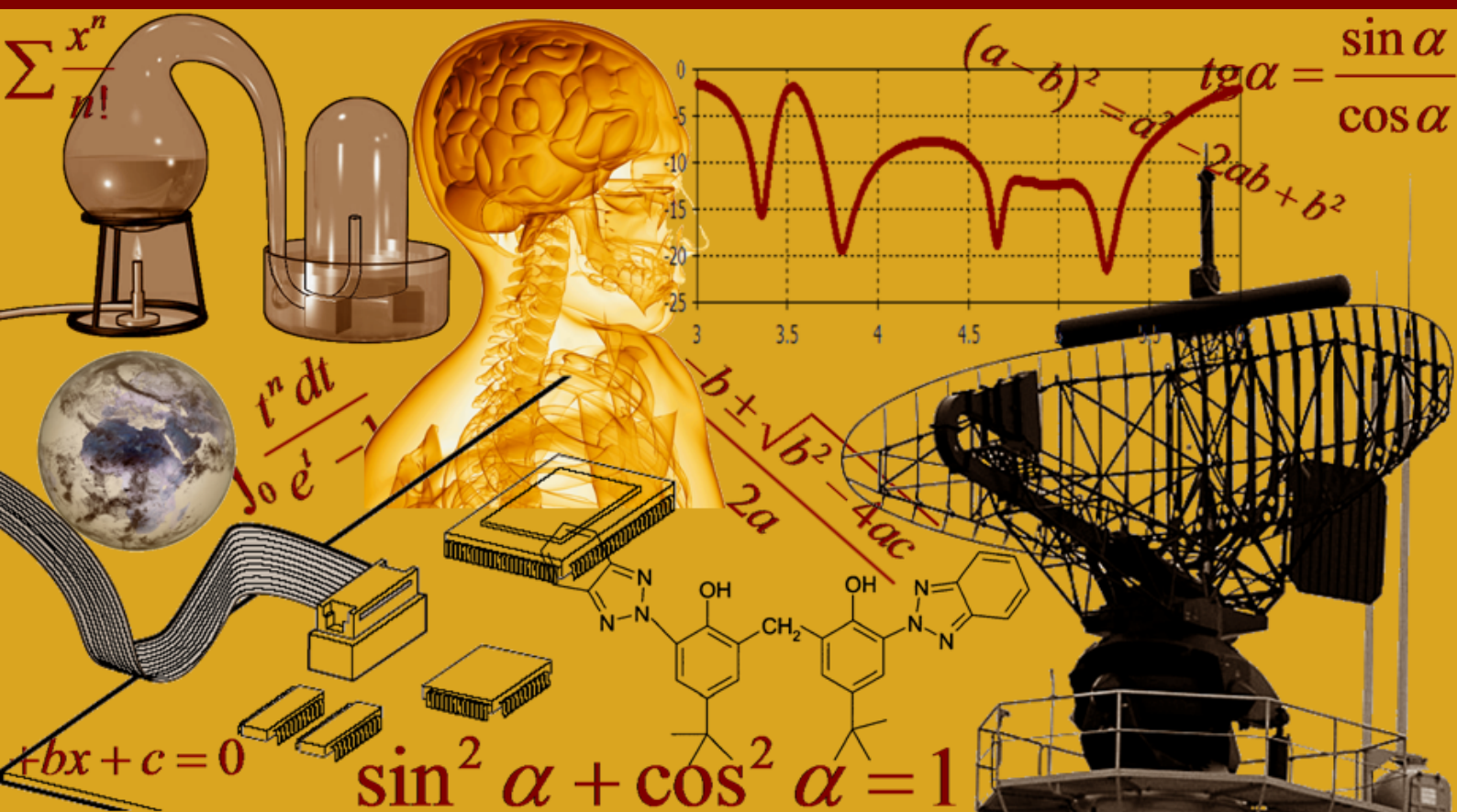


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND SCIENTIFIC RESEARCH

Vol. 83 N. 2 March 2026



International Peer Reviewed Monthly Journal



International Journal of Innovation and Scientific Research

International Journal of Innovation and Scientific Research (ISSN: 2336-0046) is an open access, specialized, peer-reviewed, and interdisciplinary journal that focuses on research, development and application within the fields of innovation, engineering, science and technology. Published four times per year in English, French, Spanish and Arabic, it tries to give its contribution for enhancement of research studies.

All research articles, review articles, short communications and technical notes are sent for blind peer review, with a very fast and without delay review procedure (within approximately two weeks of submission) thanks to the joint efforts of Editorial Board and Advisory Board. The acceptance rate of the journal is 75%.

Contributions must be original, not previously or simultaneously published elsewhere. 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

K. Messaoudi, Hochschule für Bankwirtschaft, Germany
Sundar Balasubramanian, Medical University of South Carolina, USA
Ujwal Patil, University of New Orleans, USA
Sankaranarayanan Seetharaman, National University of Singapore, Singapore
Rehan Jamil, Yunnan Normal University, China
Avdhoot Walunj, National Institute of Technology Karnataka, India
Fairouz Benahmed, University of Connecticut Health Center, USA
Achmad Choerudin, ST.,SE.,MM., Academy Technology of Adhi Unggul Bhirawa, Indonesia
Mohammad Ali Shariati, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Iran
Md Ramim Tanver Rahman, Jiangnan University, China
Rasha Khalil Al-Saad, Veterinary Medicine College, Iraq
Malika Maataoui, Mohammed V University, Morocco
Neil L. Egloso, Palompon Institute of Technology, Philippines
Sanjay Sharma, Roorkee Engineering & Management Technology Institute, India
Ahmed Nabile Emam, National Research Center (NRC), Egypt
Md. Arif Hossain Jewel, Rural Development Academy, Bangladesh
N. Thangadurai, Jayalakshmi Institute of Technology, India
Anupam Kumar, Ashoka Institute of Technology & Management, India
Goutam Banerjee, Visva-Bharati University, India
Santosh Kumar Mishra, S. N. D. T. Women's University, India
Urmila Shrawankar, G H Rasoni College of Engineering, India

Table of Contents

Assessing the Effects of CAP Implementation on Economic Growth in Croatia, Bulgaria and Slovenia <i>Ardi Parduzi, Arbenita Kllokoqi, and Liridon Xhafa</i>	150-155
Optimisation des services généraux de la Banque Centrale du Congo: Apport du lean management (Étude menée en 2023) <i>Roger Nzapakembi Kwando and Nzembula Nyota Ruth</i>	156-164
Contribution au calcul des structures des bâtiments de type R+9 sans éléments de contreventement dans les zones sismiques de Goma et de Bukavu en République Démocratique du Congo (RDC) <i>Amadou MOUNDOM, MAPENDO KABYABU Feja, MUHINDO KASAY Thierry, GUETSA KAMANOU Flavien, François NGAPGUE, and Thomas TAMO TATIETSE</i>	165-211
Evaluation des pratiques de gestion des stocks dans les petites et moyennes entreprises nigérianes du marché central de Kinshasa <i>Roger Nzapakembi Kwando and Mamanu Djamal Issa</i>	212-216
Variabilité climatique récente en Côte d'Ivoire (1981-2025) <i>Kouassi Kouakou Alain François, Zonkouan-Kouame Badjo Ruth Virginia, Coulibaly Kolotioloma Alama, and Dibi-Anoh Agoh Pauline</i>	217-228
Analyse corrélative sur l'évolution du débit du fleuve Congo et son impact sur la production de l'énergie hydroélectrique du barrage d'Inga de 1990 à 2021 <i>Kuasa Guyguy Guillaume, Shuku Onemba Nicolas, Wetshindjadi Loshakoy Benoît, and Mvumbi Sylvain Mavinga</i>	229-241
Influence des facteurs environnementaux et anthropiques sur la distribution des petits et moyens carnivores du Parc National de Taï, Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire <i>Kouakou Djakaria DRAMANE, Jarvis Brumel KOPOIN, Ange Edgar Habib Monket, Kouakou Claude-Victorien, and Jean-Claude Koffi BENE</i>	242-252
Impact socio-économique et environnemental des forages d'eau dans le Quartier BAHUMBU II à Kinkole, Commune de la N'selé Ville de Kinshasa en République démocratique du Congo <i>Shuku Onemba Nicolas, Kuasa Guyguy Guillaume, and Mvumbi Sylvain Mavinga</i>	253-263
Etude cartographique et pétrographique de Ntoni et ses environs (Territoire de Mbanza Ngungu, Province du Kongo Central, RD Congo) <i>Nsakala Tanda Reddy Andy, Penoy Delphin Delly, Prisca KATSHUNGA AKAZIA, Ngumba Ngumba Victoire, Kazadi Mujinga Stella, Mabaya Arielle Arielle, Lubamba Lubamba Bob, Buluku Palamoke Grace, and Ishaku Kaunga Omega</i>	264-280
Techniques d'enseignement appliquées plus dans notre pratique professionnelle: Avantages et leurs obstacles <i>John KITUMAINI BIJACHI</i>	281-285
Densification du bâti et organisation urbaine dans l'espace planifié de la commune de Matete à Kinshasa (RDC) <i>Alain Bosco Mansila Baketa, Shuku Onemba Nicolas, Jean Claude Mashini Dhi Mbita, and Mvumbi Sylvain Mavinga</i>	286-300
Comportements des parents face aux adolescents ivrognes au SUD-KIVU: Cas de la ville de Bukavu (RDC) <i>John KITUMAINI BIJACHI</i>	301-314
Calibration et contrôle du bon fonctionnement des analyseurs de lait <i>Bouslah Fatima and Sonia Maatoug-Ouzini</i>	315-322
Désinfection de l'eau par l'oxygène singulet généré par la photosensibilisation des extraits de plantes <i>Teddy Makuba SUNDA, Kalulu Muzele TABA, Francis ROSILLON, and Bernard WATHELET</i>	323-330
Hyphomycètes aquatiques de quelques cours d'eau de Guinée (Afrique de l'Ouest) <i>Nathalie Sia Doumbou Tenkiano and Eric Chauvet</i>	331-338
Influence des fluctuations pluviométriques intra-annuelles sur les systèmes de production halieutique dans la région du Poro (Côte d'Ivoire) <i>Silué Zahalo Mamadou and Koudou Dogbo</i>	339-356
Effets de l'extrait aqueux des feuilles de ricin (<i>Ricinus communis</i> var <i>sanguineus</i> L.) sur les ravageurs et le rendement de la culture de niébé (<i>Vigna unguiculata</i> L.) dans la ville de MbujiMayi, RD Congo <i>Aimé Tshibanda Fwabana, André Kayombo Mbumba, and John Tshibamba Mukendi</i>	357-367

Feuilles de Manioc (manihot esculenta crantz) Cultivées sur les Sols de Moanda Riche en Manganèse, Risques et Conséquences pour Santé des Consommateurs	368-376
<i>Stéphane Mombo, Norbert Ondo Zue Abaga, Albert Noy, Messi Me Ndong, Éphrem Nzengue, Alexis Nicaise Lepengue, Dhert Souviens Ontod, Tshi Tshi, Aurélien Mokéa-Niaty, Yaëlle Christie Massounga, Alain Souza, and Camille Dumat</i>	
Étude qualitative des eaux de la nappe du Maastrichtien à Touba (Sénégal): Cas du fluor et du résidu à sec	377-383
<i>Ibra Kandji, Papa Babacar Diop Thioune, and Mamadou Salif Diallo</i>	

Assessing the Effects of CAP Implementation on Economic Growth in Croatia, Bulgaria and Slovenia

Ardi Parduzi¹, Arbenita Kllloqi², and Liridon Xhafa³

¹Faculty of Business and Economics, Southeast European University, Republic of North Macedonia

²Faculty of Business and Economics, Southeast European University, Republic of North Macedonia

³Faculty of Economics, University of Prishtina, Republic of Kosovo

Copyright © 2026 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 analyses the impact of the Common Agricultural Policy (CAP) on economic growth and performance of many economic sectors related to the agricultural sector in Bulgaria, Croatia and Slovenia. Comparing the main economic indicators before and after EU integration, the study identifies both positive and negative trends. The results show that in Bulgaria, economic growth slowed down slightly after the implementation of the CAP, while on the other hand unemployment decreased and agricultural exports and direct payments to this sector increased significantly, reflecting improved support and competitiveness in the agricultural sector. In Croatia, GDP growth strengthened, accompanied by a modest decrease in unemployment and a significant increase in agricultural production and subsidies, which were a result of the work carried out over the years and the long period of membership. Both countries experienced a decrease in the number of farms, but on the other hand increasing their productivity and size, while increasing efficiency in the agricultural sector. Overall, the findings show that CAP integration has contributed to improving agricultural performance and labor market conditions, although its effects on overall economic growth remain mixed as some sectors have experienced growth while others have experienced declines. The impact of the policy appears to be strongest in promoting modernization, investment, and export capacity within agriculture.

KEYWORDS: Common Agricultural Policy, economic growth, agriculture, employment, EU integration.

1 INTRODUCTION

The enlargement of the European Union to the countries of Central and South-Eastern Europe has brought new challenges and opportunities for the implementation of the Common Agriculture Policy (CAP), especially in economies that have moved from centralized systems to market economies, thus affecting the growth and development of the agricultural sector in most of these member states. In this context, Croatia, Bulgaria and Slovenia represent case studies of particular interest, as these countries have different levels of economic development, different structures of the agricultural sector and different experiences in the process of European integration and the implementation of CAP policies.

The overall economic health of a country is measured by looking at the economic growth and development of that country. Sustainable economic growth is a vital importance to the economy of countries, especially developing countries that are facing challenges of economic and political stability, where special attention is paid to the structural changes of these factors and their impact on economic growth. Countries that lack capital, infrastructure, isolation from other countries, a factor that would affect sustainable economic stability and maintaining low unemployment is the development of the agricultural sector.

The importance of the development of this sector is also highlighted by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), which in its 2021 report acknowledges that, taking into account the latest forecasts, to meet the needs of one-

third of the population growth, where the global population is projected to reach 9.7 billion by 2050, it will be necessary to increase the production of consumer products in agriculture by almost 50% compared to 2012.

According to [1] targeted investments mainly require intensive development through the widespread implementation of innovative projects in this sector such as "Smart Agriculture" and "Digitalization of Agriculture", as well as the intervention of modern methods of state support in this direction.

The aim of this paper is to assess the effects of the implementation of the Common Agricultural Policy on the economic growth of Croatia, Bulgaria and Slovenia, by analyzing the impact of the CAP, the performance of the agricultural sector and macroeconomic growth indicators. Through a comparative and analytical approach, the study aims to identify similarities and differences in the impact of the CAP between these countries over the 20-year period from 2002 to 2022, as well as to provide conclusions that can serve as a basis for future policies, especially for countries aspiring to join the European Union.

2 RESEARCH METHODOLOGY

The main objectives of this research define:

- The role of the Common Agricultural Policy in economic growth
- The role of the Common Agricultural Policy in economic development

The research is focused on four questions for conducting statistical analyses:

1. Does the Common Agricultural Policy have an impact on economic growth in Bulgaria, Croatia and Slovenia?
2. Does the Common Agricultural Policy have an impact on the growth of agricultural product production?
3. Does the Common Agricultural Policy have an impact on the growth of the number of farms?
4. In which economic sectors do the implementation of the Common Agricultural Policy have the greatest impact?

Through a literature review, we will be able to analyze research regarding the impact of the implementation of the Common Agricultural Policy on the growth and economic development of developing countries, particularly Bulgaria, Croatia and Slovenia.

The Common Agricultural Policy (CAP), which sets rules for agriculture, environmental and rural development activities, and EU agricultural markets, has always played an important role in the EU budget.

In the paper of [2] who explain the reform ideas of this policy, where the main idea was the reduction of surplus, the replacement of price support with direct payments and the preparation of agricultural trade negotiations in the EU, led by the World Trade Organization (WTO).

Based on [3] the Common Agricultural Policy (CAP) can affect not only directly the agricultural sector but also indirectly the participants of this sector and beyond starting from negative health effects such as the increase in antibiotic-resistant infections, poor health of farm workers and unhealthy diets leading to some non-communicable diseases. Based on this work and public health recommendations, countries should set minimum pesticide standards, reduce or abandon the use of pesticides and sustainably manage water quality in agriculture

Slovenia is a good example of agricultural policy adjustment before accession. Since there are some similarities between the Slovenian and Croatian agricultural sectors, this experience can be valuable for comparison. Based on the work of [4] the economy of these countries before accession was significantly behind the 15 member states at that time, starting from competitiveness, also the agricultural sector was recovering slowly after the transition period from the end of the 20th century which resulted in lost markets, sudden liberalization, decrease in domestic consumption due to real decline during the first years of transition, as well as frequent ideological decisions on agricultural policy, these are some of the reasons that caused the crisis in the agricultural sectors of these countries.

There is a lot of research for the country of Bulgaria to assess the real effects of the implementation of the CAP on farms and its importance in the development of the country, and in particular of farms and agriculture. According to [5] before the country's accession to the EU an attempt was made to assess the potential impact of the CAP on the development of farms where the potential effects of the application of this policy on their income, efficiency and sustainability were assessed.

According to [6] the effect of the CAP on the income of cooperatives, firms, medium and large farms, and farms specializing in agricultural crops is much greater compared to small farms, but the larger and more developed farm, the greater the effect on their development.

But on the other hand, there are also papers that show the negative sides of the implementation of this policy. Based on the [7] subsidies can help stabilize incomes in the short term, they may not encourage farmers to explore alternative sources of income or adopt more resilient agricultural practices. Excessive reliance on subsidies makes farmers vulnerable to future CAP reforms, as policy changes may reduce payments or change priorities.

Also, regardless of the Payment Scheme, farmers receive direct payments or subsidies, the perceived value of land increases, leading to higher land prices. Based on the work of [8] this trend of increasing the value of agricultural land has been particularly pronounced in countries that have recently joined the EU, because the flow of funds and the EU's focus on investing in CAP policy has contributed to a rapid appreciation of agricultural land values.

To explain the impact of the implementation of the Common Agriculture Policy on the growth and economic development of these 3 countries, the paper will use secondary data, where the database will be used from the World Bank, Eurostat, International Monetary Fund, etc. Publications from regulatory authorities and other sources of relevant institutions that provide us with appropriate data in our research field will also be used.

Panel data for the period 2002-22 will be used, in this model there are 15 variables that explain the impact of the implementation of the Common Agricultural Policy (CAP) on the economy of Croatia, Bulgaria and Slovenia, the variables as below:

Table 1. Description of research variables

Variables	Abbreviations	Unit of Measurement
Growth Domestic Product	GDP	%
Unemployment	UNE	%
Number of Farms	NF	Numeric
Agriculture Sector in GDP	AS_GDP	% of GDP
Total Crop Production	TCP	Tons
Direct Payments	DP	Thousands
Farm area	FA	Hectare
Agriculture sector revenues	ASR	%
Industry Sector	IS	%
Services Sector	SS	%
Agriculture Sector	AS	Thousands
Export of agricultural products	EAP	Thousands
Imports of agricultural products	IAP	Thousands
Arable land	AL	Hectare
Number of employees in the agriculture sector	NEAS	Numeric

3 RESEARCH RESULTS

To ensure that the results of the analysis are as clear and easily interpretable as possible, the data in this paper have been structured and presented in three separate tables, each representing one of the three countries analyzed. The tables contain detailed data that are explained in an analytical and comparative manner, reflecting the main changes between the period before the implementation of the Common Agricultural Policy (CAP) and the period after accession to the European Union.

The division of data according to these two time periods allows for a more accurate assessment of the impact of this policy on the economic growth and development of the respective countries. In particular, the effects of the CAP on the main macroeconomic indicators are analyzed, including economic growth, the development of the agricultural sector and its contribution to the national economy, etc. This comparative approach helps to identify trends, structural changes and concrete results that have resulted from the implementation of this policy in each country included in the study.

Table 2. Comparison of descriptive statistics before and after integration into the CAP for Slovenia

Variables	Before CAP (2002 - 2003)		After CAP (2004 - 2022)	
	Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.
GDP	3.233	0.386	2.252	3.863
UNE	6.2	0.424	6.547	1.924
NF	40121.5	193.04	41275.26	2368.054
AS_GDP	2.55	0.481	1.903	0.227
TCP	14123000	190918.8	26040053	7941801
DP	503559	30271.24	774262.3	153467.2
FA	505000	1414.214	482759.6	10863.63
ASR	635000	21213.2	901842.1	85686.94
IS	4.55	1.768	2.332	5.603
SS	3.45	0.212	2.526	3.042
AS	-5.6	27.577	1.332	10.266
EAP	144025	13031.98	613652.4	217193.4
IAP	377320	53994.67	890481.1	179339.4
AL	170500	3535.534	181744.6	3232.452
NEAS	100792.5	7336.233	80589.26	5137.794

Table 2 shows the changes before and after Slovenia's integration into the Common Agricultural Policy (CAP). After integration, the data show a decrease in GDP from 3.23% to 2.25%, which reflects a smaller impact of economic growth on the agricultural sector after the transition to the CAP, although this may be related to changes in the economic structure and adaptation challenges. Also, the number of farms (NF) has slightly increased, from 40,121 to 41,275, suggesting a stabilization of the farm sector after integration into the CAP. The share of GDP coming from agriculture (AS GDP) has decreased from 2.55% to 1.90%, which indicates a change in the involvement of the agricultural sector in the economy, reflecting the transition from a more agricultural to a more diversified economy.

Other sector indicators, such as direct payments (DP) and exports of agricultural products (EAP), have experienced a significant increase. Direct payments to farms have increased from 503,559 thousand euros to 774,262 thousand euros, while exports have increased from 144,025 thousand euros to 613,652 thousand euros, showing the benefits of CAP policies in supporting the agricultural sector and increasing competitiveness.

Table 3. Comparison of descriptive statistics before and after integration into the CAP for Bulgaria

Variables	Before CAP (2002 – 2006)		After CAP (2007 – 2022)	
	Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.
GDP	3.298	4.017	2.486	4.131
UNE	12.381	2.713	9.104	3.915
NF	245503.1	250638.4	186429.8	131261.5
AS_GDP	5.237	2.18	3.781	0.749
TCP	22642375	5102841	48142346	26718113
DP	617422.9	97614.47	1273936	607132.3
FA	1922414	1050535	2881965	1157538
ASR	2116875	452323.2	2328462	547640
IS	2.075	6.02	2.127	5.149
SS	4.094	3.635	2.942	4.208
AS	-1.019	8.074	1.412	12.132
EAP	323674.4	131227.9	521941.5	231208.7
IAP	225067.5	50086.67	360357.3	83010.69
AL	1619219	1143222	2401810	1260752
NEAS	251826.1	34575.42	173005.9	49674.12

Table 3 shows the statistical changes for Bulgaria before and after integration into the Common Agricultural Policy (CAP). After integration, the GDP has decreased from 3.30% to 2.49%, indicating that the economy has experienced lower growth after integration. At the same time, unemployment (UNE) has decreased significantly from 12.38% to 9.10%, which may indicate an improvement in the labor market after CAP support. The change in the number of farms (NF) has decreased significantly, from 245,503 to 186,430, reflecting a consolidation of the agricultural sector and possibly a smaller number of farms, but more specialized and productive.

Other data, such as direct payments (DP) and exports of agricultural products (EAP), have increased significantly after integration. Direct payments have increased from 617,423 thousand euros to 1,273,936 thousand euros, while exports have increased from 323,674 thousand euros to 521,942 thousand euros, showing that integration into the CAP has had a positive impact on financial support for the agricultural sector and has increased the export opportunities of agricultural products. However, the services sector (SS) has experienced a decrease from 4.09% to 2.94%, while the industry sector (IS) has remained relatively stable.

Table 4. Comparison of descriptive statistics before and after integration into the CAP for Croatia

Variables	Before CAP (2002 – 2012)		After CAP (2013 – 2022)	
	Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.
GDP	1.935	4.178	2.689	5.496
UNE	12.291	2.431	11.22	4.426
NF	83935.64	1058.743	71715.5	5438.223
AS_GDP	3.918	0.407	3.11	0.213
TCP	25209727	3958846	35316900	3184121
DP	657573.9	82146.3	910144.6	242119
FA	1237346	53297.98	1455500	103784.2
ASR	2028182	482220.2	1889000	311607
IS	0.291	6.402	2.86	4.568
SS	2.727	3.268	2.57	5.555
AS	-1.291	9.272	1.79	6.416
EAP	382153.6	114121.8	778819	134152.9
IAP	236926.4	38829.95	313262	72627.02
AL	873772.7	20777.44	846289.9	30383.09
NEAS	235434.1	22843.07	117885.8	26358.31

Table 4 shows the statistical changes for Croatia before and after integration into the Common Agricultural Policy (CAP). GDP has increased from 1.94% before CAP to 2.69% after CAP, however there is a high increase in variance (5.50) after integration, indicating greater variability in economic growth. Unemployment (UNE) has decreased slightly from 12.29% to 11.22%, indicating a possible improvement in the labor market after CAP support. While the number of farms (NF) has decreased significantly from 83,935 to 71,715.

The agricultural sector has improved after integration into the CAP, with an increase in crop production (TCP) from 25,209,727 tons to 35,316,900 tons and an increase in direct payments (DP) from 657,573.90 thousand euros to 910,144.60 thousand euros. This shows that financial support has had a positive impact on increasing production and stabilizing the agricultural sector. However, the services sector (SS) has had a decrease in variance after the CAP, going from 2.73% to 2.57%, while the industry sector (IS) has shown a large increase from 0.29% to 2.86%.

4 CONCLUSION

Through this paper, the impact of the implementation of the Common Agricultural Policy not only on the agricultural sector but also on economic growth and other macroeconomic indicators in Slovenia, Bulgaria and Croatia has been analyzed in detail by comparing the periods before and after the accession and integration of these countries into the European Union. Based on statistical data for a period of 20 years, which is the research period, and with a comparative approach, the research has clearly reflected the structural, economic and sectoral situation and changes that have resulted from the implementation of the CAP policy.

From the results of the research, we can understand that the impact of the CAP policy on economic growth was not uniform or the same in all the countries that were taken into analysis, where in the case of Slovenia, a decrease in the average GDP growth rate after integration is observed, as well as a decrease in the participation of the agricultural sector in GDP. However, this does not mean a weakness of the agricultural sector, but a sectoral economic transformation of the country, in sectors that are more productive or the development of other sectors in the economy was higher compared to the agricultural sector after integration. On the other hand, the increase in direct payments or subsidies, the increase in exports of agricultural products and the increase in investments in the agricultural sector prove that the CAP has contributed to the increase in productivity, competitiveness, and the modernization of the agricultural sector in this country.

As in Slovenia, in Bulgaria, the results show that there is a decrease in economic growth after EU integration and the implementation of the CAP policy, but with a noticeable improvement with the growth of the labor market, which results in a decrease in the unemployment rate. One of the most significant findings is the significant reduction in the number of farms, which indicates a process of consolidation of the agricultural sector, which has led to an increase in the number of larger, more specialized and potentially more productive farms. On the other hand, the significant increase in direct payments and exports of agricultural products shows that the CAP agricultural policy has played a key role in financially supporting the sector and in the integration of Bulgaria into European markets.

Unlike the other two countries included in the research, Croatia presents an increase in the average GDP rate after the CAP integration, although with a higher variance, which indicates greater economic instability. According to the results of the research, there is a decrease in unemployment and an increase in agricultural production, accompanied by a significant increase in direct payments and agricultural exports, which shows that the CAP has had a positive impact on the stabilization and development of the agricultural sector in this country. On the other hand, the reduction in the number of farms and the changes in the sectoral structure show that Croatia has also gone through a deep process of agricultural restructuring.

In conclusion, the impact of the Common Agricultural Policy on economic growth is different from one country to another, which depends on the economic structure, but this policy should not be seen as an instrument for increasing the GDP of a country, but as a mechanism that serves for long-term transformation by modernizing agriculture, increasing competitiveness, improving production standards and strengthening ties with the European market. For countries aspiring to integration into the European Union, the experiences of Slovenia, Croatia and Bulgaria offer valuable lessons on the importance of structural reforms, building institutional capacities and the strategic orientation of agricultural policies towards sustainable economic development.

