	x x
	Santé et sécurité	x xx

Source: Source: Enquête de terrain, Yaoundé août 2020

Les éléments de l'environnement tels que l'eau, le sol susceptibles d'être plus impactés par les déchets de couches de bébé reçoivent la plus forte pondération et ont une relation directe ou indirecte avec la santé et la sécurité. D'autres critères à l'instar du paysage, de la pollution olfactive et thermique, du changement climatique seraient moins impactés.

4 DISCUSSION

Les données sur la caractérisation de la population enquêtée montrent que les femmes ont été les plus interrogées. Ce constat s'expliquerait par l'inactivité des femmes liée au fait qu'elles sont allaitantes pour la majeure partie et leur rôle dans la gestion des petites boutiques à domicile. Ces mères de famille peuvent donc être considérées comme actrices majeures dans la gestion des couches de bébé en raison de leur contact plus ou moins épisodique à ces jetables. 83% des femmes estiment utiliser environ 3 couches/jour pendant au moins 3 mois. Étant donné que la masse moyenne d'une couche de bébé, tout type et taille confondus est de 40 g [19], la masse de déchets de couches usagées produites par un ménage ayant un enfant dans la ville de Yaoundé est estimée à 120 g/jr ou 840g/semaine ou 4,32kg/an de déchets de couches. En se basant sur la faible fréquence de vidange des bacs par les services d'hygiène couplée à multiplicité des tas sauvages [9], les risques environnementaux sont non négligeables. Il n'est pas à exclure que ces différentes voies d'exposition conduisent à une augmentation des risques environnementaux estimés, notamment pour les substances telles que: les dioxines, les furanes, le formaldéhyde retrouvées dans les couches pour bébé [20]. En effet, ces substances toxiques pourraient se transiter par les lixiviats et déversés dans l'environnement où elles pourraient se retrouver dans la chaîne alimentaire [21]. estime d'ailleurs que la pollution atmosphérique, la contamination de l'eau, l'absence de système d'assainissement, les substances toxiques, les vecteurs de maladie et la dégradation des écosystèmes provenant de la salubrité de l'environnement sont autant de facteurs de risque environnementaux pour les enfants et la plupart du temps pour leurs mères. Cette donnée justifie les pondérations élevées et les performances élevées de la dimension écologique dans la GADD et la matrice des enjeux environnementaux des couches correspondant ainsi à l'action agir dans l'algorithme de priorisation des objectifs. Agir ici pourrait commencer par la mise en place de la précollecte de ce type de déchets dans les domiciles afin d'empêcher leur déversement dans la nature.

5 CONCLUSION

Les déchets de couches de bébé à usage unique ont un impact négatif sur l'environnement de la ville de Yaoundé. L'enquête effectuée au sein de 140ménages dans 26 quartiers appartenant à 5 catégories révèle que la majorité des enquêtés étaient des femmes. La population d'enquête, constituée en majorité des personnes dont l'âge est compris entre 28 et 38 ans, estiment utilisée les couches au moins pendant 7 mois pour leur progéniture et s'approvisionnent pour la plupart des cas dans les boutiques du quartier. Même si 93% des consommateurs stockent les couches usées avec les autres déchets, beaucoup affirment jeter leurs ordures dans les tas sauvages, les cours d'eaux et les caniveaux. A partir de cette observation,

l'établissement d'une grille d'analyse de développement durable sur la dimension écologique par pondération et la lecture des résultats dans l'algorithme de priorisation a permis respectivement d'analyser l'impact des couches sur l'environnement et à définir l'action à mener qui est de réagir. Face à cette situation, il est urgent de mener des actions concrètes soit en éduquant les populations sur le respect des consignes d'usage des couches et sur leurs modes de gestion après usage, soit en mettant en place des entreprises spécialisées dans la précollecte, la collecte et le traitement des couches usées et autres déchets de même nature.