REFERENCES

- [1] Azizxkhuja, M, «Empirical analysis of the contribution of agriculture to national economic development,» *International Journal of Advanced Research (IJAR)*, pp. 1432-1439, 2022.
- [2] Yamaç, N, and Acar, M, «An Analysis of the Obstacles and Difficulties in the Introduction of the EU Common Agricultural Policy Reform,» *METU Studies in Development*, pp. 423-438, 2009.
- [3] Erklavec, U, and Birt, C, and Pushkarev, «*Common Agricultural Policy (CAP) from a Public Health Perspective*,» 14th European Public Health Conference 2021, 2021.
- [4] Kumric, O, and Franic, R. «*Using Slovenian Experience in the Croatian Agricultural Policy Adjustment to EU Requirements*,» *Agriculturae Conspectus Scientificus*, Vol. 70, No. 1, pp.29-36), 2005.
- [5] Bachev, H, «Effects of EU CAP implementation on Bulgarian farms,» Institute of Agricultural Economics, Sofia, paper no. 35510, 2021.
- [6] Bachev, H, «Impacts of EU CAP Implementation on Bulgarian Farms,» Institute of Agricultural Economics, Sofia, 2011.
- [7] Toma, E, and Stoicea, P, and Dobre, C, and Iorga, A. M, «*The effect of eco-scheme support on Romanian farms—a Gini index decomposition by income source at farm level*,» Faculty of Management and Rural Development, University of Agronomic Sciences and Veterinary Medicine of Bucharest, Romania, Vol. 13, Issue.9. 2023.
- [8] Hełdak, M, and Stacherzak, A., Przybyła, K., Kupczak, S., Кучер, Л, «Agricultural land transaction prices against the background of property intended for investment purposes in Poland. *Real Estate Management and Valuation*,» *Real Estate Management and Valuation*, pp.30-44, 2022.

Optimisation des services généraux de la Banque Centrale du Congo: Apport du lean management (Étude menée en 2023)

[Optimization of the general services of the Central Bank of the Congo: Contribution of lean management (Study conducted in 2023)]

Nzapakembi Kwando Roger¹ and Nzembula Nyota Ruth²

¹Diplômé d'Etudes Supérieures en Gestion des Entreprises et Organisation du Travail, Université de Kinshasa, RD Congo

²Licenciée en Gestion des Entreprises et Organisation du Travail, Université de Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2026 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 Central Bank of Congo, a pillar of the country's economic and financial stability, faces specific challenges related to resource management, operational efficiency, and the fight against economic volatility. It faces growing challenges, particularly in terms of responsiveness and adaptation to financial crises, exchange rate fluctuations, and increased transparency and regulatory compliance requirements. It relies on internal departments to ensure the smooth running of its missions, including general services.

We noted that, in the daily operations of these departments, administrative procedures are often lengthy and complex, leading to wasted time and suboptimal use of available resources. This situation compromises the bank's responsiveness and efficiency in an environment where every minute counts, whether in responding to financial challenges or coordinating strategic missions. The adaptation of Lean Management (Value Stream Mapping, 5S, Kaizen, etc.), which involves eliminating waste and retaining only the steps that provide real added value, has proven particularly relevant.

KEYWORDS: Lean Management, 5S, Kaizen, Central Bank, optimization.

RESUME: La Banque Centrale du Congo, pilier de la stabilité économique et financière du pays, fait face à des enjeux spécifiques liés à la gestion des ressources, à l'efficacité opérationnelle et à la lutte contre la volatilité économique. Elle est confrontée à des défis croissants, notamment en matière de réactivité et d'adaptation face à des crises financières, à des fluctuations des taux de change ou encore à des exigences accrues en termes de transparence et de conformité réglementaire. Elle s'appuie sur des services internes pour assurer le bon déroulement de ses missions. Parmi eux, les Services Généraux.

Nous avons constaté que, dans le quotidien de ces services, les procédures administratives sont souvent longues et complexes, entraînant des pertes de temps, des gaspillages et, une utilisation sous-optimale des moyens disponibles. Cette situation compromet la réactivité et l'efficacité de la banque dans un environnement où chaque minute compte, que ce soit pour répondre aux enjeux financiers ou pour coordonner des missions stratégiques.

L'adaptation du Lean Management (Value Stream Mapping, 5S, Kaizen, etc) qui consiste à éliminer les gaspillages et ne conserver que les étapes qui apportent une réelle valeur ajoutée. Une gestion au plus juste s'est avérée particulièrement pertinente.

MOTS-CLEFS: Lean Management, 5S, Kaizen, Banque Centrale, optimisation.

1 INTRODUCTION

Dans les pays en développement, les banques centrales doivent faire face à des enjeux spécifiques liés à la gestion des ressources, à l'efficacité opérationnelle et à la lutte contre la volatilité économique. Elles sont par ailleurs confrontées à des défis croissants, notamment en matière de réactivité et d'adaptation face à des crises financières, à des fluctuations des taux de change ou encore à des exigences accrues en termes de transparence et de conformité réglementaire.

Le Lean Management, développé par Womack et Jones (1996); Liker (2004) consiste à éliminer les gaspillages et ne conserver que les étapes qui apportent une réelle valeur ajoutée pour le client, au mieux, une gestion au plus juste qui a d'abord transformé les pratiques de gestion dans l'industrie (japonaise) de production avant de s'étendre à d'autres secteurs, notamment les services et les administrations publiques.

Sa philosophie repose sur l'élimination systématique des gaspillages (Muda), l'amélioration continue des processus (Kaizen).

L'expansion du Lean dans les secteurs non industriels a suscité un vif intérêt au cours des dernières décennies, car l'adaptation de ses principes aux organisations de service s'est avérée particulièrement pertinente. Les services, qu'ils soient publics ou privés, peuvent bénéficier d'une révision systématique de leurs processus afin d'accroître l'efficacité et la satisfaction des utilisateurs finaux.

Plusieurs études mettent en lumière son potentiel dans plusieurs environnements.

Radnor et Osborne (2013) ont souligné que, bien que les administrations publiques ne soient pas soumises aux mêmes pressions concurrentielles que les entreprises privées, elles doivent répondre aux exigences croissantes en matière d'efficacité, de transparence et de qualité de service. C'est pourquoi le Lean y trouve une application logique, malgré des obstacles structurels comme la résistance au changement, la rigidité bureaucratique, etc.

Dans le secteur de la santé, l'application du Lean a permis des résultats impressionnants. Dans ce sens, Ben-Tovim, Bassham, Bolch, Martin, Dougherty et Szwarcbord (2007) ont montré comment l'optimisation des flux de travail dans les hôpitaux a pu améliorer la prise en charge des patients, réduire les temps d'attente et optimiser les ressources disponibles.

Les travaux de Balzer (2010) dans des services administratifs universitaires ont démontré que la mise en place des « 5S », une méthode centrée sur l'organisation, le nettoyage et la standardisation des espaces de travail a permis de réduire les erreurs, de faciliter l'accès aux documents importants et d'améliorer la productivité des équipes.

Les études de Carter et Bromiley (2012), ont confirmé que, des outils tels que le Juste-à-temps et le Kaizen, appliqués dans la gestion des stocks et la logistique permettent non seulement d'améliorer la réactivité des services mais aussi de réduire le gaspillage de ressources (humaines, matérielles et temporelles).

Barros et Ferreira (2019) se sont intéressés à l'application du Lean au sein de la Banque Centrale du Portugal. Leur étude a montré que la simplification des processus administratifs, notamment la gestion des dossiers internes a permis une meilleure répartition des ressources humaines et une réduction des délais de traitement.

Dans une analyse du Lean appliqué aux banques commerciales, Dos Santos et Cabrita (2016) ont noté que, les banques ont pu simplifier leurs processus internes, tels que le traitement des prêts et la gestion des réclamations. Ce qui a conduit à des gains en productivité et en satisfaction des clients. Cependant, ces environnements hautement réglementés et complexes posent des défis spécifiques à l'adaptation des outils lean.

Certes, les auteurs pour la plupart se concentrent sur des secteurs ou des services plus directement orientés vers la satisfaction des clients, comme dans les entreprises industrielles.

Ainsi, notre recherche pour se démarquer d'eux, s'intéresse à analyser l'applicabilité du Lean dans un service administratif aussi stratégique que la Direction des Services Généraux de la Banque Centrale du Congo Kinshasa.

La Banque Centrale du Congo, pilier de la stabilité économique et financière du pays, s'appuie sur des services internes pour assurer le bon déroulement de ses missions. Parmi eux, les Services Généraux occupent une place centrale. Prenant en charge des fonctions essentielles telles que le traitement des courriers, l'organisation logistique, la coordination des ordres de mission, la gestion du temps et locaux pour différentes réunions et événements institutionnels.

L'efficacité de ce service impacte directement la productivité globale de la banque. Par exemple, une gestion inefficace des courriers peut retarder la prise de décision, une mauvaise organisation des réunions peut entraîner des retards coûteux, une sous-utilisation des ressources et une perte de temps.

Nous avons constaté que, dans le quotidien de ces services, des dysfonctionnements récurrents apparaissent. Les procédures administratives sont souvent longues et complexes, entraînant des pertes de temps (temps perdus entre deux étapes, employés inactifs,...), des gaspillages et une utilisation sous-optimale des moyens disponibles (déplacements inutiles des employés). Cette situation compromet la réactivité et l'efficacité de la banque dans un environnement où chaque minute compte, que ce soit pour répondre aux enjeux financiers ou pour coordonner des missions stratégiques.

Dans ce contexte, le recours aux méthodes d'optimisation des processus proposées par le Lean Management connu pour sa capacité à réduire le gaspillage, à simplifier le processus, à encourager l'amélioration continue s'impose comme alternative salvatrice.

Eu égard à tout ce qui précède, notre préoccupation tourne autour de la question principale suivante: Comment l'implémentation des principes du Lean Management, à travers les méthodes des 5S, du Kaizen et du Juste-à-temps, peut-elle permettre d'améliorer l'efficacité des Services Généraux de la Banque Centrale du Congo ?

De cette question principale découlent deux questions secondaires suivantes:

1. Quels sont les dysfonctionnements et goulots d'étranglement qui limitent l'efficacité des Services Généraux de la Banque Centrale du Congo ?
2. Quels outils du Lean Management peuvent être ajustés et déployés pour répondre aux besoins spécifiques des Services Généraux de la Banque Centrale du Congo ?

En guise de réponses provisoires aux questions posées ci-dessus, nous formulons l'hypothèse principale suivante: L'adoption des outils du Lean Management, notamment les méthodes des 5S, du Kaizen et du Juste-à-temps, au sein des Services Généraux de la Banque Centrale du Congo, permettrait d'opérer une transformation profonde des processus administratifs. En intégrant ces outils, il est probable que l'on observe aux Services Généraux non seulement une réduction substantielle des pertes de temps, les redondances et le gaspillage de ressources, mais également une amélioration significative de l'approvisionnement en fournitures, la gestion des missions, la gestion du parc automobile (logistique), etc.

De cette hypothèse principale découlent les secondaires suivantes:

1. Les dysfonctionnements et goulots d'étranglements majeurs qui limitent l'efficacité des Services Généraux de la Banque Centrale du Congo peuvent être:
 - Une implication partielle du personnel dans l'accomplissement de leurs tâches;
 - Le retard dans l'accomplissement des tâches;
 - Les dysfonctionnements sont principalement dus à une organisation inefficace des espaces de travail et des délais de traitement allongés dus à l'absence de pratiques d'amélioration continue, d'une mauvaise communication entre équipes, le manque des matériels ou d'outils de travail, etc.
2. Les outils du Lean Management qui peuvent être ajustés et déployés pour répondre aux besoins spécifiques des Services Généraux de la Banque Centrale du Congo sont:
 - Les 5S qui consistent à supprimer l'inutile, à mettre en ordre le reste, à nettoyer et à pérenniser la culture;
 - La philosophie du Kaizen qui repose sur l'implication de tous les employés pour identifier et éliminer les gaspillages et améliorer les performances;
 - Le Juste-à-temps qui consiste à ne pas remettre à plus tard ce que l'on peut faire maintenant.

L'objectif général assigné à cette recherche est celui d'analyser et de voir dans quelle mesure l'introduction des outils tels que les 5S, le Kaizen et le Juste-à-temps peuvent améliorer l'efficacité et l'efficience organisationnelle, optimiser les processus administratifs, réduire les gaspillages et fluidifier la gestion des ressources dans un contexte non de production mais d'administration.

Les objectifs spécifiques découlant du général sont:

- Identifier les goulots d'étranglement et les dysfonctionnements qui limitent l'efficacité des Services Généraux de la Banque Centrale du Congo;
- Proposer des outils de Lean Management qui peuvent être adaptés et répondre aux besoins spécifiques des Services Généraux de la Banque Centrale du Congo.

2 MÉTHODOLOGIE

Sur le plan méthodologique, nous avons recouru à l'enquête appuyée par le questionnaire qui nous a permis de récolter des informations auprès de 44 sujets choisis selon leurs disponibilités. Le traitement des données a été effectué par le logiciel SPSS version 25.0.

3 RÉSULTATS

3.1 PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Q1. Comment décrivez-vous la répartition des tâches au sein des Services Généraux ?

Tableau 1. Réactions des sujets

Indices statistiques Réponses	Fréquence	Pourcentage
Très bien organisée	19	43,2
Moyennement organisée	22	50
Mal organisée	3	6,8
Total	44	100

Q2. Combien de tâches gérez-vous en moyenne chaque jour ?

Tableau 2. Réactions des sujets

Indices statistiques Réponses	Fréquence	Pourcentage
1-5	24	54,6
6-10	14	31,8
Plus de 10	6	13,6
Total	44	100

Q3. En rapport avec les nouvelles méthodes de travail ou des nouveaux outils, comment se comportent les employés?

Tableau 3. Réactions des sujets

Indices statistiques Réponses	Fréquence	Pourcentage
Ils s'adaptent difficilement	12	27,3
Ils s'adaptent tant bien que mal	13	29,5
Ils s'adaptent bien	11	25,0
Ils s'adaptent rapidement	8	18,2
Total	44	100

Q4. Quels types de dysfonctionnement observez-vous fréquemment dans vos processus?

Tableau 4. Réactions des sujets

Indices statistiques Réponses	Fréquence	Pourcentage
Retards dans l'accomplissement des tâches	13	29,5
Mauvaise communication entre équipes	4	9,1
Long délai d'approbation et de traitement	12	27,3
Beaucoup d'étapes inutiles dans le processus	15	34,1
Total	44	100

Q5. Selon vous, quels sont les principaux obstacles à une gestion optimale des activités?

Tableau 5. Réactions des sujets

Indices statistiques Réponses	Fréquence	Pourcentage
Communication inefficace	4	9,1
Manque de matériels et outils de travail	7	15,9
Ressources limitées	26	59,1
Implication partielle du personnel	7	15,9
Total	44	100

Q6a. Le Lean Management vise à optimiser les processus tout en réduisant le gaspillage. En avez-vous déjà entendu parler?

Tableau 6. Réactions des sujets

Indices statistiques Réponses	Fréquence	Pourcentage
Oui	19	43,2
Non	25	56,8
Total	44	100

Q6b. Si oui, est-il utilisé dans votre service (Services Généraux) ?

Tableau 7. Réactions des sujets

Indices statistiques Réponses	Fréquence	Pourcentage
Oui	12	63,2
Non	7	36,8
Total	19	100

Q6c. Si non, pensez-vous qu'il peut y être adapté?

Tableau 8. Réactions des sujets

Indices statistiques / Réponses	Fréquence	Pourcentage
Oui	17	68,0
Non	8	32,0
Total	25	100

Q7a. La méthode de 5S est une procédée centrée sur l'organisation, c'est-à-dire, supprimer tout ce qui n'a plus sa place. Le rangement, le nettoyage, maintenir l'ordre puis le suivi. En avez-vous déjà entendu parler?

Tableau 9. Réactions des sujets

Indices statistiques / Réponses	Fréquence	Pourcentage
Oui	23	52,3
Non	21	47,7
Total	44	100

Q7b. Si oui, est-elle utilisée dans votre service (Services Généraux) ?

Tableau 10. Réactions des sujets

Indices statistiques / Réponses	Fréquence	Pourcentage
Oui	14	60,9
Non	9	39,1
Total	23	100

Q7c. Si non, à quel degré pensez-vous que les agents peuvent accepter son adaptation dans votre service?

Tableau 11. Réactions des sujets

Indices statistiques / Réponses	Fréquence	Pourcentage
Très favorable	10	47,6
Favorable	8	38,1
Défavorable	2	9,5
Très défavorable	1	4,8
Total	21	100

Q8a. La méthode Kaizen, est un processus qui prône une amélioration continue et progressive. En avez-vous déjà entendu parler?

Tableau 12. Réactions des sujets

Indices statistiques / Réponses	Fréquence	Pourcentage
Oui	19	43,2
Non	25	56,8
Total	44	100

Q8b. Si oui, est-elle utilisée dans votre service (Services Généraux) ?

Tableau 13. Réactions des sujets

Indices statistiques	Fréquence	Pourcentage
Réponses		
Oui	11	57,8
Non	8	42,2
Total	19	100

Q8c. Si non, à quel degré pensez-vous que les employés peuvent accepter son adaptation?

Tableau 14. Réactions des sujets

Indices statistiques	Fréquence	Pourcentage
Réponses		
Très favorable	10	40,0
Favorable	7	28,0
Défavorable	4	16,0
Très défavorable	4	16,0
Total	25	100

Q9. Pensez-vous que l'application stricte du Juste-à-temps est réalisable dans votre environnement actuel?

Tableau 15. Réactions des sujets

Indices statistiques	Fréquence	Pourcentage
Réponses		
Oui	27	61,4
Non	17	38,6
Total	44	100

Q10. Pensez-vous qu'un programme d'amélioration continue soit applicable dans votre environnement actuel?

Tableau 16. Réactions des sujets

Indices statistiques	Fréquence	Pourcentage
Réponses		
Oui	23	52,3
Non	21	47,7
Total	44	100

3.2 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

L'analyse des résultats révèle une organisation relativement bien structurée, mais perfectible aux Services Généraux. Il y existe une répartition inégale de travail avec une minorité d'employés percevant leur charge de travail comme exagérée (excessive); et des insuffisances notables dans la communication interservices.

Les résultats mettent en lumière des difficultés d'adaptation aux nouvelles méthodes et outils de travail, malgré que certains sujets montrent une capacité d'adaptation exceptionnelle.

Les dysfonctionnements et obstacles identifiés sont constitués des problèmes récurrents tels que les retards dans l'accomplissement des tâches, le délai de traitement ou d'approbation long, beaucoup d'étapes inutiles dans le processus, le manque de matériels et d'outils de travail, le gaspillage de ressources qui sont d'ailleurs très limitées, implication partielle des employés, etc.

Les résultats indiquent qu'une partie des sujets (autour de 45%) a une connaissance des outils du Lean Management tels les 5S, le Kaizen et le Juste-à-temps, ce qui est encourageant. Toutefois, plus de la moitié des sujets n'en ont jamais entendu parler. Ce qui nécessite de renforcer la sensibilisation et la formation pour une meilleure applicabilité.

Suite à ces différents résultats nous confirmons nos différentes hypothèses.

4 CONCLUSION

Au regard des résultats, nous estimons que malgré qu'une partie des sujets aie une connaissance des outils du Lean, nous constatons la non application formelle. Chaque employé essaie de nettoyer, maintenir l'ordre dans son espace de travail.

Nous proposons, une mise en œuvre progressive du Lean Management dans les Services Généraux de la Banque Centrale du Congo

A. Dans la gestion des demandes internes

- Optimiser le processus de traitement des demandes internes;
- Mettre en place des standards de travail pour réduire les délais et erreurs;
- Utilisation du Value Stream Mapping pour identifier les étapes sans valeur ajoutée.

B. Approvisionnement et gestion des stocks

- Réduction des surstocks ou ruptures grâce au système du Juste-à-temps;
- Standardisation des commandes récurrentes.

C. Organisation des espaces de travail et des déplacements

- Application des 5S pour améliorer l'ordre, la propreté et l'ergonomie;
- Réduction des déplacements inutiles des collaborateurs ou des prestataires à travers l'interconnexion des machines.

D. Gestion des salles de réunions et des ressources partagées

- Mise en place de processus fluides pour la réservation et l'utilisation des salles;
- Analyse des taux d'occupation pour optimiser les ressources.

E. Traitement des dossiers administratifs

- Automatisation des tâches répétitives;
- Optimiser la gestion du courrier en créant des protocoles clairs pour le tri et la distribution et, définir des délais cibles pour chaque type de courrier (urgent, confidentiel et normal)
- Réduction des délais de traitement par la suppression des étapes inutiles.

F. Accueil et services aux collaborateurs

- Standardisation du processus d'accueil des nouveaux arrivants;
- Amélioration continue basée sur les retours des utilisateurs internes;
- Réduire le temps d'attente.

Il est à noter que, ces actions ne visent pas seulement à améliorer l'efficacité des opérations et à simplifier les processus, mais aussi à renforcer l'engagement des employés en les impliquant activement dans une dynamique de changement et d'amélioration continue aux Services Généraux de la Banque Centrale du Congo.

REFERENCES

- [1] Balzer, W.K. (2010). *Lean higher education: increasing the value and performance of university processes*. San Francisco: Jossey-Bass.
- [2] Barros, R.S. & Ferreira, A.M. (2019). « Lean management in central banks: the case of the Bank of Portugal. *International Journal of Industrial engineering and Management*, 10 (4), 217-224.
- [3] Ben-Tovim, D., Bassham, J., Bolch, D., Martin, M., Dougherty, M. & Szwarcboard, M. (2007). « Lean thinking across a hospital: redesigning care at the Flinders Medical Center ». *Australian Health Review*, 31 (1), 10-15.
- [4] Carter, R. & Bromiley, P. (2012). « Opérations management and the ressource-based view: Another view ». *Journal of Operations Management*, 30 (1-2), 18-20.
- [5] Dos Santos, J.X. & Cabrita, M.R. (2016). « Lean banking: Applying lean principles to improve efficiency in financial service ». International conférence on Systematic Innovation.
- [6] Liker, J.K. (2004). *The Toyota Way*. New york: McGraw-Hill.
- [7] Radnor, Z. & Osborne, S.P. (2013). « Lean: A failed theory of public services ? ». *Public Management Review*, 15 (2), 265-287.
- [8] Womack, J.P. & Jones, D.T. (1996). *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*. New York: Simon & Schuster.

Contribution au calcul des structures des bâtiments de type R+9 sans éléments de contreventement dans les zones sismiques de Goma et de Bukavu en République Démocratique du Congo (RDC)

[Contribution to the structural design of G+9 storey building without shear walls or bracing systems in seismic zones of Goma and Bukavu in the Democratic Republic of Congo (DRC)]

MOUNDOM Amadou¹, MAPENDO KABYABU Feja², MUHINDO KASAY Thierry³, GUETSA KAMANOU Flavien⁴, NGAPGUE François⁵, and TAMO TATIETSE Thomas⁶

¹Maître de conférences (Associate Professor or Reader) en Génie Civil, FASA, Université de Dschang, Cameroon

²Etudiant en cycle de recherche de Master Complémentaire en Structures de Génie Civil, Institut National du Bâtiment et des Travaux Publics (INBTP) de Kinshasa, RD Congo

³Ingenieur en Bâtiment et Travaux Publics, Institut National du Bâtiment et des Travaux Publics (INBTP) de Kinshasa, RD Congo

⁴Docteur en Génie Civil et Chercheur au Laboratoire de Génie Civil et Mécanique, ENSPY, Université de Yaoundé 1, Cameroon

⁵Professeur Titulaire en Génie Civil, IUT-FV de Bandjoun, Université de Dschang, Cameroon

⁶Professeur Titulaire (HDR) en Génie Civil, ENSPY, Université de Yaoundé 1, Cameroon

Copyright © 2026 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 work focuses on the seismic design of reinforced concrete structures in highly seismic areas such as Goma and Bukavu. Entitled 'Contribution to the Structural Design of Buildings type G+9 in the Seismic Zones of Goma and Bukavu', the study aims to analyze the influence of soil properties on the seismic behavior of a (G+9) or 10 storey building in accordance with the provisions of Eurocode 8. The analyses and designs were carried out according to the norm RPA99 modified 2003, MATLAB (for simplified manual calculations), Robot structural Analysis Professional (for automated calculations), Eurocode 8, Eurocode 2, Reinforced concrete to limit States 91 (mod.99). The building is a ten-storey reinforced concrete structure without shear walls or bracing systems, in order to clearly observe the effect of soil type on dynamic behavior. Two types of analyses were carried out: a manual static analysis for the preliminary design of structural elements (beams, columns, footings), and a modal response spectrum analysis according to Eurocode 8 for seismic evaluation. The results reveal that soft soil from Bukavu (Class C) produces higher internal forces, with an average increase in base shear forces of approximately 41%, and a 42% increase in lateral displacements compared to hard soil from Goma (Class A). This is due to the amplification of seismic waves in soft soils, which significantly affects tall buildings. Finally, the generated reinforcement plans were adapted to the specific loads for each soil type, highlighting the importance of adjusting the design to local ground conditions. This study underlines the critical impact of soil type on seismic analysis and structural design. It emphasizes the importance of prior geotechnical investigations and strict adherence to Eurocode 8 provisions to ensure structural safety in seismic regions.

KEYWORDS: Eurocode 8, reinforced concrete structures, seismicity, soft soil, hard soil, modeling.

RESUME: Ce travail s'inscrit dans le cadre de la maîtrise du dimensionnement parasismique des structures en béton armé, dans des régions à forte activité sismique telles que Goma et Bukavu. Intitulé « Contribution au calcul des bâtiments type R+9 dans les zones sismiques de Goma et de Bukavu en République Démocratique du Congo », ce travail vise à analyser l'influence des caractéristiques du sol sur le comportement sismique d'un bâtiment de type, conformément aux exigences de l'Eurocode 8. Les analyses et

dimensionnements ont été réalisés à l'aide de la norme RPA99 modifié 2003, MATLAB (pour les calculs simplifiés manuels), Robot structural Analysis Professional (pour les calculs automatiques), l'Eurocode 8, l'Eurocode 2, le Béton Armé aux Etats Limites 91 (mod.99). Le bâtiment analysé est une structure de dix niveaux en béton armé, sans éléments de contreventement, pour observer clairement l'effet de la nature du sol sur son comportement dynamique. Deux types d'analyses ont été menés: une analyse statique manuelle pour le prédimensionnement des éléments (poutres, poteaux, semelles), et une analyse modale spectrale selon l'Eurocode 8 pour évaluer les effets sismiques. Les résultats montrent que le sol meuble de Bukavu (classe C) génère des sollicitations plus élevées, avec une augmentation moyenne des efforts tranchants à la base de l'ordre de 41 %, et une augmentation des déplacements latéraux d'environ 42 % par rapport à un sol dur de Goma (classe A). Cela s'explique par le phénomène d'amplification des ondes sismiques dans les sols souples, qui affecte plus fortement les structures de grande hauteur. Enfin, les plans de ferrailage générés ont été adaptés aux sollicitations spécifiques de chaque type de sol, mettant en évidence l'importance d'un dimensionnement différencié selon les conditions locales. Ce travail met en lumière l'impact crucial de la nature du sol dans l'analyse et le dimensionnement sismique des bâtiments. Il rappelle l'importance de l'étude géotechnique préalable et de l'application rigoureuse des normes telles que l'Eurocode 8, pour garantir la sécurité des constructions en zone sismique.

MOTS-CLEFS: Eurocode 8, Structures en béton armé, sismicité, sol meuble, sol dur, modélisation.

1 INTRODUCTION GENERALE

1.1 CONTEXTE GÉNÉRAL

Les structures en béton armé sont fondamentales dans la construction mondiale de bâtiments et d'ouvrages d'art, mais elles doivent supporter plus que les seules charges statiques, incluant les actions dynamiques comme les séismes. Le séisme est un aléa naturel majeur, imprévisible, dont les effets entraînent des déplacements et des déformations susceptibles d'engendrer des dégâts matériels considérables et des pertes humaines. Pour limiter ces conséquences, des normes parasismiques ont été mises en place, assurant un niveau de sécurité minimal; par conséquent, le dimensionnement des structures doit à la fois assurer une résistance suffisante aux actions sismiques et une ductilité capable d'absorber l'énergie due aux déformations. Toutefois, l'intégration de l'aléa sismique dans la conception reste un défi majeur pour les ingénieurs civils, particulièrement dans notre région, où les contraintes géo-structurelles et les ressources disponibles diffèrent des standards internationaux.

1.2 PROBLÉMATIQUE

Les tremblements de terre, bien que brefs, figurent parmi les catastrophes naturelles les plus destructrices, en raison de leur imprévisibilité et de leur puissance.

À l'échelle internationale, plusieurs événements récents ont montré l'ampleur du risque: en 2018, environ 26 séismes ont causé la mort de plus de 3 000 personnes; le 6 février 2023, un double séisme en Turquie et en Syrie a provoqué plus de 50 000 décès; le 28 mars 2025, un séisme de magnitude 7,7 au Myanmar a causé la mort de plus de 3 700 personnes et d'importants dégâts aux infrastructures.

À l'échelle régionale, la République Démocratique du Congo, particulièrement sa partie orientale, est également exposée. Les villes de Goma et de Bukavu, situées dans la vallée du Rift Albertin, ont connu plusieurs événements notables: le séisme du 24 novembre 2002 (magnitude 6), celui du 3 février 2008 (magnitude 5,9, avec 9 morts et plus de 1 500 maisons détruites), et plus récemment, le 27 mars 2023 (magnitude 4,5 ressenti à Goma et ses environs).

De plus, le 28 juillet 2025, deux secousses de magnitude 5,1 ont été enregistrées le même jour, l'une près de Bukavu (152 km) et l'autre près de Goma (237 km), confirmant la persistance du risque sismique dans la région.

Dans un contexte de forte croissance immobilière, l'intégration du risque sismique dans la conception et le calcul des bâtiments devient donc une priorité pour protéger les populations.

1.3 OBJECTIF PRINCIPAL

Concevoir et dimensionner la structure d'un bâtiment type en tenant compte des normes parasismiques, en utilisant à la fois la méthode simplifiée (modèle des brochettes) et le calcul automatique (Robot Structural Analysis), afin d'évaluer la sécurité et la performance des constructions dans les villes de Goma et Bukavu.

OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

- Réaliser une analyse statique et dynamique d'un bâtiment type à 10 niveaux à l'aide du logiciel Robot Structural Analysis et de la méthode simplifiée (modèle des brochettes);
- Comparer les effets sismiques propres aux villes de Goma et Bukavu à partir du comportement structurel d'une ossature type;
- Proposer des recommandations pour l'intégration efficace des normes et techniques parasismiques dans les pratiques de construction locales.

2 REVUE DE LA LITTÉRATURE

2.1 DÉFINITION DES CONCEPTS CLÉS RELATIFS À LA NAISSANCE DU SÉISME

Un séisme est un ébranlement de l'écorce terrestre provoqué par le jeu d'une cassure, une éruption volcanique ou certaines activités humaines. Il correspond à la libération soudaine de l'énergie mécanique accumulée par les roches au cours d'une déformation progressive (A. PLUMIER, 2014)

La plupart des tremblements de terre se produisent au niveau des failles qui délimitent les plaques tectoniques de l'écorce terrestre. Des tensions apparaissent lorsque ces plaques se déplacent mutuellement de manière lente. La libération soudaine de l'énergie de déformation ainsi accumulée dans la croûte terrestre, ou dans la couche sous-jacente appelée manteau, provoque un ébranlement local dont une partie de l'énergie se transforme en ondes sismiques à la surface de la terre.

La création d'une faille ou, plus fréquemment, le glissement le long d'une faille existante, constituent le mécanisme générateur d'un séisme.

Les dégâts observés en surface sont fonction de l'amplitude, la fréquence et la durée des vibrations. On distingue:

Les séismes tectoniques: Ce sont les plus fréquents et les plus dramatiques. Ils se situent souvent à l'intersection de deux plaques. Les causes sont la subduction (il y a glissement d'une plaque par-dessus l'autre), la collision, ainsi que l'apparition de rift (la croûte terrestre s'amincit, ce qui mène à une rupture lithosphérique).

Les séismes d'origine volcanique: Ceux-ci résultent de l'accumulation de magma dans les volcans et il y a des ruptures dues aux roches comprimées. Ils sont donc provoqués par des fractures et par les mouvements des roches poussées par le magma qui se fraie un chemin vers la surface.

Les séismes d'origine polaire: Ils sont dus aux cassures des glaciers qui se produisent lorsque l'avancée des coulées de glace est irrégulière. Le nombre de séismes de ce type est en hausse depuis plusieurs années, à cause du réchauffement climatique.

Les séismes d'origine artificielle: Ces séismes induits sont dus à certaines activités humaines telles que les barrages, les pompes profonds, l'extraction minière, les explosions souterraines, ou même les bombardements. Ils sont relativement fréquents et de faible amplitude.

2.2 PRINCIPAUX FACTEURS DE VULNÉRABILITÉ DES STRUCTURES EN BÉTON ARMÉ

2.2.1 INFLUENCE DES MURS DE REMPLISSAGES DANS LES STRUCTURES EN PORTIQUES

Au début d'un tremblement de terre, la maçonnerie reprend presque toutes les forces sismiques, mais après elle s'écroule souvent par compression oblique ou glissement (faible frottement suite à un manque de compression) (**Figure 1**). Il peut aussi arriver que la maçonnerie cisaille les poteaux (M. Zacek, 1996).

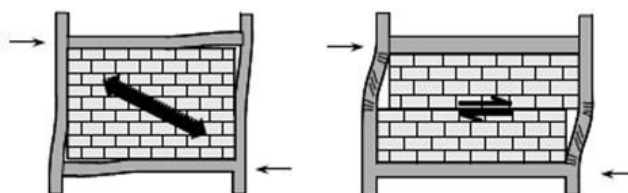


Fig. 1. Cisaillement des poteaux sous l'effet de la maçonnerie

Une combinaison extrêmement défavorable de deux méthodes de construction très différentes: les cadres sont souples et plus ou moins ductiles, la maçonnerie est rigide et en même temps fragile

2.2.2 LIQUÉFACTION DES SOLS

La liquéfaction des terrains résultant d'un tremblement de terre entraîne des désordres au niveau de la composition du sol où reposent les fondations. Ceci provoque l'affaissement de la couche non liquéfiée sur la couche liquéfiée, et a pour conséquence le mouvement ou la giration de la structure (P. BALENDIER, 2010).

Le rez-de-chaussée de cette structure (**Figure 2**) est devenu quasiment souterrain, la liquéfaction du sol a entraîné son enfoncement.

Pour remédier à ce problème, des essais sont réalisés en laboratoire par des géotechniciens afin d'examiner si le sol de fondation de la future structure est liquéfiable. En général il s'agit de sable fin à moyen à grains arrondis et saturé en eau, se trouvant entre deux couches d'argile imperméable.



Fig. 2. Renversement de bâtiments suite à la liquéfaction du sol de fondation

Lorsque c'est le cas, il est préférable de ne pas fonder la structure sur ce type de sol et essayer d'atteindre d'autres profondeurs où le terrain sera plus avantageux (M. Zacek, 1996).

2.2.3 NIVEAUX " SOUPLES "

De nombreux bâtiments comportent un ou plusieurs niveaux dont la rigidité horizontale est sensiblement inférieure à celle des autres étages. Lors de séismes destructeurs, ces niveaux sont fréquemment écrasés suite à la rupture de poteaux à leurs extrémités (**Figure 3**). Le cas se produit quand ces poteaux assurent la résistance aux charges horizontales du niveau " souple ".

La rupture a habituellement lieu à leurs jonctions avec les planchers supérieur et inférieur, car le rayon de courbure y est petit et le besoin de ductilité (de plasticité) très important, dépassant la capacité de déformation des poteaux usuels.

D'une manière générale, les dommages sismiques se produisent de préférence au droit d'un changement de rigidité, à la jonction d'un élément " souple " et d'un élément rigide (A MILLARD.P., 2004).



Fig. 3. Effondrement sous l'effet d'un rez-de-chaussée " souple "

Un confinement dense du béton aux extrémités des poteaux, ainsi que la présence d'un gousset ou d'un chapiteau, améliore leur comportement sans toutefois leur assurer une capacité de résister à un séisme de forte magnitude. Les véritables solutions consistent à conférer au niveau concerné une rigidité horizontale comparable à celle des autres niveaux.

2.2.4 EFFET POTEaux COURTS

Dans le cas de colonnes courtes et massives, il se produit un énorme gradient de moment et ainsi un grand effort tranchant, qui entraîne, avant même d'atteindre M_{pl} , une rupture par cisaillement (une alternative pour éviter une telle rupture est de les dimensionner au cisaillement et de les construire selon les règles du dimensionnement en capacité) (M. Zacek, 1996). (Figure 4).

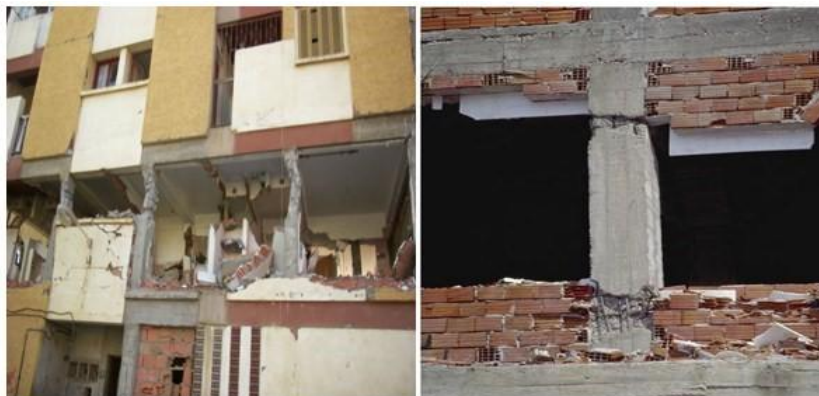


Fig. 4. Cisaillement des poteaux courts

2.2.5 IRRÉGULARITÉ DES STRUCTURES EN BÉTON ARMÉ AVEC DES REMPLISSAGES EN MAÇONNERIE

Les bâtiments avec des irrégularités en plan et en élévation ne se comportent pas d'une façon sécuritaire sous l'action sismique, car ce type de bâtiments présente une irrégularité de résistance et de la rigidité.

La partie dans laquelle se situe le décrochement présente une zone de concentration des contraintes et des déformations c'est-à-dire une zone fortement sollicitée de la structure sous l'action sismique, en raison de la réduction brusque de la résistance et de la raideur de cette dernière, ce qui va engendrer la ruine des panneaux de maçonnerie au niveau du décrochement et par la suite l'apparition d'un étage transparent (souple), donnant naissance à une ruine par mécanisme d'étage (Figure 5).



Fig. 5. Dommages dus à la présence des décrochements

2.2.6 INFLUENCE DU SÉISME SUR CERTAINS PARAMÈTRES CARACTÉRISTIQUES DU BÂTIMENT (MÉCANISME DE RUINE)

La secousse au sol provoqué par le séisme fait bouger la base du bâtiment, les fondations vers une direction mais le toit et le haut du bâtiment seraient au repos (Figure 6).

Cependant, comme les murs et les poteaux sont attachés, le toit est trainé avec la base du bâtiment. Cette différence entre le haut et le bas du bâtiment exerce une contrainte extrême appelée inertie.

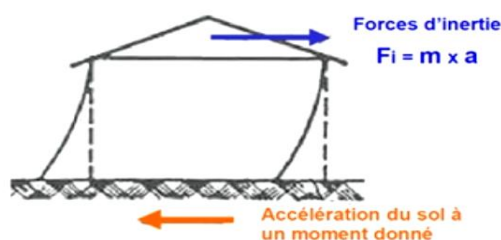


Fig. 6. Comportement d'un bâtiment sous l'effet de l'accélération au sol

Les forces d'inertie peuvent provoquer un cisaillement de la structure qui peut concentrer les contraintes sur les murs et les poteaux où les joints faibles de la structure entraînant une défaillance et un effondrement total.

PHÉNOMÈNE DE RÉSONANCE

Dans le cas le plus simple, le comportement d'un bâtiment sous sollicitation sismique est assimilable à celui d'un oscillateur harmonique, c'est une structure à un degré de liberté. Sa période c'est le temps que fait le bâtiment pour faire un aller-retour, on l'appelle aussi une période propre.

— **Période d'oscillation:** durée d'un cycle d'oscillation mesurée en secondes (inverse de la fréquence d'oscillation).

— **Période propre d'oscillation d'un bâtiment:** période selon laquelle le bâtiment oscille librement suite à un déplacement, c'est-à-dire, vis-à-vis du séisme, après l'arrêt des oscillations forcées (et jusqu'à l'amortissement complet du mouvement).

On démontre que:

- ⊕ La période propre d'oscillation dépend des masses mises en mouvement: elle croît avec les masses.
- ⊕ La période propre d'oscillation décroît avec la raideur des éléments porteurs. La raideur dépend de la nature des matériaux, de la forme des éléments et de la nature des liaisons entre les éléments.

— **La fréquence d'une grandeur périodique** est le nombre de fois qu'elle se reproduit identiquement à elle-même dans l'unité de temps; c'est l'inverse de la période. La fréquence propre est la fréquence de vibration naturelle d'une structure en l'absence de l'excitation extérieure (séisme)

Remarquons que le sol a aussi une fréquence spécifique

Si la fréquence du mouvement du sol correspond ou est proche à la fréquence naturelle d'un bâtiment, celui-ci subira les plus grandes oscillations possibles et subira une amplification de mouvement qui mèneront au plus grand dommage.

— **La résonance** est un phénomène selon lequel certains systèmes mécaniques sont sensibles à certaines fréquences. Un système résonant peut accumuler une énergie, si celle-ci est appliquée sous forme périodique, et proche d'une fréquence dite « fréquence de résonance » ou « fréquence propre » soumis à une telle excitation, le système va être le siège d'oscillations de plus en plus importantes, jusqu'à atteindre un régime d'équilibre qui dépend des éléments dissipatifs du système lui-même (bâtiment ou ponts).

2.2.7 FACTEURS INFLUENÇANT LA PÉRIODE NATURELLE D'UN BÂTIMENT

La période naturelle d'un bâtiment est influencée par deux facteurs principaux (Figure 7):

— **La masse du bâtiment** concentrée dans la dalle

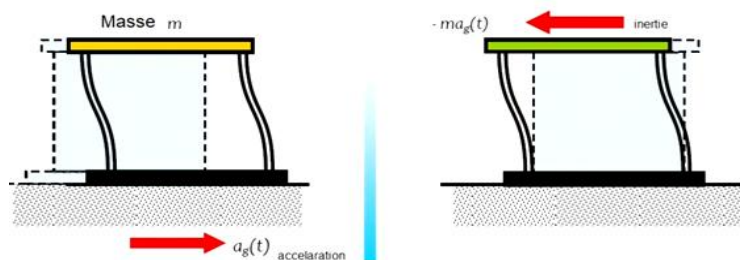


Fig. 7. Influence de la masse sur le déplacement

— **La raideur de la structure:** la raideur étant la caractéristique qui indique la résistance à la déformation élastique d'un corps (par exemple un ressort). Plus une pièce est raide, plus il faut lui appliquer un effort important pour obtenir une déflexion donnée. Son inverse est appelé souplesse ou flexibilité. Les paramètres qui interviennent sur la raideur de certains éléments de la structure d'un ouvrage (poteau, poutre, plancher,...) ou sur une structure complète (un bâtiment dans son ensemble constitué de plusieurs éléments associés) sont les suivants: la longueur, la nature des liaisons, le matériau, l'air et la forme des sections.

Parlant de la masse les expériences montrent que les bâtiments plus lourds ont des périodes plus longues.

Les bâtiments plus rigides ont une période naturelle plus courte, c'est-à-dire un bâtiment rigide rentrera en résonance lorsque la période d'oscillation du sol est courte. Tandis que le bâtiment plus ductile rentrera en résonance lorsque la période d'oscillation sismique est longue.

La période propre d'oscillation décroît avec la raideur des éléments porteurs. La raideur dépend de la longueur des éléments, de l'aire et de la forme de la section, du matériau utilisé et de nature des liaisons entre les éléments.

A mesure que la hauteur du bâtiment augmente, sa masse augmente mais sa rigidité globale diminue. Par conséquent, la période naturelle du bâtiment augmente avec l'augmentation de la hauteur. Un bâtiment de grande hauteur car ayant une période assez longue va rentrer en résonance quand les mouvements du sol sont lents. Et un bâtiment de petite hauteur car ayant une période assez courte va rentrer en résonance quand les mouvements du sol sont rapides.

2.2.8 INFLUENCE DE LA CONFIGURATION STRUCTURALE ET DE LA DUCTILITÉ DES STRUCTURES EN BÉTON ARMÉ SUR LEUR COMPORTEMENT SISMIQUE

2.2.8.1 INFLUENCE DE LA CONFIGURATION STRUCTURALE

2.2.8.1.1 LES STRUCTURES IRRÉGULIÈRES EN PLAN

La forme des structures est l'un des paramètres architecturaux les plus importants, car elle influence d'une manière très sensible la réponse globale de la structure aux actions sismiques. Pour un bon comportement vis-à-vis du séisme, les règlements parasismiques en vigueur préconisent de tendre vers des formes simples, compactes et régulières, tant en plan qu'en élévation. Mais, souvent pour des raisons architecturales ou esthétiques, certains édifices comportent un ou plusieurs décrochements en plan.

L'irrégularité en plan se traduit par une répartition irrégulière des masses, ou de la rigidité, provoquant une répartition irrégulière du chargement sismique horizontal qui peut engendrer de sérieuses concentrations de contraintes précisément au droit des changements structuraux où leur capacité à stocker et à dissiper de l'énergie se trouve très réduite. Plusieurs investigations ont identifié d'écarts significatifs entre les réponses sismiques des structures à profil régulier et celles des structures à profil irrégulier. La plupart de ces études ont mis en évidence une nette augmentation des déplacements relatifs inter-étages et des demandes de ductilité au niveau de la zone de discontinuité, ainsi qu'une forte contribution des modes supérieurs aux efforts de cisaillements. Les règlements parasismiques, tels que les règlements algériens et l'Eurocode 8, préconisent l'utilisation de l'analyse dynamique modale spectrale ou l'analyse dynamique temporelle comme méthodes de calcul de préférence pour évaluer la réponse sismique des structures irrégulières, tout en maintenant la méthode statique équivalente pour les structures de structures ayant des profils réguliers.

❖ Simplicité de la structure

Le comportement d'une structure simple est plus facile à comprendre et à calculer. La simplicité d'ensemble concourt à la simplicité des détails.

Le comportement sismique est notablement amélioré si une forme complexe est fragmentée en plusieurs formes plus compactes par l'introduction de joints parasismiques. La Figure 8 montre comment améliorer sensiblement le comportement sismique des formes complexes en les éclatant en formes plus simples. La séparation en formes compactes permet d'annuler toute excentricité entre les centres de cisaillement et les centres de masse, les sollicitations sismiques agissant alors au centre de masse de chaque fragment de bâtiment. Les joints parasismiques doivent être suffisamment larges pour que les blocs voisins n'entrent pas en collision au cours de leur mouvement.

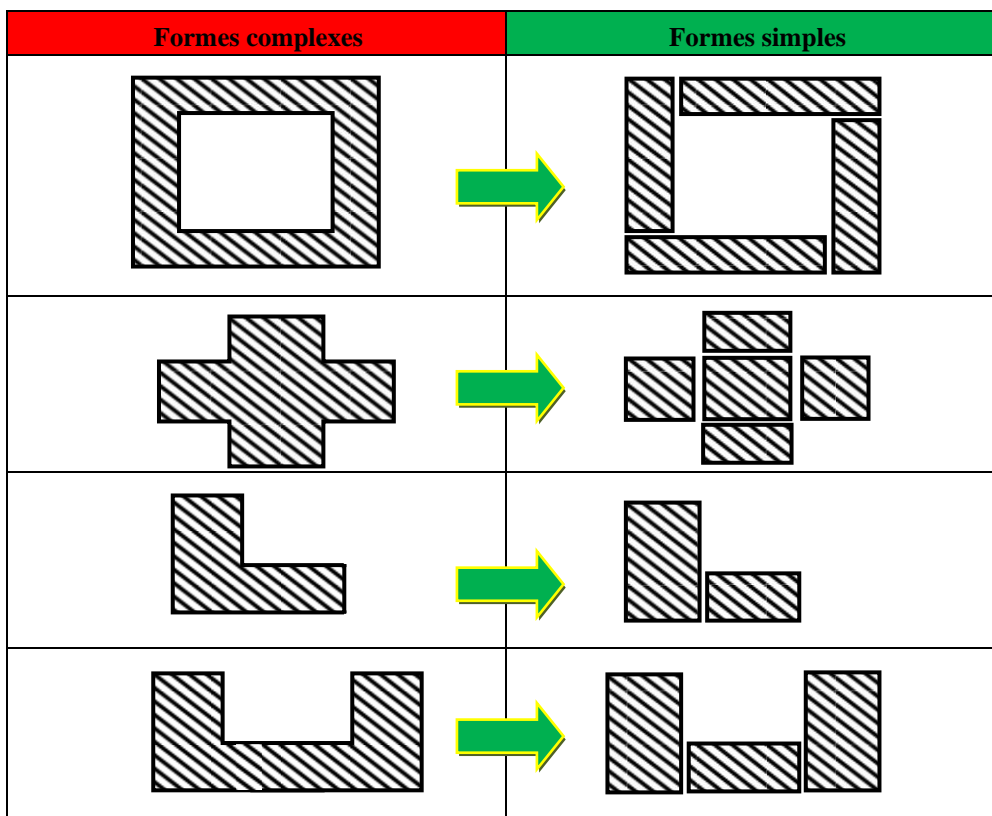


Fig. 8. Comportement sismique est amélioré si une forme complexe est fragmentée en formes plus compactes par l'introduction de joints parasismiques

❖ Continuité

Toute discontinuité dans le dessin d'une structure conduit à une concentration de contraintes et de déformations. Une structure discontinue est toujours mauvaise, car le mécanisme de ruine qu'elle fait intervenir est local. Or la dissipation d'énergie dans la structure devrait être maximale, ce qui est obtenu en faisant intervenir le maximum d'éléments, de manière à constituer un mécanisme de ruine global et non local.

2.2.8.1.2 L'IRRÉGULARITÉ DES STRUCTURES DANS LES RPA 99

Chaque bâtiment doit être classé selon sa configuration en plan et en élévation en bâtiment régulier ou non, selon les critères ci-dessous:

Critères de régularité de la structure: Pour offrir une meilleure résistance aux séismes, les ouvrages doivent de préférence avoir, d'une part des formes simples, d'autre part, une distribution aussi régulière que possible des masses et des rigidités tant en plan qu'en élévation. Le but recherché est d'assurer la meilleure répartition possible des sollicitations à travers la structure de façon à faire participer tous les éléments à l'absorption et à la dissipation de l'énergie développée par l'action sismique.

Critère de régularité en plan: Le mouvement sismique horizontal est un phénomène bidirectionnel. La structure doit être capable de résister à des actions horizontales suivant toutes les directions et les éléments structuraux doivent avoir des caractéristiques de résistance et de rigidité similaires dans les deux directions principales, ce qui se traduit par le choix de formes symétriques (Figure 9). La symétrie du plan selon deux axes tend à réduire notablement la torsion d'axe vertical des constructions. Notons qu'une conception judicieuse de

la structure peut quelquefois corriger les inconvenants d'une dissymétrie géométrique. La démarche consiste à faire coïncider le centre des masses avec le centre des rigidités en positionnant les éléments résistants rigides à des endroits adéquats.

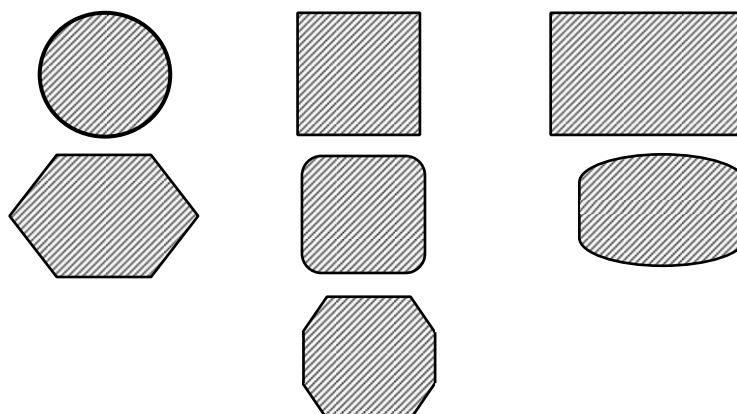


Fig. 9. Régularité en plan (formes favorables)

A chaque niveau et pour chaque direction de calcul, la distance entre le centre de gravité des masses et le centre des rigidités ne dépasse pas 15% de la dimension du bâtiment mesurée perpendiculairement à la direction de l'action sismique considérée. La forme du bâtiment doit être compacte avec un rapport longueur/largeur du plancher inférieur ou égal 4 (Figure 10).

La somme des dimensions des parties rentrantes ou saillantes du bâtiment dans une direction donnée ne doit pas excéder 25% de la dimension totale du bâtiment dans cette direction. (Figure 10)

Les planchers doivent présenter une rigidité suffisante vis à vis de celle des contreventements verticaux pour être considérés comme indéformables dans leur plan.

Dans ce cadre la surface totale des ouvertures de plancher doit rester inférieure à 15% de celle de ce dernier.

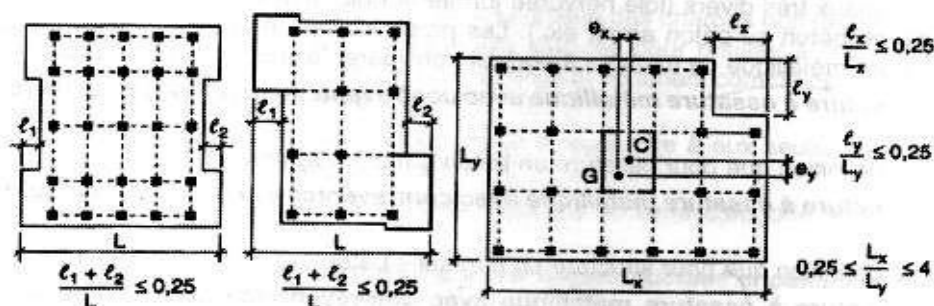


Fig. 10. Limites des décrochements en plan

Critère de régularité en élévation: En élévation, la régularité des formes, la répartition homogène des masses et des rigidités sont des critères importants qui conditionnent la stabilité et la résistance des structures sous séisme. Dans la vue en élévation, les principes de simplicité et de continuité se traduisent par un aspect régulier de la structure primaire, sans variation brutale de raideur (Figure 11). De telles variations entraînent des sollicitations locales élevées.

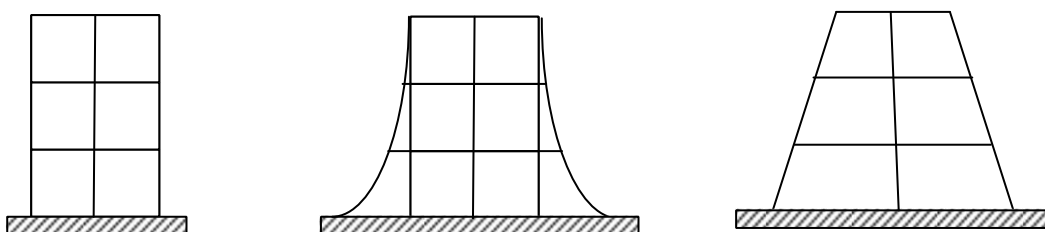


Fig. 11. Régularité en élévation (formes favorables)

Les formes irrégulières en élévation donnent lieu à des oscillations différentielles. Les parties de bâtiment de volume et/ou de hauteur distinctes vont osciller différemment et les éléments porteurs peuvent être soumis à des efforts de sens contraire, situation très défavorable pour la solidité de l'ouvrage.

Dans le cas de décrochements en élévation, la variation des dimensions en plan du bâtiment entre deux niveaux successifs ne dépasse pas 20% dans les deux directions de calcul et ne s'effectue que dans le sens d'une diminution avec la hauteur. La plus grande dimension latérale du bâtiment n'excède pas 1,5 fois sa plus petite dimension (Figure 12).