REFERENCES

- [1] Banque Mondiale. 2012. What a waste: a global review of solid waste management, N°15, 115p.
- [2] Sotamenou J. 2005. « Efficacité de la collecte des déchets ménagers et agriculture urbaine et périurbaine dans la ville de Yaoundé au Cameroun ». Mémoire de DEA-PTCI en Economie, Université de Yaoundé II, Cameroun, 144 p.
- [3] Banque Mondiale. 1992. Rapport sur le développement dans le monde, 298 p.
- [4] Onibokun A G. 2001, La gestion des déchets urbains. Des solutions pour l'Afrique. CIRDI, Karthala, 256 p.
- [5] Tini A. 2003. La gestion des déchets solides ménagers à Niamey au Niger: Essai pour une stratégie de gestion durable. Thèse de géographie aménagement urbanisme, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, France. 302p.
- [6] Ngnikam E. 2000. Evaluation environnementale et économique de systèmes de gestion des déchets solides municipaux: analyse du cas de Yaoundé au Cameroun. Thèse de Doctorat, INSA, Lyon, France. 355 p.
- [7] Tezanou J., Koulidiati J., Proust M., Sougoti M., Goudeau J.C., Kafando P., Rogaume T., 2001. Caractérisation des déchets ménagers de la ville de Ouagadougou (Burkina Faso). Revue francophone d'écologie industrielle, Déchets Sciences et Techniques, 10 p.
- [8] Merino M. 2002, "Une ville et ses déchets: l'exemple de Nairobi aujourd'hui", Les cahiers de l'IFRA, n° 22: 33-58.
- [9] Ngambi J. R. 2006. Topographie et Gestion des déchets solides ménagers dans l'arrondissement de Yaoundé I. mémoire de Maîtrise, Université de Yaoundé I, 105 p.
- [10] Ngambi J. R. 2008. Étude des indicateurs et conséquences sanitaires de la pollution des cours d'eau dans la ville de Yaoundé: le cas de l'arrondissement de Yaoundé I. Université de Yaoundé I, Mémoire de DEA, 126 p.
- [11] Bontianti, A et Yonlhinza, I A. 2008. La RN: un exemple d'intégration économique sous-régionale et un facteur de désenclavement du Niger. Les cahiers d'Outre-mer; vol 241-242 [18]. Abessolo, S A., Amougou, J A., Tchindjang, M., Mena, S M et Batha, A S. 2015. Analyse des précipitations à la station de Yaoundé de 1985 à 2006. Afrique Science. Volume 11 (2), 183-194.
- [12] Diawara A B. 2010. Les déchets solides à Dakar. Environnement, Sociétés et Gestion Urbaine, Thèse de Doctorat en Géographie-Aménagement, Université Bordeaux 3. 791p.
- [13] Sotamenou J. 2010; La délégation du service public de gestion des déchets solides en Afrique: A la recherche d'indicateurs de performance. 9th International conference of territorial intelligence, ENTI, Strasbourg, 13 p.
- [14] Ngninkam, E., Naquin, P., Oumbe, R et Djietcheu, KB. 2017. Évaluation des caractéristiques des déchets solides ménagers dans la ville de Yaoundé au Cameroun (1995-2015). Déchets Sciences et techniques, N°74. https://doi.org/104267/dechets_sciences-techniques.3654 [20]. ANSES (Agence Nationale de sécurité sanitaire, alimentation, environnement et travail). 2019. Avis révisé de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à la sécurité des couches pour bébé. Saisine n° 2017-SA-0019.
- [15] Ngambi JR. 2015. Déchets solides ménagers dans la ville de Yaoundé (Cameroun) De la gestion linéaire vers une économie circulaire. Thèse de Doctorat, Université de Maine, France. 490 p.
- [16] Institut Nationale de la Statistique, 2011, Deuxième enquête sur l'emploi et le secteur informel au Cameroun (EESI 2). Rapport final, Yaoundé, 155 p.
- [17] Suchel, J b. 1988. Les climats du Cameroun. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Bordeaux (France). 4 tomes. Edition Atlas. 89 p.
- [18] Villeneuve, C., Riffon, O., Tremblay, D. 2016. Comment réaliser une analyse de développement durable? Guide d'utilisation de la Grille d'analyse de développement durable. Département des sciences fondamentales, Université du Québec à Chicoutimi, en partenariat avec l'OIF/IFDD. 16p.
- [19] Group'hygiène. 2015. Les couches de bébé à usage unique. 23 rue d'Aumale - 75009 Paris. 10p.
- [20] OMS. 2002. Rapport sur la santé dans le monde: réduire les risques et promouvoir une vie saine. Organisation mondiale de la Santé, Genève. Page 19 p.