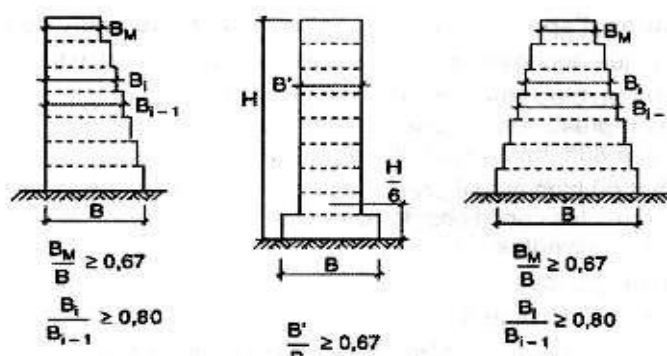


Fig. 12. Limites des décrochements en élévation

Comportement sismique des structures irrégulières

L'action sismique est une action accidentelle qui est définie dans les règles parasismiques Algériennes et l'EUROCODE 8.

Il faut noter ici, qu'en amont du dimensionnement proprement dit, une conception parasismique judicieuse assure un comportement sismique adéquat. Par exemple, il faut éviter les discontinuités de la rigidité et de la résistance qui devraient, idéalement, être réparties de manière homogène sur la hauteur de la structure.

Les structures en béton irrégulières en élévation, dont l'irrégularité est caractérisée par un décrochement en élévation, ne se comportent pas de façon sécuritaire sous l'action sismique, car ce type de structure présente une irrégularité de la résistance et de la rigidité suivant la hauteur de la structure. L'étage où se situe le décrochement en élévation de la structure constitue une zone de concentration des contraintes et des déformations, c'est-à-dire une zone fortement sollicitée de la structure sous l'action sismique, en raison de la réduction brusque de résistance et de raideur latérale de cette dernière.

Cette réduction brusque de la résistance et de la raideur latérale à cet étage va induire, sous l'action sismique, une concentration des efforts et des contraintes dans les poutres et poteaux de cet étage. Ces éléments atteignent leur résistance ultime puis leur ruine par excès de compression ou de cisaillement.

Un tel mécanisme de ruine n'est pas souhaitable, car il limite la capacité de déformation de la structure dans le domaine plastique, donc réduisant sa ductilité, et, par conséquent, limitant sa capacité de dissipation hystérétique de l'énergie induite par le séisme, c'est-à-dire réduisant sa résistance à l'action sismique (Sebastien GIEU, 2012).

Mécanisme de ruine des structures irrégulières en plan

Pour les structures, le mécanisme de ruine approprié est le mécanisme plastique global, ou les rotules plastiques se forment uniquement aux extrémités des poutres des différents niveaux de la structure et en pied des poteaux du rez-de-chaussée.

Mais, pour les structures irrégulières l'apparition des rotules plastiques est observée à l'endroit du décrochement vertical. Pour les structures irrégulières en plan la torsion engendre un déplacement supplémentaire au niveau des poteaux (surtout la rive flexible). En effet, dans les portiques réguliers, la ruine se produit par une combinaison simultanée des deux critères de ruine globale, qui sont: l'atteinte de la valeur limite du déplacement inter-étage, et la formation d'un mécanisme plastique dans les poteaux de l'RDC. La résistance ultime en compression des murs de maçonnerie est atteinte à tous les étages sauf au dernier. Par contre, la ruine du portique irrégulier, se produit par l'atteinte d'un seul critère de ruine, qui est l'instabilité structurale à cause de la formation d'un mécanisme plastique au niveau des zones critiques (rive flexible) (Figure 13).

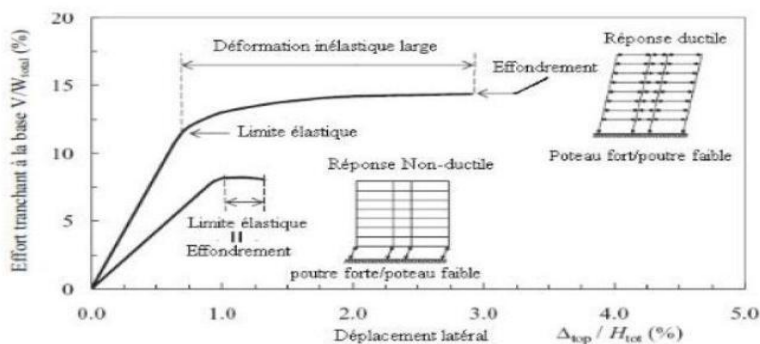


Fig. 13. Représentation de limite des décrochements en élévation (T.PAULAY and R.PARK, 1978)

2.2.8.2 INFLUENCE DE LA DUCTILITÉ

De façon générale, la ductilité est définie comme l’aptitude d’un matériau, d’un élément ou d’une structure toute entière à pouvoir se déformer de façon inélastique en conservant une raideur et une résistance qui n’altèrent pas la capacité portante. Dans le cas par exemple, d’une tour de grande hauteur en béton armé (Figure 14), la ductilité peut se traduire par la capacité d’un tel ouvrage à fléchir sous sollicitations sismiques sans que la fissuration en partie tendue et/ou l’écrasement en partie comprimée du béton en pied ne conduisent à une perte de résistance et /ou de l’équilibre statique.

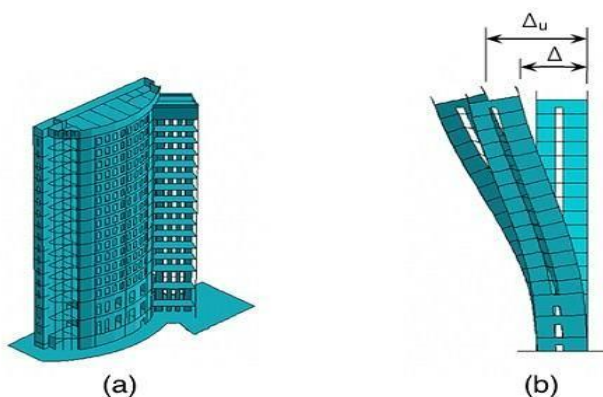


Fig. 14. Déformation d’une tour de grande hauteur. (a) Vue en perspective. (b) Vue en coupe au droit du voile central

Le diagramme force–déplacement idéalisé (Figure 15) et associé au comportement du bâtiment tour évoqué ci–avant montre que tant que le déplacement Δ_y n’est pas atteint, les armatures longitudinales en partie inférieure des abouts de voiles ne plastifient pas. Lorsque le déplacement Δ varie entre Δ_y et Δ_u , le bâtiment tour continue de fléchir sur toute la hauteur sous effort tranchant constant ou quasi–constant en plastifiant les armatures longitudinales. (IAEE, 2023)

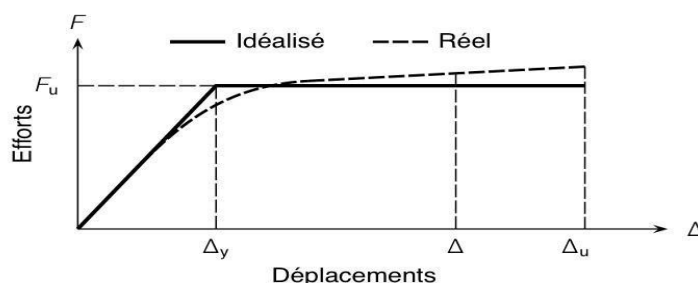


Fig. 15. Notion de ductilité. Idéalement de la courbe force–déplacement. (IAEE, 2023)

La ductilité du bâtiment tour traduit donc son aptitude à pouvoir se déformer dans l’état fissuré, la limite élastique des armatures tendues étant atteinte. De manière générale, la grandeur adoptée pour quantifier la ductilité est le coefficient de ductilité et a pour expression:

$$\mu = \frac{\Delta y}{\Delta u}$$

Où Δu (respectivement Δy) est le déplacement correspondant à la déformation ultime (respectivement élastique) de l'un des matériaux.

En béton armé, la déformation ultime est atteinte soit par épuisement de la déformation relative du béton (3,5‰ pour le BAEL et l'EC2), correspondant à un début d'éclatement du béton dans la fibre la plus comprimée; soit par épuisement de la déformation relative de l'acier (-10‰ pour le BAEL et de -22,5‰ à -67,5‰ selon les classes d'acier pour l'EC2), laquelle peut correspondre à la rupture de l'acier.

L'aptitude d'une structure à préserver sa capacité de résistance au-delà de sa limite élastique est très importante en calcul sismique. Cette aptitude est mesurée par la ductilité, qui peut être celle du matériau, d'un élément de la structure ou de la structure même.

Nous rappelons les définitions des différents facteurs de ductilité.

2.2.8.3 FACTEURS DE DUCTILITÉ

La ductilité de la structure permet d'apprécier le niveau de la résistance de la construction en phase élastique et les dégradations dues aux déformations dans le domaine élasto-plastique qu'elle peut subir sous l'effet des charges sismiques ou accidentelles qui entraînent le plus souvent des rotules plastiques dans certains points de la structure. Un grand nombre de recherches expérimentales et analytiques, a été conduit pour l'amélioration de la capacité des rotules plastiques, de l'absorption et la dissipation de l'énergie sismique.

Cette amélioration dépend de plusieurs facteurs intrinsèques qui influent sur la ductilité et la portance des rotules plastiques. Parmi ces facteurs, on cite: La résistance à la compression du béton; Le confinement transversal des éléments; Les pourcentages des armatures tendues et comprimées; La limite élastique des armatures; L'effort normal dans les poteaux; La résistance élevée des armatures tendues.

Certains facteurs ont un effet défavorable sur la ductilité comme la résistance élevée des armatures tendues et l'effort normal dans les éléments. Par ailleurs, les autres facteurs ont un effet favorable sur la ductilité à savoir la résistance élevée de la compression du béton et le pourcentage élevé des armatures comprimées. Ainsi, particulièrement le confinement transversal des éléments en béton armé par des cadres ou par des spirales.

Pour résister à un séisme de grande amplitude, une structure doit avoir un comportement ductile. Pour l'analyse sismique, la valeur de cette ductilité doit être connue. Dans ce but, il faut différencier au moins trois types de ductilité à savoir:

Le premier de ces trois types est la ductilité du matériau lui-même. Cette ductilité peut être définie comme le rapport de la déformation maximale ε_m , correspondant à la contrainte maximale, sur la déformation ε_y , correspondant à la limite élastique.

Le deuxième pour évaluer le comportement individuel des éléments structuraux, on définit le facteur de ductilité en rotation μ_Θ , défini de la même façon que le μ_ε , c'est-à-dire comme le rapport de la rotation maximale Θ_m d'un élément Θ_m , sur la rotation Θ_y correspondant à la limite élastique des matériaux le composant Θ_y .

Le troisième type, finalement, la ductilité en déplacement, définie par le facteur de ductilité en déplacement μ_δ souvent employé en calcul sismique, est reliée au déplacement μ_δ d'un point de la structure. μ_δ est également défini comme le rapport du déplacement horizontal maximal δ_m d'un niveau défini de la structure, sur le déplacement δ_y correspondant à la limite élastique.

Comme pour ε_m et Θ , δ_m est défini par le déplacement maximal atteint pendant un demi-cycle de charge.

On peut définir δ_y comme le déplacement correspondant au moment où la limite élastique est atteinte pour la première fois dans une section quelconque de la structure. Une autre définition de δ_y consiste en l'examen de la relation charge-déplacement de toute la structure et à noter le commencement de la déviation de comportement par rapport à la partie élastique linéaire.

Il reste des différences considérables entre les trois facteurs de ductilité précédemment définis, et on ne doit pas les confondre. Chacun d'eux a son importance et sa signification. Le facteur de ductilité de matériau μ_ε caractérise les propriétés mécaniques des matériaux. Un μ_ε élevé indique un matériau ductile, un μ_ε faible indique un matériau fragile.

Le facteur de ductilité de rotation μ_Θ , représente la performance d'un élément ou d'un joint de la structure. Une structure ne peut pas avoir un comportement ductile si les valeurs de μ_Θ pour ses éléments et ses joints sont insuffisants pour redistribuer les moments internes. Finalement, le facteur de ductilité en déplacement μ_δ fournit un indice pour le comportement global de la structure, c'est-à-dire l'aptitude de la structure à se déformer avec la sécurité au-delà de la limite élastique. La relation entre ces trois facteurs peut être représentée sous la forme: $\mu_\varepsilon > \mu_\Theta > \mu_\delta$.

2.2.8.4 COEFFICIENT DE COMPORTEMENT

Dans les règles EC8, la valeur du coefficient de comportement est basée sur la relation: $q = k_w q_0 \geq 1,5$

Avec q_0 correspondant à la valeur de base du coefficient de comportement. Celle-ci dépend du système de contreventement, des conditions de régularité (en plan et en élévation) et du degré d'hyperstaticité (A. PLUMIER, 1998).

Les valeurs de base du coefficient de comportement (cf. **tableau 1**) montrent bien que plus le système s'apparente à des structures rigides, plus les valeurs sont basses. En particulier, pour les structures régulières « à murs porteurs » habituelles en construit en République Démocratique du Congo, le coefficient de comportement est limité à 3,0 en classe DCM, ce qui correspond au cas des murs faiblement armés de grandes dimensions.

Tableau 1. Valeurs de base du coefficient de comportement q_0 pour les structures en béton armé (cf. EC8 — § 5.2.2.2 (2))

Type structural	Conception DCM	Conception DCH
Système à ossature, système à contreventement mixte, système mur de couplés	$3,0 \frac{\alpha_u}{\alpha_1}$	$4,5 \frac{\alpha_u}{\alpha_1}$
Système de murs non couplés	3,0	$4,0 \frac{\alpha_u}{\alpha_1}$
Système à noyau	2,0	3,0
Système en pendule inversé	1,5	2,0

Ces valeurs de base sont pondérées par le terme k_w qui est fonction du mode de rupture prédominant du système (flexion ou effort tranchant).

Si le rapport (h_{wi} / l_{wi}) ne varie pas trop entre les murs, le rapport de forme prédominant α_0 peut être évalué à partir de l'expression:

$$\alpha_0 = \frac{\sum h_{wi}}{\sum l_{wi}}$$

Où h_{wi} (Resp. l_{wi}) est la longueur du mur i (Resp. la longueur de la section transversale du mur i). D'où :

$$0.5 \leq k_w = \frac{1 + \alpha_0}{3} \leq 1$$

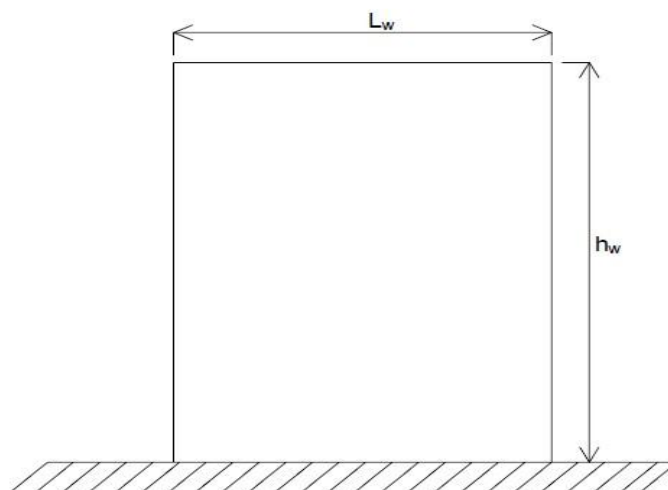


Fig. 16. Voile faible armé de grande dimension

Pour un système de murs non couplés tel que $\sum l_{wi} > \sum h_{wi}$, la valeur du coefficient de comportement peut chuter jusqu'à 1,5 (avec $k_w = 0,5$). En particulier, avec $\alpha_0 = 1$, le coefficient de comportement q vaut 2. (IAEE, 2023).

Par ailleurs, il est possible d'envisager un niveau de ductilité plus important pour ce type de structure (voiles ductiles) en liant les voiles par des poutres de couplage. En effet, une partie de l'énergie peut être dissipée dans les rotules plastiques situées aux extrémités de ces poutres. En fait, le rapport peut être directement corrélé au degré d'hyperstaticité, et donc aux nombres de rotules plastiques

pouvant potentiellement apparaître dans la structure. D'après l'EC8, les valeurs du rapport μ pour les structures régulières varient de 1,0 à 1,2 selon les systèmes de contreventement et sont plafonnées à 1,5.

2.2.8.5 DIMENSIONNEMENT EN CAPACITÉ

Traditionnellement, le dimensionnement des structures sous séisme s'effectue de manière conventionnelle. Autrement dit, les structures sont conçues pour résister à une fraction de leur poids propre. Les efforts sont distribués de façon à obtenir les effets les plus défavorables. Avec l'approche du dimensionnement en capacité (cf. EC8 — § 5.2.3.3), le dimensionnement des structures sous séisme est conduit en « prévoyant à l'avance » les modes de déformations pouvant conduire à des ruptures ductiles et favorables à un comportement sismique adapté.

Les zones dans lesquelles peuvent se produire ces ruptures constituent les « zones critiques » des éléments de structures en béton armé et sont dimensionnées localement en tenant compte des règles de calcul classiques du béton armé (EC2) et des dispositions constructives associées (EC8). De cette manière, il est possible de hiérarchiser les modes d'apparition des ruptures et de vérifier le comportement global de la structure.

Structures poteaux-poutres

Dans les structures formées de poteaux et de poutres, les zones critiques sont situées à proximité des nœuds (Figure 17). C'est dans ces zones que se produisent les déformations sous efforts alternés et donc les rotules plastiques.

De plus, pour éviter tout effondrement, il est préférable de privilégier la formation des rotules plastiques dans les poutres plutôt que dans les poteaux (à l'exception des pieds de poteaux) de façon à conserver une conception poteau fort-poutre faible.

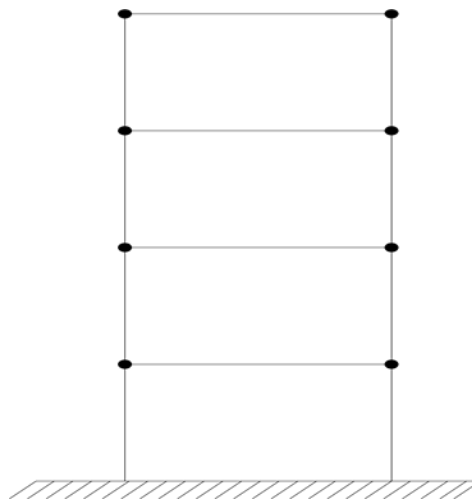


Fig. 17. Structure poteau poutre

Le dimensionnement en capacité conduit donc à calculer les rotules plastiques des poteaux avec un coefficient de sur-résistance. Dans ce sens, les règles EC8 proposent de vérifier aux nœuds et pour chacune des orientations possibles de l'action sismique que :

$$\sum M_{Rd} \geq 1,3 \sum M_{sd}$$

Avec :

M_{Rd} : Valeur de calcul du moment résistant;

M_{sd} : Valeur de calcul du moment sollicitant.

Ces règles EC8 imposent que soit satisfaite, dans les deux directions orthogonales et pour chacune des orientations (positive et négative) de l'action sismique.

Analyse: Rotations plastiques

La formation des rotules plastiques dans les zones critiques est conditionnée d'une part, par un ferrailage adapté, pour permettre la rotation plastique des sections, et d'autre part, pour palier à toute éventualité de rupture fragile. D'un point de vue mécanique, la rotation plastique des sections de béton armé est provoquée par le seul mécanisme local ductile en béton armé: la flexion plastique.

Autrement dit, par raccourcissement des fibres de béton comprimées et allongements des armatures longitudinales tendues, lesquelles doivent plastifier.

❖ Dispositions réglementaires pour les armatures (règles françaises et EC8)

À la différence des règles BAEL, il est spécifié dans les règles françaises une valeur garantie de l'allongement sous charge maximale de 5 % pour les barres HA et de 2 % pour les treillis soudés. Il est donc réglementaire d'atteindre, avec des aciers conformes aux spécifications du règles françaises, par exemple une courbure de 415 Rad/m, laquelle correspond, pour l'étude qui est un cas de référence, à une déformation relative de l'acier de -15,59‰. En outre, les barres et fils tréfilés ou laminés doivent être à haute adhérence avec une limite d'élasticité spécifiée inférieure ou égale à 500MPa.

Par exemple, pour les poteaux, les règles françaises indiquent des espacements maximums à satisfaire pour garantir le non-flambement des armatures longitudinales dans les zones critiques. Soit: (IAEE, 2023).

$$S_t = \min(8 \phi_l, 0,25 a; 15 \text{ cm})$$

De la même façon que pour les règles PS92, l'EC8 imposent des allongements garantis en fonction de la classe de ductilité de l'acier (A, B ou C). Nous pouvons remarquer (cf. Tableau 2) que l'allongement minimal garanti peut aller jusqu'à 75 %. L'EC8 permet donc, en théorie, une plus grande rotation plastique et une plus grande ductilité. De plus, l'EC8 impose que « le rapport k entre la résistance à la traction et la limite d'élasticité de l'acier utilisé dans les zones critiques soit sensiblement supérieur à l'unité ». Ceci implique que seul le diagramme à branche supérieure inclinée avec une déformation de l'acier limitée à $\varepsilon_{ud} = 0,9 \varepsilon_{uk}$ n'est possible, et que l'effet de l'écroutissage doit être pris en compte.

Tableau 2. Exigences relatives aux aciers d'armatures de béton armé (IAEE, 2023)

Classe	f_{yk} (MPa)	$k = (f_t/f_y)_k$	ε_{uk} (%)
A	400-600	$\geq 1,05$	$\geq 2,05$
B	400-600	$\geq 1,08$	$\geq 5,0$
C	400-600	$\geq 1,15$	≥ 6

Pour pouvoir atteindre une ductilité moyenne des structures en béton armé, l'acier d'armature dans les zones plastiques doit répondre au minimum aux exigences suivantes:

- Rapport de la résistance à la traction $R_m = f_t$ à la limite d'écoulement $R_e = f_y$ et $R_m/R_e \geq 1.15$.
- Allongement total à la force de traction maximale: $\varepsilon_{uk} \geq 6 \%$.

Dans les zones plastiques des refends et des colonnes en béton armé (longueur plastique L_p), il faut stabiliser les barres d'armature verticales pour éviter qu'elles ne flambent sous les charges de compression. Parfois, le béton doit également être confiné afin de permettre des déformations de compression plus élevées. L'armature transversale nécessaire armature de stabilisation et de confinement avec des étriers et des barres de liaison doit être ancrée avec des crochets à 135°; des crochets à 90° ne suffisent pas, et les dommages observés lors de chaque nouveau séisme le rappellent invariablement. La distance verticale nécessaire relativement faible entre les étriers et les barres de stabilisation $s \leq 5 d$ (d = diamètre des barres stabilisées) est due à la ductilité souvent mauvaise (faible rapport d'écroutissage R_m/R_e) des aciers d'armature européens qui conduisent à un effet de flambement défavorable.

2.2.8.5.1 CRITÈRE DE DUCTILITÉ LOCALE

Nous rappelons que lorsque qu'une structure est sollicitée par des efforts de séisme, il y a appel à ductilité. Et de toute évidence, la ductilité en courbure appelée doit être inférieure à la ductilité en courbure disponible (IAEE, 2023). Ce qui s'écrit: $\mu \theta' \leq \mu \theta$.

La vérification d'un tel critère n'est pas facilement praticable de manière rigoureuse. Il faudrait dans un premier temps calculer les courbures élastiques et ultimes pour une étendue d'effort normal fixé, un ferrailage longitudinal et transversal donné et vérifier que les déplacements et la dissipation d'énergie résultants sont compatibles avec le coefficient de comportement fixé en amont.

Les règles EC8 permettent de nous affranchir d'une telle lourdeur de calcul en proposant de lier le coefficient de comportement à des pourcentages géométriques ou mécaniques d'armatures (longitudinales ou transversales) via le coefficient de ductilité en courbure minimal requis. Ce point constitue une «avancée fondamentale» dans la réglementation parasismique puisqu'il est totalement absent dans les règles telles que les règles françaises PS92, ou encore des règles américaines ACI 318.

En l'occurrence, la relation proposée par l'EC8 liant le coefficient de comportement au coefficient de ductilité en courbure a pour forme

$$\mu_{\phi} = \begin{cases} k(2q_0 - 1) & \text{si } T_1 \geq T_c \\ k \left(1 + 2(q_0 - 1) \frac{T_c}{T_1} \right) & \text{si } T_1 < T_c \end{cases}$$

T_1 : Période fondamentale du bâtiment, en secondes;

T_c : Période correspondante au palier d'accélération spectrale constante

Cette relation notifie que le coefficient conventionnel de ductilité en courbure (CCDC) est plus exigeant pour les structures raides que pour les structures souples.

Et d'une manière générale, puisque ductilité et dissipation d'énergie sont synonymes, la modulation du CCDF en fonction de la période de la structure tend à étayer que la règle d'équivalence énergétique est prépondérante sur la règle d'iso – déplacement pour les structures raides.

Par ailleurs, l'EC8 fait apparaître la notion de classe de ductilité; on distingue pour les structures en béton trois classes de ductilité, à savoir: DC «L» (ductilité limitée), DC «M» (ductilité moyenne) et DC «H» (haute ductilité). Pour ce qui concerne le dimensionnement des structures dissipatives, et donc ductiles, seules les classes DCM et DCH sont à considérer. Les structures dimensionnées en classe DCL ne peuvent pas être considérées comme dissipatives.

Le choix d'une classe dépend principalement du zonage sismique et du niveau de ductilité souhaité au moment de la conception, mais aussi du budget alloué pour la conception et la réalisation de l'ouvrage. Nous devrions ajouter également un paramètre lié aux réparations dues aux dommages après séisme et les conséquences environnementales de tels dommages. Par exemple, il n'est pas envisageable d'accepter une fissuration du béton, et donc une plastification des armatures tendues sur des ouvrages à risque élevé comme des complexes nucléarisés. La classe de ductilité appropriée dans ce cas de figure est DCL avec un coefficient de comportement $q = 1$.

Une conception en classe DCH implique nécessairement la justification d'un CCDC plus exigeant compte tenu d'une plus grande réduction des efforts via des coefficients de comportement plus élevés. Il en résulte une plus grande déformabilité et donc une conception détaillée plus exigeante vis-à-vis des conditions de ferrailage.

2.2.8.5.2 CONDITION DE DUCTILITÉ DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS EN BA

Dispositions constructives

Pour être complet, les règles EC8 relient le coefficient de ductilité en courbure aux conditions de ferrailage des éléments en béton armé dans les zones où se forment les rotules plastiques.

Poutres

Dans le cas des poutres, l'effort normal est en général peu influent sur la ductilité en courbure.

Selon la terminologie de l'EC8, une poutre est un élément de béton armé horizontal dont l'effort normal réduit est inférieur à 0,1. Pour ce type d'élément, la plastification des armatures se produit avant que la déformation relative du béton n'atteigne la déformation ultime.

L'excentricité entre une poutre sismique primaire et le poteau doit être inférieure à $b_c/4$ selon les règles de l'EC8. De plus, la largeur des poutres doit être telle que:

$$b_w = \min \{b_c + h_w; 2b_c\}$$

Où $b_w \geq 200$ mm pour la classe DCH, b_c désigne la plus grande dimension de la section transversale du poteau perpendiculaire à l'axe longitudinal de la poutre et h_w désigne la hauteur de la poutre.

- **Zones critiques:** Les zones critiques selon les règles de l'EC8 s'étendent sur une distance l_{cr} ($l_{cr} = h_w$ pour la classe DCM et $l_{cr} = 1,5 h_w$ pour la classe DCH) à partir d'une section d'extrémité où la poutre est connectée à un nœud poteau-poutre, ou sur une distance $l_{cr} = 2 h_w$ de part et d'autre de toute autre section susceptible de se plastifier dans la situation sismique de calcul, doivent être considérées comme zones critiques (Figure 18).

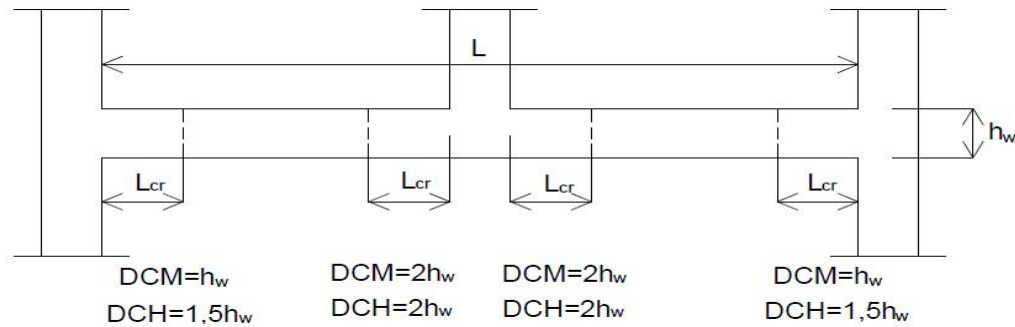


Fig. 18. Étendues des zones critiques dans les poutres selon EC8

- **Armatures longitudinales:** Le pourcentage d'armatures dans la zone tendue doit vérifier

$$\rho_{min} \leq \rho' + \frac{0.0018 f_{cd}}{\mu_{\phi} \epsilon_{sy,d} f_{yd}} \leq \rho_{max}$$

- ✓ ρ' le pourcentage d'armatures dans la zone comprimée;
- ✓ f_{cd} la résistance de calcul en compression du béton;
- ✓ f_{yd} la résistance de calcul en traction de l'acier;
- ✓ μ_{ϕ} le coefficient de ductilité en courbure;
- ✓ ϵ_{sy} , la valeur de calcul de la déformation de l'acier à la limite d'élasticité. En particulier, pour un acier S500, $\epsilon_{sy} = 2,5\%$.

Cette relation indique que le coefficient de ductilité en courbure est principalement influencé par les caractéristiques du béton et de l'acier, et que les pourcentages géométriques des armatures tendues et comprimées y prennent une part non négligeable.

Par ailleurs, le pourcentage géométrique d'armatures longitudinales doit vérifier dans les zones tendues tout le long de la poutre:

$$\rho_{min} \geq \frac{0.5 f_{ctm}}{f_{yk}}$$

Pour un béton courant C30/37 et un acier de classe B, ρ_{min} est au voisin de 0,00289

$$f_{ctm} = 2.9 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$$

Soit $\rho_{min} = 0,0028$ pour $f_e = 500 \text{ MPa}$. Ce pourcentage pouvait même être réduit de moitié sous réserve que le dimensionnement est vérifié sous la combinaison sismique $0.5G + Q$.

De plus, dans les zones critiques, le pourcentage d'armatures comprimées doit vérifier

$$\rho' \geq 0,5 \rho$$

Enfin, les règles EC8 indiquent qu'en classe DCH:

- Au moins deux barres HA de diamètre 14 mm doivent être placées sur les faces supérieures et inférieures de la poutre;
- Un quart de la section maximale des armatures supérieures sur appui doit être prolongée sur toute la longueur de la poutre.

- Armatures transversales de confinement

Le diamètre minimal des armatures transversales doit être de 6 mm en DCM. En DCM, l'espacement des armatures transversales dans les zones critiques doit vérifier

$$S_t \leq \min \left(\frac{h_w}{4}; 24 d_{bw}; 8d_{bl} \right)$$

En DCH, l'inégalité devient

$$S_t \leq \min\left(\frac{h_w}{4}; 24 d_{bw}; 6d_{bl}\right)$$

Avec:

d_{bw} le diamètre des armatures transversales;

d_{bl} le diamètre minimal des armatures longitudinales.

Poteaux

Contrairement aux poutres, les poteaux sont des éléments verticaux fortement comprimés pour lesquels, la plastification des armatures ne peut généralement intervenir avant que la déformation ultime du béton ne soit atteinte (soit $\epsilon_{cu} = 3,5\%$). Dans ce cas, la ductilité ne peut être obtenue que par confinement du béton.

- **Zones critiques:**

Les zones critiques d'un poteau s'étendent sur une distance au moins égale à:

$l_{cr} = \max(h_c; l_{cr}/6; 0, 45)$ à partir d'une section d'extrémité où le poteau est connecté à un nœud poteau-poutre. Lorsque $h_c/l_{cr} < 3$, le poteau doit être considéré comme zone critique sur toute sa longueur.

En classe DCH, la longueur l_{cr} doit satisfaire:

$$l_{cr} \geq \max\left(h_c; \frac{l_{cr}}{6}; 0,60\right)$$

Avec:

h_c la hauteur libre du poteau;

l_{cr} est la distance critique

- **Armatures longitudinales:** Les armatures longitudinales doivent être réparties uniformément sur le pourtour du poteau avec, au minimum, une armature intermédiaire le long de chaque face. Le pourcentage géométrique doit vérifier:

$$0,001 \leq \rho_l \leq 0,04$$

- **Armatures transversales de confinement:** Du fait que la ductilité est principalement obtenue par confinement du noyau béton, le pourcentage d'armatures transversales doit satisfaire:

$$\alpha_{\omega_{wd}} \geq 30 \mu_{\phi} \epsilon_{sy,d} \frac{b_c}{b_0} - 0,035$$

Où ω_{wd} est le pourcentage mécanique en volume des armatures de confinement tel que:

$$\omega_{wd} = \frac{\text{volume des armatures de confinement}}{\text{volume du noyau du béton}} \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

Avec

α : le coefficient d'efficacité du confinement

ν_d : l'effort normal réduit;

b_c (resp. b_0): La plus petite dimension transversale du poteau (resp. la plus petite dimension transversale du noyau de béton)

f_{cd} : la résistance de calcul en compression du béton

f_{yd} : la résistance de calcul en traction de l'acier

μ_{ϕ} : le coefficient de ductilité en courbure

$\epsilon_{sy,d}$: la valeur de calcul de la déformation de l'acier à la limite d'élasticité. En particulier, pour un acier S500, $\epsilon_{sy} = 2, 5\%$.

Contrairement aux poutres, la quantité d'armatures longitudinales n'influe pas ou peu sur le coefficient de ductilité en courbure. À l'exception des caractéristiques géométriques et des dimensions transversales de la section, la relation ci-haut montre bien, au travers des facteurs α et ω_{wd} , que les dispositions de ferrailage des armatures de confinement jouent un rôle essentiel vis-à-vis de la ductilité en courbure.

Par ailleurs, le pourcentage mécanique des armatures transversales (diamètre minimal 6 mm) ne peut être inférieur à 8 % dans la zone critique à la base des poteaux pour une conception en classe DCM. En classe DCH, ce pourcentage est étendu à 12 % et il doit être pourvu un pourcentage mécanique minimal de 8 % dans les autres zones critiques.

De plus, l'espacement s_t des armatures transversales, exprimé en millimètre, dans les zones critiques doit vérifier:

$$s_t \leq \min\left(\frac{b_o}{2}; 125\text{mm}; 8d_{bl}\right)$$

En classe DCH, l'inégalité précédente devient:

$$s_t \leq \min\left(\frac{b_o}{3}; 125\text{mm}; 6d_{bl}\right)$$

Avec:

d_{bl} : le diamètre minimal des armatures longitudinales

b_o : la plus petite dimension transversale du noyau de béton, prise par rapport à l'axe des armatures transversales.

Enfin, les règles EC8 précisent que le diamètre minimal des armatures de confinement doit être supérieur à 6 mm pour une conception en classe DCM. En classe DCH, le diamètre minimal des armatures transversales doit satisfaire:

$$d_{bw} \leq 0.4 d_{bl,max} \sqrt{\frac{f_{ydL}}{f_{ydw}}}$$

d_{bl} : le diamètre maximal des armatures longitudinales

f_{ydL} : la valeur de la limite d'élasticité des armatures longitudinales

f_{ydw} : la valeur de la limite d'élasticité des armatures transversales.

- **Analyse de cette disposition:**

Les dispositions constructives proposées dans les règles EC8 valident, au travers du CCDF, que la ductilité requise pour satisfaire une valeur plus ou moins élevée du coefficient de comportement, est largement influencée par les conditions de confinement du béton, mais aussi, par d'autres paramètres rattachés à la géométrie de la section ou bien aux caractéristiques mécaniques des matériaux.

2.3 NOTIONS DE DYNAMIQUE DES STRUCTURES

Les notions de la dynamique des structures interviennent dans ce travail par ce que, les actions sismiques que nous allons étudier font partie des actions dynamiques.

2.3.1 ACTIONS ET CLASSIFICATION

2.3.1.1 ACTION

On appelle « action »; un ensemble des forces ou des couples appliqués à une structure ou bien un ensemble des déplacements imposés à la structure.

2.3.1.2 CLASSIFICATION

On peut classer les actions selon leur variabilité dans le temps, selon leur variabilité dans l'espace et selon la réponse de la structure.

C'est ce dernier cas qui intéresse ce travail. Selon la réponse de la structure, il y a les actions statiques et les actions dynamiques. Les premières sont les actions qui n'entraînent pas la vibration de la structure tandis que les secondes sont celles qui vont vibrer la structure.

2.3.1.3 ACTION DYNAMIQUE

Une action dynamique est une action qui déplace les masses de structure en leur imprimant des accélérations et faisant apparaître les forces d'inertie (Charges mobiles, actions de choc, actions du vent et actions sismiques).

2.3.1.4 HYPOTHÈSES DE CALCUL

Elles concernent le matériau et le déplacement.

Le matériau est considéré homogène, isotrope et élastique linéaire tandis que le déplacement produit par les charges est petit par rapport aux dimensions de la structure.

2.3.1.5 VIBRATIONS

On appelle vibrations, les petits mouvements dynamiques alternés par l'intermédiaire de la masse et de la raideur.

2.3.1.6 CLASSIFICATION DES VIBRATIONS

Suivant la forme, l'amplitude et la période (Périodiques, Harmoniques, Décroissantes, Croissantes, Quelconques). **Suivant la cause productrice** (vibrations libres, amorties ou forcées par une excitation extérieure).

- Vibrations libres :

C'est un mouvement oscillatoire non entretenu

- Vibrations forcées :

Il d'agit des mouvements oscillatoires soumis à des réactions extérieures. On a le régime transitoire et le régime permanent ou stationnaire.

2.3.1.7 SCHÉMA DYNAMIQUE

Contrairement la structure soumise aux charges statiques pour laquelle la modélisation constitue le schéma statique, quand il s'agit des charges dynamiques ou du système oscillant.

C'est un modèle mathématique qui peut être assimilable à des ensembles des masses reliées Par des supports élastiques et le tout fixé par un support élastique.

On peut adopter des modèles simplifiés tels que: « les charriots et les brochettes ».

Sur un schéma dynamique, on représente les raideurs équivalentes dont la valeur dépend du couplage des supports élastiques et la masse d'un niveau d'un bâtiment est considérée concentrée au plancher.

2.3.1.8 AMORTISSEMENT

La notion d'amortissement doit être connu car, en génie civil, l'amortisseur fait partie des modes d'isolation parasismique des bâtiments.

L'amortissement joue le rôle important dans l'atténuation du niveau vibratoire. En général, toutes les structures quelles que soit leur nature, possèdent de l'amortissement car s'il n'existe pas, théoriquement, la structure va vibrer indéfiniment. Sa connaissance est très importante pour les systèmes réels. Nous allons considérer le cas de l'amortissement visqueux. Il est représenté sur le schéma dynamique de la manière:

2.4 LE BASSIN DU CONGO

L'origine des mouvements tectoniques est inconnue dans le bassin du Congo. Aucune surface de rupture n'est documentée jusque-là, pourtant bien de chocs de tremblement sont enregistré dans cette région. Dans l'historique sismique de la région, les séismes remarquables enregistrés sont entre autres de magnitude $M_b=5,4$ à $M_b=5,6$, enregistré pendant la période allant de 1976 à 1998. Ces séismes avaient été étudiés par Fairhead et Stuart (1982), Diewonski et al. (1996) et Atalay (2002). Ils ont montré que le bassin du Congo est prédominé par un état de compression horizontal. Le mécanisme des failles de ces séismes montre approximativement une orientation Est- Ouest qui sont expliqué par des mouvements de compression horizontaux des plateaux africains, due aux forces de poussé originaire des crêtes centrales dans le milieu de l'Atlantique et du système des failles de l'Afrique de l'Est (EARS: East African Rift System).

2.4.1 LE SÉISME EN RDC

L'approche probabiliste qui a été utilisée pour la cartographie donne la possibilité de séisme en RD Congo et les zones environnantes, elle estime aussi le niveau des risques sismiques pour 12 sites dans la région. Cette cartographie des risques sismiques montre la possibilité de 2%, 5% et 10% d'avoir une accélération au de delà de celles prévue être obtenue dans 50ans. Ainsi la procédure doit prévoir un catalogue harmonisé pour 90ans en fonction des magnitudes. Le haut niveau de risque sismique est localisé sur le cratère du lac Tanganyika où le pic des accélérations sur la surface du sol excède 0.32g, 0.22g et 0.16g et sont suspect d'arriver avec 2%, 5% et 10% de chance dans 50 ans respectivement. Cependant, dans l'ouest du Rift Valley à une distance de 450 km, la chance de dépasser 0.05g i.e. le seuil de la valeur intéressant l'ingénieur est moins de 10% dans 10 ans.

L'étude de la sismicité locale à partir des micros tremblements de terre par des chercheurs a montré que trois zones sont sources principales des mouvements sismiques localisés en RD Congo et des régions environnantes; ces zones sont: La région Ouest du Rift Valley (Western Rift Valley of Africa: WRA); La crête de l'Upemba et du Lac Moero (Sud Est de la RD Congo et le Nord-Ouest Zambien); Le bassin du Congo.

Sur la Figure 19 suivante est reprise la base de la structure géologique et de la sismicité locale de la zone Ouest du Rift Africain.

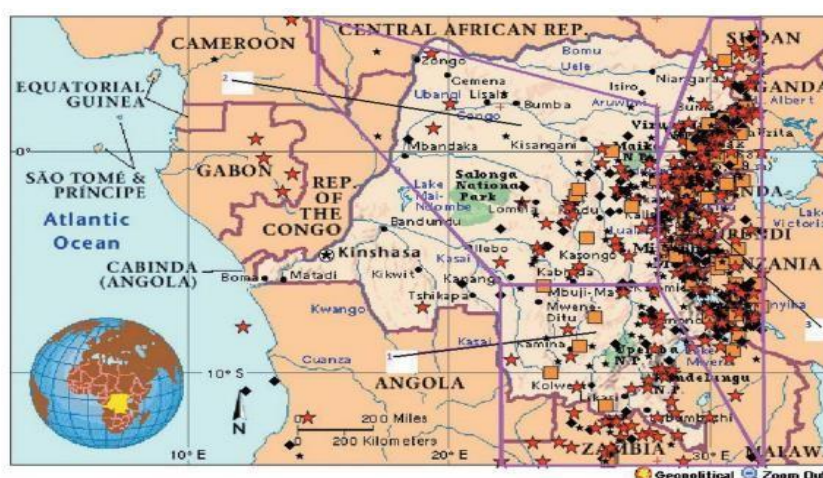


Fig. 19. Epicentres des activités sismiques dans les années allant de 1910-2008 en usage pour l'analyse de l'aléas sismique en RD Congo et zones environnantes

Ainsi, à partir des paramètres probabilistes des secousses sismiques en RDC et des zones environnante, quatre zones de sismicité ont été établit:

- Zone A (avec la plus grande probabilité de mouvement): Elle comprend le Lac Tanganyika et la zone de crête du Moero qui décrit le haut niveau probable des séismes qui peuvent excéder la valeur de l'accélération de 0.32g, 0.22g et 0.16g soit dans l'ordre probable respectif de 2%, 5% et 10% dans 50ans.
- Zone B (la plus probable): Elle comprend le bassin du Lac Kivu, le Ruwenzori et la région du Lac Edouard.
- Zone C (probabilité modérée): Cette zone comprend le Sud Est de la RDC et le Nord-Ouest Zambien et une partie du bassin du Congo refermé sur la crête Ouest.
- Zone D (probabilité moindre): Elle comprend le reste de la zone du bassin du Congo

2.4.1.1 LOCALISATION – CATÉGORIE D'IMPORTANCE – CLASSE DE SOL

Voici le nouveau zonage sismique national officialisé par la publication du CRSN/LWIRO du 22 août 2010 portant sur la délimitation des zones de sismicité du territoire congolais (Figure 20).

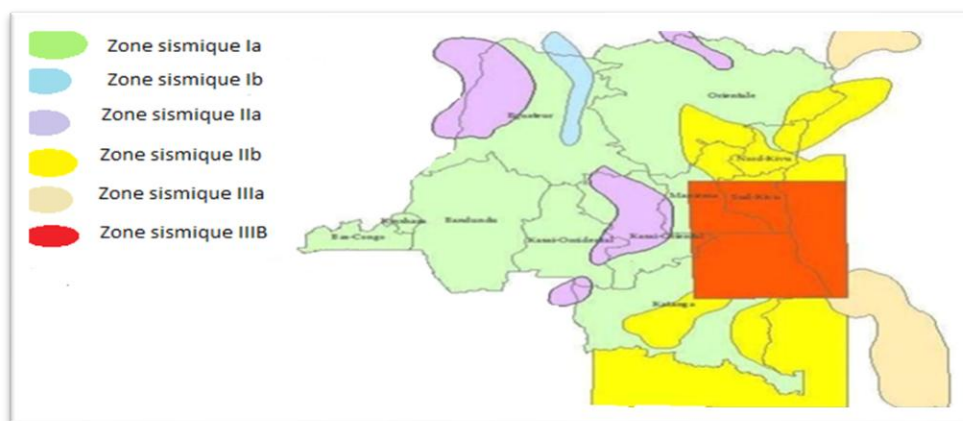


Fig. 20. Délimitation de la zone sismique de la RDC

3 MATERIELS ET METHODES

Après avoir présenté le cadre théorique relatif à la dynamique des structures et aux principes de conception parasismique, il convient à présent de définir le milieu d'étude ainsi que les outils et méthodes retenus pour la réalisation de ce travail. Ce chapitre décrit d'abord les caractéristiques géographiques, géologiques et climatiques des villes de Goma et de Bukavu, choisies comme zones d'investigation. Ensuite, les matériels utilisés (logiciels, normes et documents de référence) sont présentés, avant de détailler la méthodologie appliquée. Celle-ci comprend la modélisation de la structure, l'analyse statique et dynamique, ainsi que les calculs des rigidités, masses sismiques et périodes propres, afin d'évaluer la réponse sismique du bâtiment étudié.

3.1 MILIEU D'ÉTUDE

3.1.1 VILLE DE GOMA

Goma, capitale de la province du Nord-Kivu, est localisée au nord du lac Kivu à une altitude moyenne de 1500 m (1670 m au centre-ville). Elle est bâtie sur les anciennes coulées de lave issues principalement du volcan Nyiragongo, appartenant à la chaîne volcanique des Virunga. Ses coordonnées géographiques sont 1°41'36" S et 29°14'43" E. La ville couvre une superficie de 45 km² et sa population est estimée à environ 2 100 000 habitants, soit une densité de 46 667 hab/km².

Géotechnique et sismicité

La région de Goma, située au bord du lac Kivu dans la partie Est de la République Démocratique du Congo, est caractérisée par une géologie complexe influencée à la fois par son contexte tectonique au sein du Rift Est-africain et par l'activité volcanique intense du volcan Nyiragongo. Du point de vue géotechnique, les sols autour de Goma sont constitués principalement de dépôts volcaniques récents, tels que les cendres, scories et coulées de lave, ainsi que de matériaux alluvionnaires provenant du lac Kivu (Muvundja et al., 2017). Ces sols volcaniques présentent une granulométrie variable, une faible cohésion, et une perméabilité souvent élevée, ce qui engendre des contraintes importantes pour la construction et la stabilité des fondations des bâtiments.

Sur le plan sismique, Goma est exposée à un risque non négligeable en raison de sa position dans une zone de rift active. Le Rift Est-africain est une fracture tectonique majeure générant fréquemment des séismes modérés à forts, résultant de mouvements le long des failles (Amigo et al., 2013). Ces séismes sont d'autant plus préoccupants que leur occurrence peut provoquer des réactions dynamiques complexes dans les sols volcaniques, affectant la réponse des structures construites.

Par ailleurs, l'activité volcanique du Nyiragongo, l'un des volcans les plus actifs au monde, exerce une influence directe sur l'environnement urbain et les conditions géotechniques locales. Ce volcan est célèbre pour ses coulées de lave extrêmement rapides et destructrices qui ont déjà causé des catastrophes majeures à Goma, notamment en 2002 (Tedesco et al., 2007). Le volcanisme contribue à la nature hétérogène des sols, par la superposition de couches successives de matériaux volcaniques, ce qui complique davantage le dimensionnement des structures en zones sismiques.

Ainsi, l'analyse et la conception des bâtiments à Goma doivent impérativement intégrer ces facteurs géotechniques et sismiques spécifiques, afin de garantir la sécurité et la durabilité des ouvrages. Cette étude contribue à la compréhension des interactions entre sols volcaniques, phénomènes sismiques et réponses structurelles, en mettant en lumière la nécessité d'adapter les méthodes de calcul à ce contexte particulier.

3.1.2 VILLE DE BUKAVU

Géographie de la ville de Bukavu: Bukavu est une ville située à l'est de la République Démocratique du Congo, dans la province du Sud-Kivu. Elle est localisée au bord du lac Kivu, entre 1 500 et 1 800 mètres d'altitude. Son relief est caractérisé par des collines escarpées, des ravins profonds et des zones marécageuses au niveau des vallées. La ville connaît un climat équatorial de montagne, avec des précipitations abondantes et régulières. Cette configuration topographique influence considérablement l'urbanisation et la stabilité des sols.

Géotechnique: Les sols de Bukavu sont principalement composés d'alluvions, d'argiles volcaniques, de latérites et de cendres volcaniques, en lien avec l'activité tectonique et volcanique de la région. Ces sols présentent parfois des problèmes de stabilité dus à leur plasticité et à l'effet des eaux d'infiltration. On note aussi la présence de zones instables sujettes à des glissements de terrain, particulièrement en saison des pluies. Cela requiert une étude géotechnique préalable avant toute implantation structurelle.

Sismicité: Bukavu est située dans la zone sismique de la branche occidentale du rift Est-Africain, ce qui en fait une zone d'aléa sismique modéré à élevé. L'activité tectonique y est provoquée par la divergence des plaques africaines, engendrant régulièrement des séismes ressentis dans la ville. Le séisme de 2008 de magnitude 5,9 avec son épicentre près de Kabare a rappelé la nécessité d'intégrer la dynamique des structures et les normes parasismiques dans les projets de construction.

Climat: Le climat de Bukavu est de type tropical de montagne. Les températures oscillent généralement entre 10 °C et 25 °C, avec une pluviométrie abondante répartie en deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches. La ville était autrefois réputée pour sa végétation luxuriante, mais connaît aujourd'hui une dégradation rapide de son couvert forestier.

3.2 MATÉRIELS

Pour mener à bien nos recherches, nous avons eu recours à la norme Européenne ENV1998-1-1 (AFNOR, 2005) réglementant le calcul des structures en zone sismique ainsi qu'à bon nombre d'autres documents traitant de la dynamique des structures appliqué au génie parasismique. En ce qui concerne les calculs mathématiques très lourds à effectuer à la main, nous avons utilisé le logiciel MATLAB (MatrixLaboratory) (*TheMathworksInc.*, 2007) afin de gagner en temps et précision.

Par ailleurs, pour déterminer la valeur de l'accélération du sol a_{gR} , nous avons exploité les cartes de l'aléa sismique de la République du Congo établies par T.Mavonga, N.Zana, R.J.Durrheim dans leur article "*studies of crustal, seismic precursors to volcanic eruptions and earthquake hazard in the eastern provinces of the Democratic Republic of Congo*" (2010) (Figure 21).

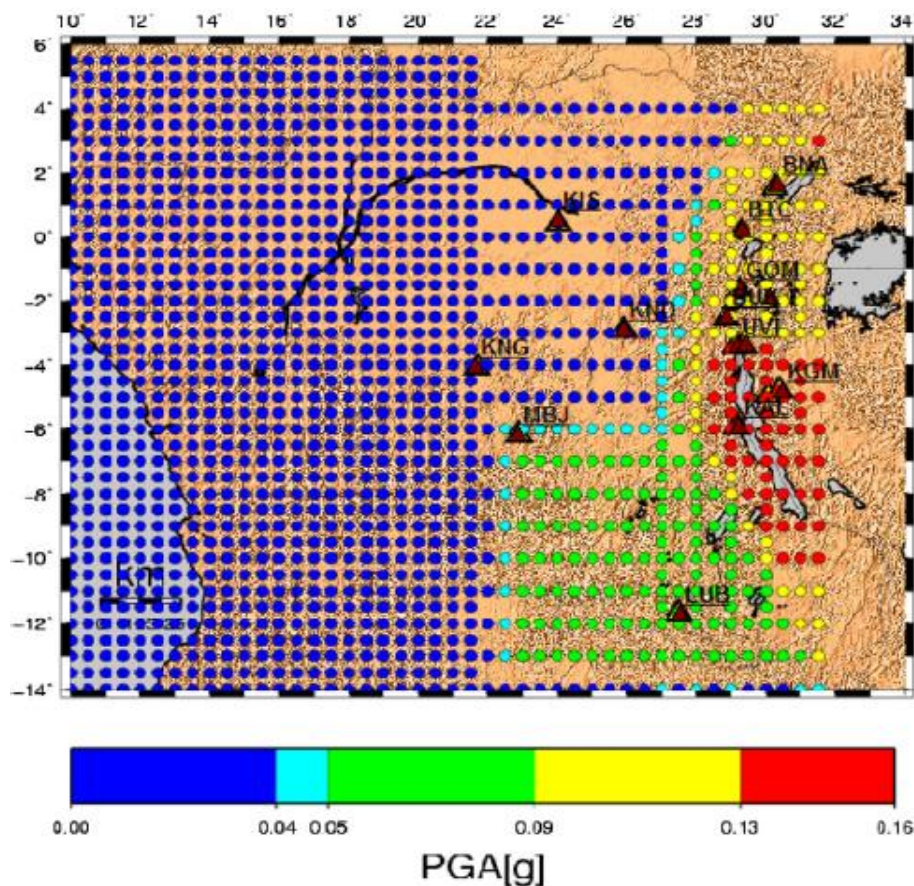


Fig. 21. Aléa sismique de la RD. Congo (Mavonga et Durrheim, 2009)

3.3 MÉTHODES

3.3.1 CONSIDÉRATION NORMATIVE SUR LE SÉISME

La normalisation des phénomènes sismiques est l'une des préoccupations majeures dans biens des pays. Les plus rependues dans les pays d'Afrique sont les règles françaises (PS92), la norme Européenne (Euro code 8), les normes américaines (UBC97, fema 356, ATC40, etc.) et les normes algériennes RPA 99 modifié 2003. Dans la considération sismique, la détermination du comportement global de la structure en tenant compte de la distribution des actions induites par le séisme au sein des éléments de la structure s'effectue par un calcul linéaire ou des calculs de dimensionnement en capacité. L'une de ces approches consiste à effectuer le calcul temporel non linéaire à partir d'un accélogramme et en utilisant une loi de comportement adéquate pour le matériau considéré. Cette technique pouvant être utilisée pour analyser les structures de plus grandes ampleur (ouvrage d'art), il est aussi préférable d'utiliser les coefficients réducteurs d'efforts puisque ceux-ci sont étroitement liés à la demande de ductilité globale. Cette prise en compte de la ductilité lors de l'analyse globale peut se simplifier par l'application du coefficient de comportement.

3.3.1.1 LA NORME EURO CODE 8

La prénorme française expérimentale, dénommée EC8-DAN 1-1 reproduit intégralement l'ENV 1998-1-1 que le Comité Européen de Normalisation (CEN) a recommandé en tant que prénorme européenne. Cette norme détaille toutes autres adaptations nationales au titre de Document d'Application National (DAN). C'est pourquoi la publication de cette prénorme européenne n'induit pas le retrait des normes nationales. Les objectifs de l'EC8-DAN sont entre autres:

De produire à la demande du Comité Européenne de Normalisation, la version française de l'EC 8 et de spécifier les adaptations nationales apportées à l'EC 8 et qui définissent les conditions techniques d'application de la norme pendant la phase d'expérimentation (ajustements éventuels des valeurs encadrées, normes et autres documents nationaux de référence) et aussi cette norme les dispositions, préfigurent les améliorations techniques qu'AFNOR proposera d'introduire quand il sera question de convertir la prénorme européenne (ENV) en Norme européenne (EN) de plein droit.

De définir les conditions d'application de l'EC 8 à remplir pour satisfaire les exigences de la réglementation nationale sur la prévention du risque sismique.

De mettre à la disposition des maîtres d'ouvrages, publics ou privés, le document normatif sur les considérations relatives au séisme qui soit contextualisé sur la coordination des procédures de marchés publics de travaux et relative au rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des États membres de la communauté européenne concernant les produits de construction.

3.3.1.2 LA NORME RPA99MODIFIÉ2003

Le document technique « DTR BC 2-48 » portant sur les « REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES RPA 99 » qui a été approuvé par la commission technique permanente pour le contrôle technique de la construction (CTP) lors de sa réunion du 4 Décembre 1999 se situe dans la continuité des documents précédents « RPA 81, version 1983 » et « RPA 88 » dont il garde la philosophie originelle. Il constitue en fait une actualisation qui s'avère nécessaire après près de deux décennies de pratique riche et diversifiée de la part des scientifiques et techniciens nationaux des bureaux d'études et de contrôle, des entreprises et des institutions de formation supérieure. Cette actualisation tient compte également des leçons tirées des récents séismes survenus en Algérie ainsi que d'autres coins à l'extérieur de l'Algérie. Cette actualisation a en outre bénéficié des grands progrès de la recherche dans ce domaine aussi bien au niveau national qu'international.

Les points qui ont été retenus pour révision se présentent comme suit: Préciser les objectifs et les niveaux de protection parasismique recherchés pour les différentes catégories de constructions qui relèvent du domaine d'application du RPA; Décrire les principes de conception parasismique à respecter, préalablement à tout calcul (choix de site, implantation...); Revoir les différentes classifications (zonage sismique, sites et sols, catégories d'ouvrages); Préciser les critères de choix de la méthode de calcul des forces sismiques (méthode statique équivalente, méthode d'analyse modale spectrale); Décrire la méthode statique équivalente avec les modifications apportées sur les différents paramètres; Décrire la méthode dynamique modale spectrale; Décrire les critères de sécurité à justifier pour que la structure soit réputée parasismique (système de contreventement, éléments secondaires et éléments non structuraux); Revoir les dispositions constructives relatives aux constructions en béton armé, en acier et en maçonnerie porteuse chaînée.

3.3.1.3 CONSIDÉRATION SUR LES CHARGES SISMIQUES

La normalisation considère les actions sismiques comme des charges accidentelles. Ainsi elles sont considérées avec des valeurs nominales pondérées dans les calculs par le coefficient égal à 1. Cependant, la tenue en compte des actions sismiques dans la construction d'un ouvrage attend que celui-ci ne puisse présenter des probabilités considérables d'effondrement ou des désordres structuraux majeurs. Tous désordres dus à ces actions doivent rester contenus dans les limites acceptables. Alors, dans la considération des actions de calculs sismiques, il est pris en compte:

- Les actions d'ensemble qui sont exercées sur la structure, en considérant la structure dans son ensemble;
- Les actions locales s'exerçant sur les éléments de la structure, des éléments non structuraux ou des équipements.
- Ces actions seront donc à considérer indépendamment les unes des autres car elles interviennent dans les calculs de vérifications sous forme des combinaisons de calcul. Vu que ces actions sont de nature dynamique, dans la suite des calculs du mouvement sismique, l'action s'exerçant sur l'ouvrage est considéré composé de:
- Des forces d'origine dynamique induites dans la structure par le mouvement de translation d'ensemble du sol du fait de l'inertie des masses qui composent la structure ou qui lui sont lié ou aussi qui s'appuient sur cette dernière.
- Des déplacements directement imposés à l'ouvrage ou à sa base (fondation) par les mouvements différentiels. Ces mouvements étant considérés appliqués dans la suite des calculs dans un état statique structure.
- Des forces développées par des oscillations de torsion de l'axe vertical causé par les mouvements différentiels horizontaux le long de la hauteur du bâtiment;
- Des surpressions dynamiques exercées sur l'ouvrage à la base par les terres, de l'eau éventuellement retenues par ce dernier.

3.3.1.4 PARAMÈTRES DE CALCULS SISMIQUES

Chaque élément de structure a des paramètres à vérifier pour répondre à la sollicitation sismique selon la destination de l'ouvrage. Ainsi pour le calcul d'un ouvrage en zone estimée sujet aux séismes, les paramètres ci-dessous constituent la base de calcul pour les actions sismiques:

- **La zone de sismicité:** La zone de sismicité donne référence aux caractéristiques associées au séisme dans un milieu donné. Ce paramètre fait donc référence aux caractéristiques des séismes fréquents dans un milieu (sismicité très faible, faible, modérée, moyenne ou forte). La donnée recherchée dans ce paramètre est l'intensité de l'accélération du mouvement due au séisme. L'accélération de calcul au niveau du sol pour chaque zone sismique, correspond à une période de retour de référence de 475ans.
- **La catégorie d'ouvrage:** Le type d'ouvrage est tenu en compte dans ces calculs au vue que les ouvrages ont différente destination. Ce qui leur confère différent niveau d'importance, accentuant ainsi la rigueur sur la considération de la charge sismique.
- **La classe de sol:** Permet de classer un sol dans un rapport avec son comportement par lequel il transmet des ondes sismiques.

De par la nature du sol et les valeurs des spectres de réponse élastique, ces deux éléments interviennent dans l'évaluation des composantes horizontales du mouvement sismique. L'influence des conditions du site de sol sur l'action sismique doit être prise en compte dans les calculs, généralement en considérant les quatre classes de sol de fondation S_1, S_2, S_3 et S_4 , tel que prévue par la norme algérienne RPA. Ces classes sont décrites par les profils stratigraphiques suivants:

- **Catégorie S_1** (site rocheux): Roche ou autre formation géologique caractérisée par une vitesse moyenne d'onde de cisaillement (V_s) à 800m/s.
- **Catégorie S_2** (site ferme): Dépôts de sables et de graviers très denses et/ou d'argile sur consolidée sur 10 à 20 m d'épaisseur avec V_s 400 m/s à partir de 10 m de profondeur.
- **Catégorie S_3** (site meuble): Dépôts épais de sables et graviers moyennement denses ou d'argile moyennement raide avec V_s 200 m/s à partir de 10 m de profondeur.
- **Catégorie S_4** (site très meuble): Dépôts de sables lâches avec ou sans présence de couches d'argile molle avec $V_s < 200$ m/s dans les 20 premiers mètres; Dépôts d'argile molle à moyennement raide avec $V_s < 200$ m/s dans les 20 premiers mètres.
- **Le coefficient de comportement:** Le coefficient de comportement q est une approximation du rapport entre les forces sismiques que la structure subirait si sa réponse était complètement élastique avec un amortissement visqueux de 5 %, et les forces sismiques minimales qui peuvent être utilisées lors de la conception et du dimensionnement, avec un modèle linéaire conventionnel, en assurant encore une réponse satisfaisante de la structure. Les valeurs du coefficient de comportement q , incluant également l'influence d'amortissements visqueux différents de 5 %, sont indiquées, pour divers matériaux et systèmes structuraux, selon divers niveaux de ductilité, dans les parties concernées de l'ENV 1998. Il met un lien entre le spectre élastique en intégrant l'influence de certains aspects sur la réponse des structures, plus particulièrement la capacité de dissipation d'énergie de la structure en déformations plastiques.
- **L'amplification spectrale:** Dans le domaine d'application de l'ENV 1998, le mouvement dû au séisme à un certain point de la surface du sol, est représenté en général par un spectre de réponse élastique en accélération, dénommé par la suite « spectre de réponse élastique ». L'action sismique horizontale est décrite par deux composantes orthogonales considérées comme indépendantes et représentées par le même spectre de réponse.
- **Le coefficient d'amplification topographique:** Il est pris en compte pour les ouvrages situés en rebord de crête.

Pour atteindre notre objectif, nous avons considéré la structure d'un bâtiment de 10 niveaux que nous avons analysée en suivant les étapes énumérées ci-dessous.

3.3.2 MODÉLISATION DE LA STRUCTURE

Rappelons que le nombre de degrés de liberté d'un système est le nombre de composantes du déplacement requises pour exprimer les forces d'inertie se développant dans celui-ci. Ces déplacements sont évalués en un nombre des points de la structure, appelés nœuds où sont concentrées les masses. Dans le cas le plus général, un nœud possède six mouvements possibles (3 translations et 3 rotations) et le nombre de degrés de liberté du système est égal à $N=6p$ où p est nombre de nœuds.

Dans le cas des bâtiments multiétages (Figure 22), les planchers peuvent être considérés comme infiniment rigide (diaphragme), la cinématique d'un niveau de plancher est décrite par le mouvement d'un de ses points; on aboutit au modèle « brochette » (Figure 23), dans lequel la masse d'un niveau est concentrée en un point (centre de gravité du plancher) (EC8 art 3.3.1.3) et la raideur en flexion-cisaillement d'un étage est égale à la somme des raideurs des poteaux de ce dernier. Le nombre de degrés de liberté a été réduit en l'occurrence à $2p=6$. On utilisera un modèle pour chaque direction principale (X et Y).

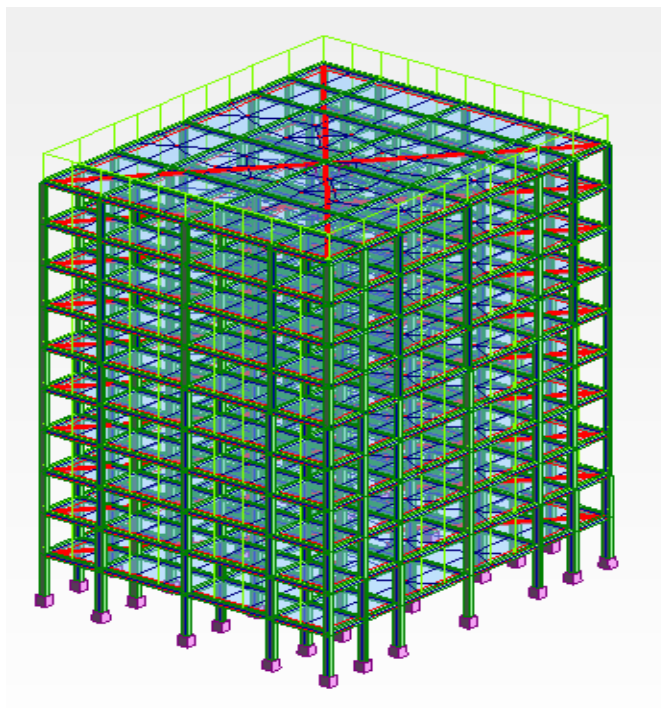


Fig. 22. Vue 3D de la structure du bâtiment

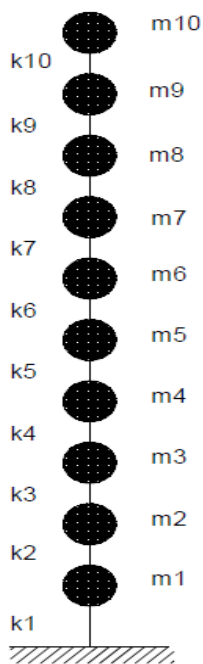


Fig. 23. Modélisation en brochette du bâtiment

3.3.3 ANALYSE STATIQUE

Les caractéristiques des éléments surfaciques sont présentées dans le tableau 3 tandis que celles des éléments en barres sont présentées dans le tableau 4.

Tableau 3. Caractéristiques des éléments surfaciques

Type	Nombre	Epaisseur (cm)	Poids unitaire (kg/m ²)	Surface (m ²)	Poids total (kg)
BETON 20					
DALLE 10	1	10	250,14	480	120065
DALLE 12	9	12	300,16	4320	1296707
Totaux nets				4800	1416772

Tableau 4. Caractéristiques des éléments en barre

Type	Nombre	Longueur (m)	Poids unitaire (kg/m)	Poids pièce (kg)	Poids total (kg)
BETON 20					
POTEAUX 30 x 30 cm	141		225,12	95226,92	95227
POTEAUX 30 x 40 cm	139	417	300,16	125168,25	125168
POTEAUX 30 x 50 cm	70	210	375,2	78792,96	78793
POUTRES 20 x 35 cm	580	2600	175,1	455248,22	455248
Total net					754436

3.3.4 CALCUL DE LA RIGIDITÉ DES ÉTAGES

La rigidité k_{ij} d'un poteau est calculée par la relation 1:

$$k_{ij} = \frac{12EI}{h^3} \quad [1]$$

Avec k_{ij} la rigidité du poteau i au niveau j , E le module de Young instantané du béton et I le moment quadratique de la section et h la hauteur d'étage. La rigidité d'un étage (relation 2) est obtenue en faisant la somme des rigidités des poteaux, soit:

$$k_j = \sum_{i=1}^n k_{ij} \quad [2]$$

Avec k_j la rigidité de l'étage j et n le nombre des poteaux de l'étage considéré.

Les rigidités ainsi calculées (Tableau 5) doivent tenir compte de la fissuration des éléments en béton (EC8 art.4.3.1). A défaut d'une analyse plus détaillée, la rigidité élastique à la flexion et au cisaillement des éléments en béton armé (relation 3) est prise égale à la moitié de la rigidité des éléments non-fissurés (ErickRingot, 2014). Nous avons donc comme rigidité des sections fissurées:

$$k_j = 0,5 \times \sum_{i=1}^n k_{ij} \quad [3]$$

Tableau 5. Rigidités flexionnelles d'étages dans les deux directions

Rigidités des étages en N/mx10 ⁶		
Etage/direction	OX	OY
Rdc	262,5	729,16
Etage 1	262,5	729,16
Etage 2	210	373,33
Etage 3	210	373,33
Etage 4	210	373,33
Etage 5	210	373,33
Etage 6	157,5	157,5
Etage 7	157,5	157,5
Etage 8	157,5	157,5
Etage 9	157,5	157,5

3.3.5 CALCUL DES MASSES SISMIQUES DES NIVEAUX

Les effets d'inertie de l'action sismique de calcul doivent être évalués en comptant toutes les masses présentes dans la structure au moment du séisme et qui vont osciller avec celle-ci. On doit chercher à établir la valeur la plus probable de la masse totale m ou «masse sismique» de la structure et non une surestimation de cette masse car la résultante de cisaillement en base de la structure est fonction des périodes T , qui sont fonction de m . La masse sismique d'un niveau est une somme du poids propre G et d'une fraction des charges variables $\psi_{Ei} \cdot Q_{k,i}$ dans laquelle $\psi_{Ei} = \varphi \cdot \psi_{2i}$. Nous avons donc la relation 4:

$$m_i = \sum G_{k,j} + \sum \psi_{Ei} \cdot Q_{k,i} \quad [4]$$

Les coefficients φ et ψ_{2i} sont donnés dans l'EC8 partie 1-2. Nous prenons $\varphi = 0.8$ et $Q_{k,i} = 1,5 \frac{kN}{m^2}$ pour les étages, $\varphi = 1.0$, $Q_{k,i} = 1 \frac{kN}{m^2}$ pour le toit et $\psi_{2i} = 0.3$ (Cat.A: résidence). Nous obtenons les valeurs du tableau 6.

Tableau 6. Masses sismiques des niveaux

x kg x10 ³			
Etage/cas de charge	Poids propre(G)	Charges variables(Q)	Masses m_i
Coefficients ψ_{Ei}	1,00	0,24 et 0,30(étage 9)	
Rdc	226,20	17,28	243,50
Etage 1	222,30	17,28	239,60
Etage 2	218,31	17,28	235,60
Etage 3	218,31	17,28	235,60
Etage 4	218,31	17,28	235,60
Etage 5	214,36	17,28	231,64
Etage 6	210,43	17,28	227,71
Etage 7	210,43	17,28	227,71
Etage 8	210,43	17,28	227,71
Etage 9	175	14,40	189,40
Totale			2294,07

3.3.6 CALCUL DES CARACTÉRISTIQUES DYNAMIQUES DE LA STRUCTURE

Nous écrivons les équations de mouvement non amorti pour chaque degré de liberté (DDL) de la structure de façon à obtenir un système de N équations différentielles dont les inconnues sont les N déplacements aux nœuds.

On obtient sous forme matricielle l'équation 5:

$$[M][\ddot{u}] + [K][u] = [F] \quad [5]$$

Où $[M]$ est la matrice des masses, $[K]$ la matrice des rigidités, $[u]$ le vecteur des déplacements et $[F]$ un vecteur force donné par l'équation 6:

$$[F] = -a_g [M^A] \quad [6]$$

$[M^A]$ est un vecteur colonne comportant des termes de masse dépendant du modèle utilisé (masse concentrée ou cohérente) et de la direction du séisme (horizontale ou verticale) exprimé par l'équation 7:

$$[M^A] = [M][\Delta] \quad [7]$$

3.3.7 DÉTERMINATION DES MODES ET VALEURS PROPRES

On démontre que le problème revient à résoudre l'équation 8:

$$([K] - \omega_i^2 [M])[D_i] = [0] \quad [8]$$

Avec ω_i la valeur propre et $[D_i]$ le vecteur propre associé ou mode propre.

Une solution non triviale est obtenue pour $[D_i] \neq 0$ en faisant le $\det([K] - \omega_i^2[M]) = 0$

3.3.7.1 CONSTRUCTION DE LA MATRICE DE RIGIDITÉ DE LA STRUCTURE [K]

Pour construire la matrice de rigidité, nous imposons un déplacement unitaire à chaque degré de liberté (DDL) en lui appliquant une force égale à la somme des rigidités adjacentes. Ensuite, nous écrivons l'équilibre du système de façon à maintenir nulles autres DDL. Les valeurs des forces appliquées sont portées sur une ligne de la matrice. Nous obtenons une matrice en bande de dimension (NxN), symétrique (*théorème de Maxwell-Betti*). Nous avons pour le cas présent, les matrices suivantes dans les deux directions principales Tableau 7 et tableau 8:

Tableau 7. Matrice de rigidité de la structure dans la direction OX5 ($\times 10^9\text{N/m}$)

0,525	-0,2625	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,2625	0,4725	-0,21	0	0	0	0	0	0	0
0	-0,21	0,42	-0,21	0	0	0	0	0	0
0	0	-0,21	0,42	-0,21	0	0	0	0	0
0	0	0	-0,21	0,42	-0,21	0	0	0	0
0	0	0	0	-0,21	0,3675	-0,1575	0	0	0
0	0	0	0	0	-0,1575	0,315	-0,1575	0	0
0	0	0	0	0	0	-0,1575	0,315	-0,1575	0
0	0	0	0	0	0	0	-0,1575	0,315	-0,1575
0	0	0	0	0	0	0	0	-0,1575	0,1575

Tableau 8. Matrice de rigidité de la structure dans la direction OY6 ($\times 10^9\text{N/m}$)

1,4583	-0,7292	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,7292	1,1025	-0,3733	0	0	0	0	0	0	0
0	-0,3733	0,7467	-0,3733	0	0	0	0	0	0
0	0	-0,3733	0,7467	-0,3733	0	0	0	0	0
0	0	0	-0,3733	0,7467	-0,3733	0	0	0	0
0	0	0	0	-0,3733	0,5308	-0,1575	0	0	0
0	0	0	0	0	-0,1575	0,315	-0,1575	0	0
0	0	0	0	0	0	-0,1575	0,315	-0,1575	0
0	0	0	0	0	0	0	-0,1575	0,315	-0,1575
0	0	0	0	0	0	0	0	-0,1575	0,1575

3.3.7.2 MATRICE DE MASSE [M]

Pour simplifier le problème lié à la résolution du système d'équation différentielle, le mouvement de la structure est décomposé dans une base des modes propres d'un système non amorti. Dans cette base, la structure se comporte comme la superposition d'oscillateurs simples indépendants. Ce découplage inertiel a pour avantage de permettre l'utilisation d'une matrice de masse diagonale que nous présentons dans le tableau 9.

Tableau 9. Matrice de masse de la structure ($\times 10^3 \text{kg}$)

243.50	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	239.6	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	235.6	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	235.6	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	235.6	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	231.64	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	227.71	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	227.71	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	227.71	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	189.4

3.3.7.3 MATRICE MODALE [D] ET PÉRIODES PROPRES T_i

Dans ce travail, nous avons utilisé la fonction « eig » de MATLAB (*The Mathworks Inc., 2007*) pour calculer les pulsations et les vecteurs propres. Les valeurs obtenues sont présentées dans les tableaux 10 à 13.

Tableau 10. Matrice modale du système dans la direction OX8

Mod1	Mode2	Mode3	Mode4	Mode5	Mode6	Mode7	Mode8	Mode9	Mode10
0,0947	0,2635	0,4593	-0,5428	0,6377	-0,5404	0,58	-0,4406	-0,6693	-0,7687
0,1874	0,4861	0,7205	-0,6679	0,5059	-0,1977	-0,0607	0,1701	0,5913	0,9922
0,2987	0,6713	0,6648	-0,1923	-0,4096	0,628	-0,7045	0,4343	0,0699	-0,8227
0,4026	0,7303	0,2623	0,4623	-0,7274	0,2125	0,4452	-0,5549	-0,6954	0,637
0,4966	0,652	-0,2771	0,6867	0,0164	-0,623	0,4615	0,0573	0,9646	-0,4387
0,5785	0,4511	-0,6719	0,2721	0,7362	-0,2271	-0,6971	0,5042	-0,7396	0,2318
0,669	0,0719	-0,7388	-0,6126	0,2874	0,8892	0,0845	-0,8074	0,3697	-0,0837
0,7383	-0,3246	-0,309	-0,7627	-0,702	-0,2593	0,5889	0,8838	-0,1826	0,0302
0,7843	-0,6425	0,3285	0,0019	-0,3712	-0,7473	-0,8386	-0,7119	0,0857	-0,0107
0,8055	-0,8047	0,7451	0,7642	0,6577	0,6681	0,4851	0,3401	-0,0313	0,0033

Tableau 11. Périodes propres de vibration du système dans la direction OX9

1,3426									
	0,4850								
		0,2912							
			0,2180						
				0,1741					
					0,1496				
						0,1318			
							0,1238		
								0,1126	
									0,1054

Tableau 12. Matrice modale du système dans la direction OY 10

Mod1	Mode2	Mode3	Mode4	Mode5	Mode6	Mode7	Mode8	Mode9	Mode10
0,044	0,126	0,1873	-0,3477	0,2708	-0,3137	0,4465	-0,4558	0,2757	0,9984
0,0875	0,2421	0,3318	-0,5574	0,3851	-0,3775	0,4922	-0,2792	0,0295	-0,8696
0,1703	0,4327	0,4686	-0,5419	0,1804	0,0759	-0,2678	0,8103	-0,5586	0,2801
0,2491	0,5593	0,4033	-0,1199	-0,2214	0,415	-0,5734	-0,2251	0,8519	-0,0901
0,3219	0,6033	0,1641	0,392	-0,3813	0,1293	0,0939	-0,6702	-0,7857	0,0284
0,3871	0,5583	-0,1459	0,6099	-0,1246	-0,3511	0,6019	0,6422	0,3878	-0,0073
0,5203	0,2594	-0,734	0,0601	0,8011	-0,2578	-0,574	-0,1717	-0,0643	0,0007
0,6251	-0,1272	-0,597	-0,593	-0,2784	0,7248	0,4814	0,0459	0,0107	-0,0001
0,696	-0,4708	0,1298	-0,2271	-0,661	-0,7927	-0,3345	-0,0122	-0,0018	0
0,7289	-0,6551	0,7284	0,529	0,611	0,4241	0,1498	0,0031	0,0003	0

Tableau 13. Périodes propres de vibration du système dans la direction OY

1,02383345									
	0,41055848								
		0,24023682							
			0,18215709						
				0,15092884					
					0,12856994				
						0,12111426			
							0,0974217		
								0,08340388	
									0,06772713

3.3.8 DÉTERMINATION DES MASSES ET DES FACTEURS DE PARTICIPATION MODALES

Les facteurs de participation modale sont calculés par la relation 9:

$$[\alpha] = \frac{[D]^T[M][\Delta]}{[D]^T[M][D]} \quad [9]$$

Avec $[D]$ la matrice modale (dimension $N \times N$) et $[\Delta]$ un vecteur unitaire de la direction étudiée dont les composantes sont égales à 1 pour les DDL correspondant à des déplacements dans cette direction. Les valeurs calculées sont présentées dans le tableau 14 suivant OX et le tableau 15 suivant OY dans les deux directions de calcul.

Tableau 14. Facteurs de participation modale suivant OX

Mode1	Mode2	Mode	Mode4	Mode5	Mode6	Mode7	Mode8	Mode9	Mode10
1,635	0,594	0,373	-0,247	0,185	-0,115	0,096	-0,064	-0,081	-0,081

Tableau 15. Facteurs de participation modale suivant OY

Mode1	Mode2	Mode	Mode4	Mode5	Mode6	Mode7	Mode8	Mode9	Mode10
1,920	0,883	0,449	-0,479	0,256	-0,215	0,272	-0,179	0,079	0,190

Les masses modales effectives sont ensuite calculées par les relations 10 et 11:

$$\tilde{M}_i = \alpha_i^2 M_i^* \quad [10]$$

$$\text{Avec } M_i^* = [D_i]^T[M][D_i] \quad [11]$$

Une masse généralisée du système, calculée avec l'un des modes propres du système non amorti. En considérant le premier mode propre nous obtenons relation 12:

$$M_{iOX}^* = 6,944 \times 10^5 kg \quad [12]$$

Les masses modales effectives suivant OX sont présentées dans le tableau 16 tandis que celles suivant OY sont présentées dans le tableau 17.

Tableau 16. Masses modales effectives suivant OX

	Masse modale en kg x10 ³	Masse modale en%
Mode1	1857,63	80,97
Mode2	245,27	10,69
Mode3	96,80	4,219
Mode4	42,48	1,85
Mode5	23,84	1,03
Mode6	9,33	0,406
Mode7	6,48	0,282
Mode8	2,91	0,126
Mode9	4,60	0,200
Mode10	4,65	0,203
Totaux	2294,03	100

$$M_{iOY}^* = 4,44 \times 10^5 kg$$

Tableau 17. Masses modales effectives suivant OY

	Masse modale en kg x10 ³	Masse modale en %
Mode1	1638,54	71,42
Mode2	346,92	15,12
Mode3	89,84	3,91
Mode4	102,38	4,46
Mode 5	29,27	1,27
Mode 6	20,68	0,90
Mode7	32,99	1,43
Mode8	14,39	0,62
Mode9	2,82	0,12
Mode10	16,12	0,70
Totaux	2294	100

3.3.9 DÉTERMINATION DU SPECTRE DE RÉPONSE DU SITE D'IMPLANTATION DE L'OUVRAGE

Le spectre de réponse est fonction de l'accélération de calcul a_g , du type de site, du comportement élastique, en ductilité limitée ou ductile de la structure et du coefficient de comportement associé. En République Démocratique du Congo, aucune institution ne s'est penchée sur la question afin de produire des spectres des réponses locales utilisables pour les besoins de dimensionnement parasismique. Cependant, il y a lieu d'utiliser un spectre de réponse règlementaire en choisissant une classe de sol similaire à celui sur lequel l'ouvrage est implanté. L'Eurocode 8 introduit deux sortes de spectres de réponse:

3.3.9.1 SPECTRES ÉLASTIQUES (NF EN 1998-1 ARTICLE 3.2.2.2)

Ce type de spectre est employé pour les structures rigides en région de faible sismicité où il n'y a aucun risque d'incursion des matériaux dans leur domaine de fonctionnement plastique ou d'endommagement. La structure a un pur comportement viscoélastique. La dissipation d'énergie est uniquement visqueuse et caractérisée par un facteur d'amortissement ξ .

$$0 \leq T \leq T_B: S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C: S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5$$

$$T_C \leq T \leq T_D: S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right]$$

$$T_D \leq T \leq 4 \text{ s}: S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right]$$

$S_e(T)$: Spectre de réponse élastique (en pseudo-accélération)

T : période fondamentale de vibration d'un système à un seul degré de liberté

a_g : accélération de calcul pour un sol de classe A: $a_g = \gamma a_{gR}$

γ : coefficient d'importance du bâtiment

S : paramètre du sol

T_B : limite inférieure des périodes correspondant au palier d'accélération spectrale constante

T_C : limite supérieure des périodes correspondant au palier d'accélération spectrale constante

T_D : valeur de période définissant le début de la branche à déplacement spectral constant

η : valeur du coefficient de correction d'amortissement visqueux déterminée par:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi\%}} \geq 0,55$$

3.3.9.2 SPECTRE DE RÉPONSE DE CALCUL (NF EN 1998-1 ARTICLE 3.2.2.5)

Ce spectre est employé lorsque la conception de la structure prévoit une dissipation d'énergie par mobilisation de la ductilité caractérisée par un coefficient de comportement q . C'est ce type de spectre que nous utilisons dans ce travail car nous effectuons une analyse modale spectrale.

$$0 \leq T \leq T_B: S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C: S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q}$$

$$T_C \leq T \leq T_D: S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \geq \beta \cdot a_g$$

$$T_D \leq T: S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \geq \beta \cdot a_g$$

q : coefficient de comportement déterminé par: $q = q_o \cdot k_w \geq 1,5$

q_o : valeur de base du coefficient de comportement

k_w : coefficient reflétant le mode de rupture prédominant

$$\beta = 0,2$$

$$a_g = \gamma a_{gR}$$

$\gamma = 1,2$ Pour les bâtiments importants de catégorie III (EC8 art.4.2.5)

$a_{gR} = 1,3 \frac{m}{s^2}$ pour les villes de Goma et Bukavu (figure1)

Les valeurs de q_o et sont k_w données respectivement dans les tableaux 5.1 et 5.2 de l'article 5.2.2.2 de l'EC8. Pour cette étude, nous obtenons les valeurs suivantes:

$q_o = 1,5$: classe de ductilité limité (DCL)

$k_w = 1,3$: ossatures à plusieurs travées de plusieurs niveaux

$$q = 1,95$$

Les classes de sol et les paramètres associés sont présentés dans le tableau 18.

Tableau 18. Classes de sol et paramètres associés (Source: Eurocode 8)

Classe de sol	S	$T_B(s)$	$T_C(s)$	$T_D(s)$
A	1	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

3.3.10 DÉFINITION DU NOMBRE DE MODES REPRÉSENTATIFS À PRENDRE EN COMPTE DANS L'ANALYSE

L'article 3.3.3.1 de l'EC8, à son alinéa (5) P exige que les réponses de tous les modes de vibration contribuant de façon significative à la réponse globale de la structure soient considérées. Pour cela il faut s'assurer que, la somme des masses modales effectives pour les modes considérés atteint au moins 90% de la masse totale de la structure ou que tous les modes dont la masse modale effective est supérieur à 5% de la masse totale sont pris en compte. Pour notre cas seuls deux modes de vibration ont été retenus dans les deux directions de calcul.

3.3.11 RECHERCHE DE LA RÉPONSE MAXIMALE MODE PAR MODE

À partir du spectre de réponse et des caractéristiques vibratoires de l'ouvrage (période T_i et amortissement ξ), nous déterminons l'ordonnée du spectre de réponse qui entre dans le calcul de la réponse recherchée. La réponse maximale en termes de force sismique est obtenue à chaque nœud et pour chaque mode par la relation 13:

$$F_{max} = \alpha_i [M] D_i S_d(T_i) \quad [13]$$

F_{max} : teur force du mode i

$S_e(T_i)$: Ordonnée du spectre de réponse en pseudo-accélération

α_i : Facteur de participation modale du mode i

D_i : Vecteur propre du mode i

Les déplacements max sont ensuite calculés par la relation 14:

$$d_{max} = q \alpha_i D_i \frac{S_d(T_i)}{\omega_i^2} \quad [14]$$

d_{max} est le vecteur déplacement du mode i

3.3.12 CUMUL DES MODES SELON LA COMBINAISON ADÉQUATE ET DÉDUCTION DES EFFORTS ET DÉPLACEMENTS DANS LA STRUCTURE

Etant donné que les maximas des réponses de tous les modes ne se produisent pas au même moment, on ne peut pas faire une addition simple des réponses. On utilise à cet effet une combinaison dite « quadratique complète » (CQC). La réponse combinée de tous les modes est donnée par les relations 15 et 16:

$$R^{max} = \sqrt{\sum_{i,j=1..N} \beta_{ij} \times R_i^{max} \times R_j^{max}} \quad [15]$$

$$\beta_{ij} = \frac{8\xi^2(1 + \rho_{ij})\rho_{ij}^{3/2}}{(1 - \rho_{ij}^2)^2 + 4\xi^2\rho_{ij}(1 + \rho_{ij})^2} \quad [16]$$

Avec $\rho_{ij} = \frac{T_i}{T_j}$ et

$\xi = \xi_i = \xi_j$: L'amortissement (pris uniformément pour tous les modes)

N : Nombre de modes

R_i^{max} : Réponse maximale du mode i

R_j^{max} : Réponse maximale du mode j

β_{ij} : Coefficient de corrélation entre les modes i et j

Le coefficient de corrélation tend rapidement vers zéro lorsque les périodes de deux modes diffèrent de plus de 10%. Cela étant, nous pouvons négliger les termes de couplage des modes, ce qui nous ramène à la combinaison quadratique « simple » (combinaison **SRSS**: *Square Root of the Sum of the Squares*) de la relation 17.

$$R^{max} = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 + R_3^2 + \dots + R_n^2} \quad [17]$$

Dans notre cas, pour les deux modes retenus, on peut aisément vérifier que les deux périodes diffèrent de plus de 10%.

$$\frac{T_j}{T_i} = \frac{0,485}{1,342} = 0,36 \leq 0,9 \text{ Pour la direction OX}$$

$$\frac{T_j}{T_i} = \frac{0,410}{1,023} = 0,40 \leq 0,9 \text{ Pour la direction OY}$$

Nous retenons donc la combinaison quadratique « simple »

3.4 FONCTIONS DE RÉGRESSION

3.4.1 INTRODUCTION

Les fonctions de régression permettant d'établir les relations entre les indicateurs, c'est une étape essentielle pour évaluer la cohérence des modèles et des méthodes de calcul. Ces relations sont établies à travers l'utilisation de fonctions de régression appliquées aux séries statistiques doubles (Draper & Smith, 1998). L'objectif est de mettre en évidence les correspondances entre: Les déplacements et efforts tranchants des masses de niveaux d'une même structure construite sur des sols de classes différentes (A et C); Les résultats obtenus par la méthode simplifiée (méthode des brochettes) et ceux issus du calcul automatique par logiciel (Montgomery, Peck & Vining, 2012); Les relations entre les déplacements et les efforts tranchants associés.

3.4.2 DONNÉES STATISTIQUES

Les données seront constituées des déplacements horizontaux ainsi que des efforts tranchants enregistrés pour différents niveaux de la structure étudiée. Trois comparaisons principales seront effectuées: Déplacements et efforts tranchants sur sol de classe A vs sol de classe C; Déplacements et efforts tranchants sur sol de classe A: Comparaison entre méthode des brochettes et Robot Structural Analysis; Déplacements et efforts tranchants sur sol de classe C: comparaison entre méthode des brochettes et Robot Structural Analysis.

Ces données permettent d'exploiter des modèles statistiques de régression adaptés pour analyser la corrélation entre les résultats (INS, 2015).

3.4.3 OUTILS STATISTIQUES

3.4.3.1 NUAGE DE POINTS ET POINT MOYEN

On considère deux variables statistiques x et y observées sur la même population de n individus. Les couples (x_i, y_i) , $i = 1, 2, \dots, n$, définissent une série statistique à deux variables (Montgomery et al., 2012).

- Le nuage de points est l'ensemble des points $M_i (x_i, y_i)$.
- Le point moyen G a pour coordonnées: $\bar{x} = (1/n) \sum x_i$, $\bar{y} = (1/n) \sum y_i$

3.4.3.2 AJUSTEMENT AFFINE (RÉGRESSION LINÉAIRE)

Lorsque les points d'un nuage sont sensiblement alignés, on peut approcher leur tendance par une droite dite droite de régression (Draper & Smith, 1998):

$$y = Ax + B$$

➤ Calcul manuel des coefficients:

$$A = \frac{\sum(x - \bar{x})\overline{y - (y)}}{\sum(x - \bar{x})^2}$$

$$B = \bar{y} - A\bar{x}$$

➤ Calcul automatique (par calculatrice):

✚ **TI 83:** STAT → Edit → L1, L2 → STAT → CALC → LinReg (ax+b)

✚ **CASIO:** Menu STAT → entrer valeurs (List1, List2) → CALC → REG → Ax+b

✚ **SHARP:** Mode STAT → LINE → entrer données x_i, y_i → RCL a, RCL b

➤ Validité de l'ajustement:

Le coefficient de corrélation $r(x, y)$ permet d'évaluer la force de la relation:

$$r(x, y) = \frac{cov(x, y)}{\sqrt{var(x) * var(y)}}$$

C'est un nombre compris entre -1 et 1 qui mesure la relation entre les deux variables x et y .

Plus le coefficient de corrélation est proche des valeurs extrêmes -1 et 1, plus la corrélation linéaire entre les variables est forte.

- Si $r(x, y) > 0$, les valeurs prises de y ont tendances à croître quand les valeurs de x augmentent
- Si $r(x, y) < 0$, les valeurs prises par y ont tendances à décroître quand les valeurs de x augmentent
- Si $r(x, y) = 0$, absence totale de corrélation: les variations des variables x et y sont indépendantes.

➤ Ajustement quadratique (régression polynomiale du second degré):

➤ On cherche une fonction polynomiale du second degré:

$$y = Ax^2 + Bx + C$$

Calcul manuel des coefficients:

$$\Sigma y = A\Sigma x^2 + \Sigma Bx + n.C$$

$$\Sigma xy = A\Sigma x^3 + B\Sigma x^2 + C\Sigma x$$

$$\Sigma x^2 y = A\Sigma x^4 + B\Sigma x^3 + C\Sigma x^2$$

Forme matricielle de la régression quadratique:

$$\begin{bmatrix} \Sigma x^2 & \Sigma x & n \\ \Sigma x^3 & \Sigma x^2 & \Sigma x \\ x^4 & \Sigma x^3 & \Sigma x^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma y \\ \Sigma xy \\ \Sigma yx^2 \end{bmatrix}$$

Calcul automatique (par calculatrice):

✚ **TI 83:** STAT → CALC → QuadReg

✚ **GRAPH 100:** Menu REGQuad

✚ **SHARP:** Mode STAT → QUAD → entrer données → coefficients a, b, c

4 RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 RÉSULTAT DE L'ANALYSE STATIQUE

L'analyse statique a été effectuée par le logiciel Robot structural Analysis

4.1.1 DIMENSIONNEMENT DU POTEAU

La charge $N_u = 2683,82$ kN obtenue après descente de charge dans le logiciel ROBOT nous ont permis d'obtenir la section du Poteau qui est de 30cm x 50cm.

a) Données de base

- Classe armatures: HA 500
- Enrobage: 3.0 (cm)
- Classe: Béton 25 $\Rightarrow f_{c28} = 25 \text{ MPa}$
- Calculs suivants: BAEL 91 modifié 99
- hauteur sous dalle: 3.18 m
- Fissuration: peu préjudiciable

b) Ferrailage

- Armatures Principales: 8HA16
- Armatures Transversales: HA8

Les résultats du dimensionnement des poteaux sont présentés dans le tableau 19.

Tableau 19. Résultat dimensionnement poteau

Section en cm ²	N_u en kN	α	B_r en m ²	$A_{th} = \left(\frac{Nu}{\alpha} - \frac{Br \cdot f_{c28}}{0,9 \cdot \gamma_b} \right) \frac{\gamma_s}{f_e}$ En cm ²	A_s réelle en cm ²
30X50	2683,82	0.59	0.1344		49.09
Choix d'armatures	8 HA 16				

4.1.2 DIMENSIONNEMENT DES SEMELLES

Données de base

Les résultats présentés ici reprennent les notes de calcul de la semelle sous le Poteau le plus chargé. Les données de base sont les suivantes:

- Norme pour les calculs en béton armé: BAEL 91 modifié 99
- Norme pour les calculs géotechniques: DTU 13.12
- Type: semelle isolée
- Contrainte du sol pour un sol rocheux (Goma): 1,5 MPa
- Contrainte du sol pour un sol Argileux (Bukavu): 0,6 MPa

Caractéristique des matériaux

- Résistance caractéristique du béton à 28 jours = 25,00 MPa
- Nuances: HA 500

Les résultats du dimensionnement des semelles isolées sous poteaux sont présentés dans le tableau 20 pour le sol de type A de Goma et le tableau 21 pour le sol de type C de Bukavu.

Tableau 20. Résultat dimensionnement semelle (sol du type A) à Goma

SEMELLE ISOLEE SOUS POTEAU (SOL DE CLASSE A) A GOMA		
	Sens des X	Sens des Y
Surface AXB cm ²	200X200	
N_u En kN	2698.72	
N_{ser} En kN	1938.04	
σ_{adm} du sol en MPa	1,5	
h en cm	60	
$A_a = \frac{P_u (A - a)}{8 d \sigma_s} * 1,1 = A_b$ en cm ²	13,04	13,43
Hauteur des patins en cm	25	25
Choix d'armatures	17HA 14	14HA 16

Tableau 21. Résultat dimensionnement semelle (sol du type C) à Bukavu

SEMELLE ISOLEE SOUS POTEAU (SOL DE CLASSE C) A BUKAVU		
	Sens des X	Sens des Y
Surface AXB cm ²	340X340	
N _u En kN	2698.72	
N _{ser} En kN	1938.04	
σ _{adm du sol} en MPa	1,5	
h en cm	75	
$A_a = \frac{P_u (A - a)}{8 d \sigma_s} * 1,1 = A_b$ en cm ²	10,88	11,13
Hauteur des patins en cm	25	25
Choix d'armatures	25HA 14	25HA 14

4.1.3 DIMENSIONNEMENT DE LA POUTRE

Les hypothèses de calculs de dimensionnement qui vont nous permettre de dimensionner la poutre sont les suivantes:

a) Données de base

- Calcul suivant: BAEL 91 modifié 99
- Enrobage des aciers inférieurs et supérieurs: c=3,0cm
- Fissuration: peu préjudiciable
- Tenue au feu: forfaitaire

Les résultats du dimensionnement des poteaux sont présentés dans le tableau 22.

Tableau 22. Résultat dimensionnement poutre continue

	Appuis A et E	Travée AB et DE	Appuis B et D	Travée BC et CD	Appuis C
Calcul des armatures longitudinales					
b en m	0,25				
h en m	0,50				
A _s réelle en cm ²	2HA12	2,26	2,26	2,26	2,26
Choix d'armatures	2HA12	2HA12	2HA12	2HA12	2HA12
Calcul des armatures transversales					
Choix d'armatures	2HA6				

4.2 RÉSULTAT DE L'ANALYSE DYNAMIQUE

Nous présentons les résultats pour la direction de calcul OX

4.2.1 SOL DE CLASSE A: VILLE DE GOMA

Pour les deux modes de vibration retenue, nous utiliserons la troisième partie du spectre de réponse car leurs périodes sont comprises entre T_C et T_D .

$$T_C \leq T \leq T_D: S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \geq \beta \cdot a_g$$

$$S_d(T) = 1,56 \times 1 \times \frac{2,5}{1,95} \times \left[\frac{0,4}{T} \right] = \frac{0,8}{T} = \frac{0,8}{1,34} = 0,597 \geq 0,312 \frac{m}{s^2}$$

$$S_d(T) = 1,56 \times 1 \times \frac{2,5}{1,95} \times \left[\frac{0,4}{T} \right] = \frac{0,8}{T} = \frac{0,8}{0,485} = 1,649 \geq 0,312 \frac{m}{s^2}$$

Les résultats pour le premier et second mode de vibration sont respectivement présentés dans les tableaux 23 et 24 et la combinaison SRSS des réponses modales présentée dans le tableau 25.

Tableau 23. Résultats de calcul pour le premier mode de vibration (Mode1: $S_d(T) = 0,597 \frac{m}{s^2}$)

	$F_{max}(kN)$	$d_{max}(cm)$	Effort tranchant (kN)
Rdc	22,497	0,8227	1108,633
Etage 1	43,825	1,6287	1086,136
Etage 2	68,681	2,5957	1042,311
Etage 3	92,579	3,4988	973,63
Etage 4	114,205	4,3162	881,051
Etage 5	130,792	5,0275	766,846
Etage 6	148,692	5,8142	636,054
Etage 7	164,108	6,4170	487,362
Etage 8	174,333	6,8169	323,254
Etage 9	148,921	7,0011	148,921

Tableau 24. Résultats de calcul pour le deuxième mode de vibration Mode2: $S_d(T) = 1,649 \frac{m}{s^2}$

	$F_{max}(kN)$	$d_{max}(cm)$	Effort tranchant (kN)
Rdc	62,848	0,300	404,247
Etage 1	114,068	0,553	341,399
Etage 2	154,922	0,765	227,331
Etage 3	168,539	0,832	72,409
Etage 4	150,462	0,743	-96,13
Etage 5	102,342	0,514	-246,592
Etage 6	16,047	0,081	-348,934
Etage 7	-72,399	-0,369	-364,981
Etage 8	-143,301	-0,732	-292,582
Etage 9	-149,281	-0,917	-149,281

Tableau 25. Combinaison des réponses modales (Combinaison SRSS)

	$d_{max}(cm)$	Effort tranchant (kN)
Rdc	0,87569132	1180,035
Etage 1	1,72002113	1138,527
Etage 2	2,70608268	1066,813
Etage 3	3,59636281	976,318
Etage 4	4,3796839	886,279
Etage 5	5,0537067	805,518
Etage 6	5,81476419	725,478
Etage 7	6,42760064	608,878
Etage 8	6,85608851	436,001
Etage 9	7,06089868	210,860

4.2.2 SOL DE CLASSE C: VILLE DE BUKAVU

Pour le premier mode de vibration nous utilisons la troisième partie du spectre de réponse ($T_C \leq T \leq T_D$) et pour le deuxième mode nous utilisons la deuxième partie ($T_B \leq T \leq T_C$).

$$T_B \leq T \leq T_C: S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q}$$

$$S_d(T) = 1,56 \times 1,15 \times \frac{2,5}{1,95} = 2,3 \frac{m}{s^2}$$

$$T_C \leq T \leq T_D: S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \geq \beta \cdot a_g$$

$$S_d(T) = 1,56 \times 1,15 \times \frac{2,5}{1,95} \times \left[\frac{0,6}{1,34} \right] = 1,029 \geq 0,312 \frac{m}{s^2}$$

Les résultats pour le premier et second mode de vibration sont respectivement présentés dans les tableaux 26 et 27 et la combinaison SRSS des réponses modales présentée dans le tableau 28.

Tableau 26. Résultats de calcul pour le premier mode de vibration (Mode1: $S_d(T) = 1,029 m/s^2$)

	F_{max} (kN)	d_{max} (cm)	Effort tranchant (kN)
Rdc	38,777	1,418	1910,86639
Etage 1	75,538	2,807	1872,08896
Etage 2	118,381	4,474	1796,55066
Etage 3	159,572	6,031	1678,17011
Etage 4	196,847	7,439	1518,59814
Etage 5	225,436	8,666	1321,75152
Etage 6	256,289	10,022	1096,31587
Etage 7	282,86	11,061	840,02712
Etage 8	300,484	11,75	557,167264
Etage 9	256,684	12,067	256,683513

Tableau 27. Résultats de calcul (Mode2: $S_d(T) = 2,3 m/s^2$)

	F_{max} (kN)	d_{max} (cm)	Effort tranchant (kN)
Rdc	87,66	0,419	563,842
Etage1	159,101	0,773	476,182
Etage2	216,084	1,067	317,08
Etage3	235,076	1,161	100,996
Etage4	209,863	1,036	-134,08
Etage5	142,745	0,717	-343,943
Etage6	22,383	0,114	-486,688
Etage7	-100,981	-0,516	-509,072
Etage8	-199,874	-1,021	-408,09
Etage9	-208,216	-1,279	-208,216

Tableau 28. Combinaison des réponses modales (Combinaison SRSS)

	d_{max} (cm)	Effort tranchant (kN)
Rdc	1,478	1992,317
Etage 1	2,911	1931,7
Etage 2	4,599	1824,317
Etage 3	6,141	1681,206
Etage 4	7,510	1524,506
Etage 5	8,695	1365,769
Etage 6	10,022	1199,489
Etage 7	11,073	982,242
Etage 8	11,794	690,632
Etage 9	12,134	330,515

4.3 VALIDATION DES RÉSULTATS PAR MODÉLISATION 3D SUR LE LOGICIEL RSAP

Les résultats trouvés par modélisation en brochette sont comparés à ceux obtenus sur un modèle 3D par calcul éléments finis. Les écarts sont considérés positifs lorsque les valeurs trouvées par le logiciel sont inférieures à celles calculées sur un modèle en brochette du bâtiment.

4.3.1 SOL DE CLASSE A: VILLE DE GOMA

Les calculs simplifiés manuels ont été réalisés à l'aide de MatLab sur la modélisation en brochettes tandis que les calculs automatiques ont été réalisés à l'aide de RSAP. La comparaison des résultats des déformations manuellement et automatiquement avec la combinaison SRSS est présentée dans le tableau 29 et celle sur les efforts tranchants est présentée dans le tableau 30.

Tableau 29. Comparaison des résultats des déformations (Combinaison SRSS)

Niveau	Déformation maximale (d_{max}) en cm			
	Modèle simplifié en brochettes (x)	Calcul automatique (y)	Ecart en cm	Ecart (%)
Rdc	0,8757	0,4	+0,4757	+54,32
Etage 1	1,7200	1,0	+0,72	+41,8
Etage 2	2,7060	1,6	+1,106	+40,87
Etage 3	3,5964	2,2	+1,3964	+38,8
Etage 4	4,3767	2,7	+1,6767	+38,3
Etage 5	5,0571	3,2	+1,8571	+36,72
Etage 6	5,8148	3,6	+2,2148	+38,089
Etage 7	6,4276	4,0	+2,4276	+37,76
Etage 8	6,8561	4,2	+2,6561	+38,74
Etage 9	7,0609	4,4	+2,6609	+37,68
Coefficient de Régression = 0,9996				

Tableau 30. Comparaison des résultats des efforts tranchants (Combinaison SRSS)

Niveau	Efforts tranchants (V) en kN			
	Modèle simplifié en brochettes (x)	Calcul automatique (y)	Ecart en kN	Ecart (%)
Rdc	642,63	1180,035	-537,405	-83,62
Etage 1	593,51	1138,527	-545,017	-91,82
Etage 2	554,55	1066,813	-512,263	-92,37
Etage 3	514,62	976,318	-461,698	-89,71
Etage 4	474,07	886,279	-412,209	-86,95
Etage 5	422,37	805,518	-383,142	-90,70
Etage 6	372,74	725,478	-352,738	-94,60
Etage 7	310,90	608,878	-297,978	-95,84
Etage 8	244,80	436,001	-191,201	-78,10
Etage 9	141,56	210,860	-69,30	-48,95
Coefficient de Régression = 0,9968				

4.3.2 SOL DE CLASSE C: VILLE DE BUKAVU

Les calculs simplifiés manuels ont été réalisés à l'aide de MatLab sur la modélisation en brochettes tandis que les calculs automatiques ont été réalisés à l'aide de RSAP. La comparaison des résultats des déformations manuellement et automatiquement avec la combinaison SRSS est présentée dans le tableau 31 et celle sur les efforts tranchants est présentée dans le tableau 32.

Tableau 31. Comparaison des résultats des déformations (Combinaison SRSS)

Niveau	Déformation maximale (d_{max}) en cm			
	Modèle simplifié en brochettes (x)	Calcul automatique (y)	Ecart en cm	Ecart (%)
Rdc	1,478	1,1	+0,378	+25,575
Etage 1	2,911	2,6	+0,311	+10,68
Etage 2	4,599	4,2	+0,399	+8,6
Etage 3	6,141	5,7	+0,441	+7,18
Etage 4	7,510	7,0	+0,51	+6,79
Etage 5	8,695	8,2	+0,495	+5,6
Etage 6	10,022	9,4	+0,622	+6,2
Etage 7	11,073	10,3	0,773	+6,98
Etage 8	11,794	11,0	+0,794	+6,732
Etage 9	12,134	11,5	+0,634	+5,22
Coefficient de Régression = 0,9998				

Tableau 32. Comparaison des résultats des Efforts tranchants (Combinaison SRSS)

Niveau	Efforts tranchants (V) en kN			
	Modèle simplifié en brochettes (x)	Calcul automatique (y)	Ecart en kN	Ecart (%)
Rdc	1992,317	1617,03	+375,287	+18,83
Etage 1	1931,700	1539,51	+392,19	+20,3
Etage 2	1824,317	1428,75	+395,567	+21,68
Etage 3	1681,206	1316,56	+364,646	+21,68
Etage 4	1524,506	1208,56	+315,946	+20,72
Etage 5	1365,769	1094,47	+271,299	+19,86
Etage 6	1199,489	979,06	+220,429	+18,37
Etage 7	982,242	834,65	+147,592	+15,02
Etage 8	690,632	638,99	+51,642	+7,47
Etage 9	336,515	341,56	-5,045	-1,49
Coefficient de Régression = 0,998				

Les résultats trouvés par l'analyse modale spectrale sur un modèle en brochette du bâtiment sont donc assez conservateurs pour être utilisés en pratique.

4.4 DISCUSSION DES RÉSULTATS

4.4.1 RELATION ENTRE LES DÉPLACEMENTS LATÉRAUX DES NIVEAUX DU BÂTIMENT SITUÉ SUR LES SOLS DE TYPE A ET C

4.4.1.1 MÉTHODE AUTOMATIQUE

➤ Régression linéaire

L'analyse de régression linéaire effectuée entre les déplacements latéraux de niveaux de la structure pour les deux types de sol (A et C), en se basant sur les résultats issus du calcul automatique montre une forte corrélation entre les deux séries, ce qui permet de prédire la réponse en sol C à partir de celle en sol A avec une bonne précision.

Cela signifie que le sol de type C amplifie en moyenne 2,5 fois les déplacements par rapport au sol de type A. Cette corrélation peut être utilisée comme l'outil d'estimation dans la phase de pré dimensionnement.

➤ Régression polynômiale (degré 2)

L'ajustement par un polynôme du second degré montre une légère courbure dans la réponse, surtout pour les valeurs élevées de déplacement. Ce modèle affine encore mieux la prédiction des déplacements en sol C à partir du sol de classe A, surtout pour les étages supérieurs.

4.4.1.2 MÉTHODE SIMPLIFIÉE EN BROCHETTE

➤ Régression linéaire

Les résultats de l'analyse statistique entre les déplacements latéraux obtenus par le calcul simplifié pour les sols de type A et ceux du sol de type C mettent une corrélation linéaire très forte avec un coefficient de corrélation $R = 0,998$, cela traduit une relation quasi-parfaite entre les deux séries des données.

Ce qui implique que les déplacements latéraux étudiés pour un bâtiment implanté dans l'un des sols peuvent être estimés à partir de l'autre.

➤ Régression par un polynôme quadratique

Cet ajustement donne le résultat très proche de celui du modèle linéaire. Toute cette légère amélioration n'est pas significative, ce qui confirme la pertinence et la suffisance du modèle linéaire pour présenter cette relation. Sur le plan physique, cette forte similitude de comportement malgré la différence de type de sol indique que la réponse de la structure analysée est principalement gouvernée par ses caractéristiques propres (géométrie, masse, rigidité) plutôt que par les écarts géotechniques entre les deux types de sol considérés. Il faut donc un dimensionnement rigoureux tenant compte à la fois du type de sol et de la régularité structurelle pour une réponse sismique maîtrisée.

4.4.2 RELATION ENTRE LES EFFORTS TRANCHANTS DE NIVEAUX DU BÂTIMENT SITUÉ SUR LES SOLS DE TYPE A ET C

4.4.2.1 MÉTHODE AUTOMATIQUE

Relation statistiques

➤ Droite de régression

Le coefficient $R=0,999$ montre qu'il y a donc une corrélation linéaire quasi parfaite. Cela confirme que malgré la différence des amplitudes, la distribution des efforts tranchants suit une évolution similaire étage par étage.

➤ Fonction polynomiale

L'ajustement par une fonction polynomiale du second degré donne également des bons résultats, mais sans avantage significatif par rapport au modèle linéaire.

Techniquement les résultats montrent que les efforts tranchants obtenus pour le sol de type C sont systématiquement supérieurs à ceux du sol de type A pour tous les niveaux de l'ouvrage. Cette différence s'explique par les propriétés géotechniques plus défavorables du sol de classe C qui est caractérisé par une faible rigidité et une grande amplification des mouvements sismique, comparé au sol de classe A qui est plus rigide et mieux compacté

Les types de sol influencent directement l'intensité des efforts sismiques et par conséquent les sollicitations internes.

4.4.2.2 MÉTHODE SIMPLIFIÉE EN BROCHETTES

MODÈLE DE RÉGRESSION

➤ Droite de régression

Il y'a donc une corrélation linéaire très forte. Cela démontre une évolution quasi proportionnelle des efforts entre les deux types de sols, suggérant que le comportement dynamique global reste similaire, bien que les amplitudes diffèrent.

➤ Fonction polynomiale de second degré

L'ajustement par un polynôme du second degré est aussi précis que ce précédent. La répartition des efforts tranchants par niveau met une progression régulière et que la modélisation linéaire est suffisante dans la majorité de cas.

Techniquement, les résultats montrent que les efforts tranchants obtenus pour le sol de type C sont systématiquement supérieurs à ceux du sol de type A pour tous les niveaux de l'ouvrage. Cette différence s'explique par les propriétés géotechniques plus défavorables du sol de classe C qui est caractérisé par une faible rigidité et une grande amplification des mouvements sismique, comparé au sol de classe A qui est plus rigide et mieux compacté.

Les types de sol influencent directement l'intensité des efforts sismiques et par conséquent les sollicitations internes.

4.4.3 RELATION ENTRE LES EFFORTS TRANCHANTS OBTENUS À PARTIR DU MODÈLE SIMPLIFIÉ EN BROCHETTES ET DU CALCUL AUTOMATIQUE

4.4.3.1 SOL DE CLASSE A

- **Corrélation très forte entre les deux méthodes:** Le coefficient de corrélation $R=0,9968$ indique une très forte liaison linéaire entre les valeurs des efforts tranchants issues de deux méthodes; Cela signifie que, bien que les valeurs ne soient pas identiques, l'évolution des efforts selon l'altitude suit le même comportement dans les deux approches.
- **Écarts significatifs de valeurs absolues:** Les valeurs obtenues par la méthode automatique sont nettement supérieures à celles de la méthode simplifiée à tous les niveaux; Cela s'explique par le fait que la méthode automatique intègre plus de paramètres dynamiques tels que la masse modale, la forme propre ainsi que les amplifications dues aux vibrations.
- **Impact sur le dimensionnement:** L'utilisation de la modélisation en brochettes pourrait sous-estimer les efforts pour le sol de type A, ce qui serait conservateur mais potentiellement insuffisant en cas de séisme fort; La méthode automatique est plus réaliste et permet un dimensionnement plus fiable des éléments résistants.

4.4.3.2 SOL DE CLASSE C

- **Corrélation:**
Pour le sol de classe C, la corrélation est forte mais moindre pour le sol de classe A
- Corrélation légèrement inférieure à celle observée pour le sol de classe A. Les deux méthodes suivent une même tendance globale mais avec des écarts plus variables selon les niveaux.
- La méthode automatique donne les valeurs inférieures par rapport à celles de la méthode simplifiée.

4.4.4 RELATION ENTRE LES DÉPLACEMENTS LATÉRAUX OBTENUS À PARTIR DU MODÈLE SIMPLIFIÉ EN BROCHETTES ET DU CALCUL AUTOMATIQUE

4.4.4.1 SOL DE CLASSE A

- **Concordance globale des résultats:** Les déplacements obtenus par la modélisation en brochettes sont supérieurs à ceux obtenus par la méthode automatique mais les deux ajustements donnent presque les mêmes résultats. Le coefficient de corrélation $R = 0,9996 \cong 1$ indique une relation quasi parfaite entre les deux séries de résultats. Ceci atteste de la fiabilité de la méthode simplifiée dans le contexte du sol de type A.
- **Modèles de régression:** Les fonctions de régression (linéaire et quadratique) ajustées aux données présentent un très bon accord avec les valeurs observées.

Cela confirme que les déplacements suivent une tendance régulière et prévisible selon la hauteur du bâtiment, facilitant ainsi l'analyse simplifiée de structures.

L'usage de la méthode simplifiée permet alors un gain de temps et une bonne précision, ce qui est avantageux en phase préliminaire de conception.

4.4.4.2 SOL DE CLASSE C

- **Concordance globale des résultats:** Les déplacements obtenus par les deux méthodes sont presque les mêmes avec un petit écart à l'avantage de la modélisation en brochette.
- **Modèles de régression:** Les deux fonctions de régression permettent un ajustement satisfaisant des déplacements obtenus, ce qui confirme une tendance régulière. Toutefois, dans ce contexte, la régression quadratique offre un meilleur ajustement.
- **Implication pour la conception sismique:** Sur un sol de type C, la méthode automatique est fortement recommandée pour garantir une précision suffisante, la méthode simplifiée peut être utilisée à des fins préliminaires, mais avec des marges de sécurité accrues surtout pour les structures de grande hauteur.

5 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la maîtrise du dimensionnement parasismique des structures en béton armé, dans des régions à forte activité sismique telles que Goma et Bukavu. Intitulé « Contribution au calcul des bâtiments type R+9 dans les zones sismiques de Goma et de Bukavu en République Démocratique du Congo », ce travail vise à analyser l'influence des caractéristiques du sol sur le comportement sismique d'un bâtiment de type, conformément aux exigences de l'Eurocode 8. Les analyses et dimensionnements ont été réalisés à l'aide de la norme RPA99 modifié 2003, MATLAB (pour les calculs simplifiés manuels), Robot structural Analysis Professional

(pour les calculs automatiques), l'Eurocode 8, l'Eurocode 2, le Béton Armé aux Etats Limites 91 (mod.99). Le bâtiment analysé est une structure de dix niveaux en béton armé, sans éléments de contreventement, pour observer clairement l'effet de la nature du sol sur son comportement dynamique. Deux types d'analyses ont été menés: une analyse statique manuelle pour le prédimensionnement des éléments (poutres, poteaux, semelles), et une analyse modale spectrale selon l'Eurocode 8 pour évaluer les effets sismiques. Les résultats montrent que le sol meuble de Bukavu (classe C) génère des sollicitations plus élevées, avec une augmentation moyenne des efforts tranchants à la base de l'ordre de 41 %, et une augmentation des déplacements latéraux d'environ 42 % par rapport à un sol dur de Goma (classe A). Cela s'explique par le phénomène d'amplification des ondes sismiques dans les sols souples, qui affecte plus fortement les structures de grande hauteur. Enfin, les plans de ferrailage générés ont été adaptés aux sollicitations spécifiques de chaque type de sol, mettant en évidence l'importance d'un dimensionnement différencié selon les conditions locales. Ce travail met en lumière l'impact crucial de la nature du sol dans l'analyse et le dimensionnement sismique des bâtiments. Il rappelle l'importance de l'étude géotechnique préalable et de l'application rigoureuse des normes telles que l'Eurocode 8, pour garantir la sécurité des constructions en zone sismique. Au terme de ce travail, nous formulons les recommandations de réaliser systématiquement des études géotechniques approfondies avant toute conception en zone sismique, afin de bien caractériser le sol et adapter le modèle de calcul en conséquence; privilégier une régularité géométrique des structures, tant en plan qu'en élévation, pour réduire les effets de torsion et garantir une meilleure réponse sismique; former et sensibiliser les ingénieurs, architectes et entrepreneurs aux exigences parasismiques, en mettant à jour régulièrement leurs connaissances selon les normes les plus récentes; renforcer le contrôle qualité lors de la mise en œuvre sur chantier, car une bonne conception ne peut être efficace qu'avec une exécution soignée; encourager l'élaboration et l'application de normes locales ou régionales adaptées aux zones sismiques du Kivu, fondées sur des données sismotectoniques actualisées et des études de vulnérabilité spécifiques au contexte local. Ces recommandations visent à améliorer la résilience des structures, réduire les risques pour les populations, et contribuer à une meilleure planification urbaine dans les zones sismiques telles que Goma et Bukavu.

REFERENCES

- [1] MILLARD A. (2004a). Structures sous séismes : Expérimentation en laboratoire. Hermes, Lavoisier. Paris, France.
- [2] CAPRA Alain & DAVIDOVICI Victor. (1982). *Calcul dynamique des structures en zone sismique*. Eyrolles. Paris, France.
- [3] Alain Pecker. (2006). Aspects géotechniques de l'Eurocode 8. CFMS.
- [4] Amigo, A & Kervyn, F. (2013). Seismicity and tectonic activity along the East African Rift System. *Journal of African Earth Sciences*.
- [5] HEKIMIAN Anthony. (2012). Exemple de calcul sismique – cas d'un ouvrage mixte, centre d'Etudes Techniques de l'Equipement Méditerranée.
- [6] PLUMIER A. (2014). Technique de l'ingénieur, séismes et bâtiment-analyse des constructions.
- [7] Eurocode 1. (2004b). Actions sur les structures.
- [8] Eurocode 8. (s. d.-a). Calcul des structures pour leur résistance aux séismes.
- [9] Eurocode 8. (1998). Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes- Partie 3.
- [10] H. BACHMAN. (2018). *Principe de base pour la conception parasismique des bâtiments*.
- [18] BALENDIER P. (2010). *Introduction aux phénomènes d'origine sismique*.
[https://www.bing.com/search?q=%E2%80%A209P.%20BALENDIER.%20\(2010\).%20Introduction%20aux%20ph%C3%A9nom%C3%A8nes%20d%E2%80%99origine%20sismique.&qsn&form=QBRE&sp=-1&lq=0&pq=wilfredo.%20\(s.%20d.-c\).%20guide%20](https://www.bing.com/search?q=%E2%80%A209P.%20BALENDIER.%20(2010).%20Introduction%20aux%20ph%C3%A9nom%C3%A8nes%20d%E2%80%99origine%20sismique.&qsn&form=QBRE&sp=-1&lq=0&pq=wilfredo.%20(s.%20d.-c).%20guide%20)

- de%20construction%20parasismique%20 (craterre).&sc=0-67&sk=&cvid=4005C27465A14F2290550FC5FF9D68DA. Consulté en ligne 06 décembre 2025 à 11h27.
- [19] Victor, D., & Alain, C. (2015). *Pratique du calcul sismique-guide d'application de l'Eurocode 8* (Eyrolles). Paris, France.
- [20] Wilfredo. (s.d.-c). *Guide de construction parasismique* (Craterre).
[https://www.bing.com/search?q=wilfredo.+ \(s.+d.-c\).+guide+de+construction+parasismique+ \(craterre\).&gs_lcrp=EgRIZGdlKgclAhBFGMIDMgclABBFGMIDMgclARBFGMIDMgclAhBFGMIDMgclAxBFGMIDMgclBBBFGMIDMgclBRBFGMIDMgclBhBFGMIDMgclBxBFGMIDMgclEKNTIyNDIzajBqN6gCCLACAQ&FORM=ANNTA0&PC=U531](https://www.bing.com/search?q=wilfredo.+ (s.+d.-c).+guide+de+construction+parasismique+ (craterre).&gs_lcrp=EgRIZGdlKgclAhBFGMIDMgclABBFGMIDMgclARBFGMIDMgclAhBFGMIDMgclAxBFGMIDMgclBBBFGMIDMgclBRBFGMIDMgclBhBFGMIDMgclBxBFGMIDMgclEKNTIyNDIzajBqN6gCCLACAQ&FORM=ANNTA0&PC=U531), consulté en ligne le 06 décembre 2025 à 11h19.
- [21] Bouarirène Nouredine & Tellal Lamouri. (2019). *Étude dynamique comparative des bâtiments avec spectre de réponse réel et réglementaire*. Mémoire de Master en Génie Civil, Université Akli Mohand Oulhadje – Bouira, Algérie.
- [22] Jugurtha KARICHE. (2018). Rôle de transfert multiple de contraintes, déficit de sismicité et caractéristiques physiques des ruptures sismiques. Thèse de doctorat en Géophysiques. Université de Strasbourg. France. 244 p.
- [23] Kalonero Moïse M. (2024). Etude comparative des comportements des structures en béton armé et celles métalliques lorsqu'elles sont soumises aux séismes. Mémoire de licence]. IBTP / Butembo. RD Congo.
- [24] Melle Haniche Leila. (2015). *Évaluation de la vulnérabilité sismique d'une structure stratégique*. Mémoire de Master (Génie Civil), Spécialité (*structure et matériaux*). Université Moulou Mammeri. Algérie. 108 p.
- [25] Mohamed Chelladi. (2021). *Conception d'un nouveau système d'isolation sismique à la base*. Thèse de doctorat, Université de Blida 1, Algérie, 190 p.
- [26] MAVONGA, T. (2007). Some characteristics of aftershock sequences of major earthquakes from 1994 to 2002 in the Kivu Province. *Western Rift Valley of Africa, Technophysics*, 439, 1-12.
- [27] Mavonga T, Zana. N, & Durrhein, RJ. (2010). Studies of cristal structure seismic precursors to volcanic eruptions and earthquake hazard in the eastean provinces of Democratic Republic of Congo. *Journal of African Earth Sciences*, 58, 623-633.
- [28] Règles Parasismiques Algériennes RPA 99 / Version 2003. Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique. Comitee de redaction.
- [29] Modificatifs et Compléments aux Règles Parasismiques Algériennes (RPA99). Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique (CGS) 2003. Groupe de Travail Spécialisé (GTS).
- [30] Règles BAEL 91 révisées 99, (Février 2000). Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites. Paris, France. 221 p.

Evaluation des pratiques de gestion des stocks dans les petites et moyennes entreprises nigérianes du marché central de Kinshasa

[Assessment of inventory management practices in Nigerian small and medium enterprises at Kinshasa's central market]

Nzapakembi Kwando Roger¹ and Mamanu Djamal Issa²

¹Diplômé d'Etudes Supérieures en Gestion des Entreprises et Organisation du Travail, Université de Kinshasa, RD Congo

²Licencié en Gestion des Entreprises et Organisation du Travail, Université de Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2026 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: A company's success is determined by its ability to offer the right product at the right time. Intelligent inventory management plays a crucial role in achieving this.

Inventory is an operational resource that must be carefully managed. When inventory levels are insufficient, the company risks stockouts, which create additional costs and, more importantly, damage the company's brand image. Conversely, excess inventory becomes a fixed asset, increasing production costs and straining cash flow.

Optimizing inventory management inevitably involves minimizing costs and using procurement methods tailored to each item.

Research results show that the vast majority of Nigerian SMEs operating in the Central Market of Kinshasa regularly experience stockouts, use different procurement methods depending on the circumstances, do not use inventory management software, and rely on traditional inventory management practices.

KEYWORDS: management, inventory, SMEs, central market.

RESUME: Le succès d'une entreprise est déterminé par sa capacité à proposer un bon produit, au bon moment. Un stockage intelligent contribue de manière décisive à son atteinte.

Les stocks sont des ressources opérationnelles qu'il faut maîtriser. Lorsqu'ils sont moins importants, l'entreprise est menacée de rupture de stock qui crée des coûts supplémentaires et surtout entache l'image de marque de l'entreprise. A l'inverse, l'excès de stocks se transforme en immobilisations qui alourdissent le coût de revient et fragilisent la trésorerie.

L'optimisation de la gestion des stocks s'accompagne inévitablement de la recherche de la minimisation des coûts, ainsi que l'utilisation des méthodes d'approvisionnement adaptées à chaque article.

Les résultats de la recherche attestent que la grande majorité des PME des Nigériens implantées au Marché Central de Kinshasa connaît régulièrement le cas de rupture de stock, utilise différentes méthodes d'approvisionnement selon les circonstances, n'utilise pas un logiciel de gestion de stock et recourt à la manière traditionnelle de gestion de stocks.

MOTS-CLEFS: gestion, stock, PME, marché central.

1 INTRODUCTION

Le stock est constitué de l'ensemble des articles détenus par une entreprise. Une bonne gestion des stocks consiste à pouvoir satisfaire la demande des clients internes ou externes, dès l'expression de son besoin. Pour cela, il est nécessaire de disposer des stocks nécessaires pour éviter toute rupture au moment de la demande (Ménard & Fournier, 2011).

La problématique d'une gestion efficace des stocks, passant par l'approvisionnement dans les entreprises, qu'elles soient grandes, moyennes ou petites constitue de plus en plus une préoccupation pour les dirigeants.

Cette situation attire la curiosité des chercheurs à travers le monde, en Afrique et particulièrement en République Démocratique du Congo. Cela étant, plusieurs études ont été menées dans ce domaine.

Maphana et Kabuika (2009), ont mené une étude portant sur la recherche d'un stock optimal d'un article à période unique de consommation : approche par la minimisation des regrets.

Ils se sont assignés comme objectif d'élaborer un modèle mathématique permettant de déterminer la quantité optimale d'un article donné à commander au début d'une période unique de manière à minimiser les regrets pouvant résulter d'une rupture de stock ou d'un excédent de stock.

En utilisant la méthode quantitative, ils ont conclu que la construction d'un modèle de gestion de stock permet de formaliser les problèmes afin d'en déduire des décisions intelligentes qui pourront servir de guides aux responsables sans méconnaître l'importance de leurs atouts naturels tels que leurs bons sens, les inexplicables dons des affaires, leurs expériences et leurs intuitions.

Mandeng (2012), a mené une recherche dans une entreprise commerciale au Cameroun.

L'étude avait pour objectif de relever les insuffisances dans la gestion des stocks pratiquée par IMPEXTEAM et trouver des solutions palliatives. Car, malgré toutes les dispositions prises, l'entreprise connaît pour la plupart de temps des ruptures de stocks et des surstocks des marchandises.

La méthode analytique lui a permis de comprendre que les difficultés de la gestion de stock au niveau de l'entreprise IMPEXTEAM sont pour la plupart de temps liées aux problèmes d'approvisionnement aléatoire, la non-maîtrise de l'entreposage et aussi la non-maîtrise de la quantité de produits en stock.

Il conclut que, pour faire face aux ruptures fréquentes de stocks, l'entreprise doit:

- Sélectionner les fournisseurs capables de livrer les marchandises de bonnes qualités, dans les délais;
- Disposer d'un emplacement fixe pour chaque article afin d'éviter le surstockage, ce qui entrainera la maîtrise de la quantité réelle des articles stockés;
- Des fiches de stocks tenues correctement permettent de contrôler les mouvements des marchandises.

Ettien (2023), a traité de la gestion des stocks dans une Petite et Moyenne Entreprise commerciale et est parti du constat général selon lequel plusieurs entreprises ont du mal à gérer leurs stocks; car, lorsque les stocks sont moins importants, l'entreprise est menacée de rupture de stocks et cela entache son image de marque mais aussi, lorsque les stocks sont trop importants, ils constituent des immobilisations qui gonflent le prix de revient des produits et perturbent l'équilibre de la trésorerie.

Ainsi, pour y remédier, l'auteur propose différentes étapes à suivre pour une gestion optimale des marchandises dans les entrepôts:

- D'abord, préciser le processus allant de l'achat, à l'entrée du stock, à la sortie du stock en entreprise et à la comptabilisation;
- Ensuite déterminer les niveaux de stocks, à savoir le stock moyen, le stock de sécurité, le stock critique. En effet, le gestionnaire cherche à analyser le processus d'achat en trois critères (la connaissance du besoin, la passation de commande et la livraison); qui se traduit en fonction des besoins de la clientèle. Par la suite, sélectionner les fournisseurs. Le gestionnaire après avoir cerné les besoins en matière de stocks, recherche le fournisseur le plus offrant par la qualité de ses services et de ses produits d'où la dénomination qualité, coût, délai;
- Enfin, contrôler et enregistrer sur le plan comptable les stocks.

Munihire (2012), a mené une recherche sur la problématique de la gestion des stocks dans les secteurs hôteliers en se focalisant sur le cas de l'Hôtel Lac Kivu Lodge de 2009 à 2011.

L'objectif de la recherche consistait à comprendre comment l'Hôtel Lac Kivu Lodge gérait son stock afin de satisfaire les demandes de ses clients au niveau du restaurant.

L'auteur était parti des hypothèses suivantes:

- Pour que Lac Kivu Lodge ne puisse pas connaître des ruptures de stocks, il constituerait des stocks tampons qui serviraient comme provisions en cas d'éventuelle rupture. Aussi, pour organiser sa gestion des stocks et lutter contre les accumulations, il se fonderait sur la demande de ses clients;
- Grâce à ladite organisation bien structurée, l'Hôtel Lac Kivu Lodge pourrait satisfaire instantanément les besoins de ses clients. Ce qui repose sur la disponibilité des stocks prévisionnels nécessaires au restaurant.

Pour vérifier ses hypothèses, il avait utilisé la méthode analytique, basée sur l'analyse des données quantitatives recueillies sur les différentes fiches de stock de l'Hôtel Lac Kivu Lodge.

Après analyse et traitement des données, il était arrivé aux résultats suivants:

- Il a fallu 5 jours en 2009, 10 jours en 2010 et 14 jours en 2011 pour écouler les produits de lait NIDO; pour le filet de Tilapia, la rotation a été de 12 fois en 2009, 11 fois en 2010 et 12 fois en 2011 et, pour la Primus, elle a été de 36 fois pour l'année 2009, 37 fois en 2010 et 34 fois en 2011. Toutefois, il s'est observé pendant le mois d'Avril 2009 une rupture de stocks pour le lait NIDO. Cette situation de rupture de stock s'expliquait soit par le fait que l'Hôtel Lac Kivu Lodge avait écoulé tous ses produits à tel point que rien n'était resté comme stock de sécurité dans ses magasins;
- Le stock d'alerte a été dépassé 3 fois en 2009 et 2 fois en 2011 pour le produit NIDO, et une fois en 2011 pour le produit Primus.

Vu les quantités réceptionnées et vendues pendant cette période de 3 ans, l'auteur pensait que l'Hôtel Lac Kivu Lodge avait mis à la disposition de ses clients un service de qualité en leur offrant régulièrement ce dont ils avaient besoin et suggère à l'Hôtel d'effectuer des approvisionnements en tenant compte de stock moyen et de lutter contre toute éventuelle rupture.

Notre étude s'aligne derrière celle de Munihi, mais s'en démarque par le fait que sa recherche porte sur l'écoulement de trois produits dans un restaurant, à savoir: le lait Nido, le filet du poisson Tilapia et la bière Primus, alors que nous menons notre recherche auprès des dirigeants des Petites et Moyennes Entreprises pour comprendre s'ils disposent de quels types de stocks pour faire face aux différentes éventualités et connaître quelles méthodes de réapprovisionnement ils utilisent pour éviter la rupture de stocks.

L'entrepreneuriat est de plus en plus conçu comme le processus visant la création et le développement d'une entreprise (Langi, 2022).

Dans tous les cas, quelle que soit la forme juridique, l'objectif ou la taille, toute entreprise fait face à la gestion de stocks.

Le succès d'une entreprise est déterminé entre autres par sa capacité de proposer le bon produit, au bon moment. Un stockage intelligent contribue de manière décisive à l'atteinte de cet objectif (Laurena, 2013).

Kim et Sadhwani (1991) estiment qu'à l'heure actuelle de la mondialisation de l'économie où les entreprises font face à des concurrences accrues, la constitution des stocks ainsi que sa gestion demeurent, dans la vie de l'entreprise, incontournable et n'autorisent aucune erreur.

Les stocks sont des ressources opérationnelles qu'il faut maîtriser. Lorsqu'ils sont moins importants, l'entreprise est menacée de rupture de stock qui crée des coûts supplémentaires et surtout entache l'image de marque de l'entreprise. A l'inverse, l'excès de stocks se transforme en immobilisations qui alourdissent le coût de revient et fragilisent la trésorerie.

Lin (1980) affirme que la gestion des stocks est un problème fréquent dans les PME. Blazejewski (1993) estime que dans la plupart de PME, la gestion des stocks reste floue, on constate des situations de surstock, confortable pour les unes qui pensent qu'il contribue à éviter les ruptures; pour les autres, le sous-stock leur évite des coûts de stockage. Et pourtant, il est impératif pour leur développement d'instituer une gestion saine, optimale des stocks dont elles disposent.

L'optimisation de la gestion des stocks s'accompagne inévitablement de la recherche de la minimisation des coûts, ainsi que l'utilisation des méthodes d'approvisionnement adaptées à chaque article.

Les PME des Nigériens implantées au Marché Central de Kinshasa disposent des stocks des niveaux variés et peuvent avoir des problèmes liés à leur gestion.

Ainsi, à travers cette étude, nous voulons vérifier l'efficacité de la gestion des stocks des Petites et Moyennes Entreprises des Nigériens implantées au Marché Central de Kinshasa. Les questions de recherche formulées à cet effet sont les suivantes:

- Comment les stocks sont gérés par les PME des Nigériens du Marché Central de Kinshasa ?
- A quel niveau peut-on estimer l'efficacité de la gestion des stocks des PME des Nigériens du Marché Central de Kinshasa?

Pour répondre aux questions soulevées ci-dessus, nous formulons les hypothèses suivantes:

- Les PME des Nigériens installées au Marché Central de Kinshasa ont du mal à gérer de façon optimale leurs stocks car utilisant la méthode de réapprovisionnement calendaire qui consiste à commander des quantités fixes de marchandises à des dates fixes;
- En nous basant sur l'indicateur taux de rupture de stock dans les PME des Nigériens basées au Marché Central de Kinshasa, nous y estimons à un niveau faible l'efficacité de la gestion des stocks.

Cette étude vise à atteindre les objectifs ci-après:

- Déterminer comment les stocks sont gérés par les PME des Nigériens installées au Marché Central de Kinshasa;
- Estimer le niveau d'efficacité de la gestion des stocks des PME des Nigériens installées au Marché Central de Kinshasa.

2 MÉTHODOLOGIE

Pour atteindre les objectifs de cette étude et vérifier nos hypothèses, nous avons recouru à la méthode d'enquête matérialisée par la technique documentaire et le questionnaire qui nous a permis de récolter des informations auprès de 30 gestionnaires choisis selon leurs disponibilités.

3 RÉSULTATS

A l'issue des analyses, les résultats majeurs de notre enquête se présentent comme suit:

La majorité des sujets reconnaît faire le suivi des stocks de leurs marchandises en recourant et, à la comptabilité physique et à la comptabilité financière.

La majorité des enquêtés reconnaît utiliser la gestion mono-magasin pour le stockage de leurs marchandises. Cela se conçoit par le fait que la plupart des enquêtés n'ont qu'un seul magasin.

Les résultats obtenus renseignent que plus de la moitié des enquêtés procède à l'inventaire et préfèrent l'inventaire tournant qui consiste à examiner les stocks des marchandises par groupe et cela un groupe après un autre.

Il est évident que l'inventaire tournant autrement appelé l'inventaire permanent présente plusieurs avantages par rapport aux autres types d'inventaires dont notamment: une précision accrue, une identification rapide des erreurs, une réduction des interruptions opérationnelles, une amélioration de la rotation des stocks, une détection des pertes, etc.

A propos des méthodes de réapprovisionnement, les avis de nos sujets sont partagés entre les méthodes suivantes:

- Méthode de reconstituer (36,7%) qui consiste à passer la commande à une date fixe toutes les fois pour une quantité variable avec objectif de ramener le stock à son niveau maximum; cette méthode présente plusieurs inconvénients dont les plus importants sont: le risque de surstockage, le manque de flexibilité en cas de variation de la demande et la dépendance vis-à-vis des fournisseurs;
- Méthode calendaire (33,3%) qui consiste à passer la commande d'une quantité fixe et toujours à une date fixe. Cette méthode présente comme inconvénients: la rupture de stock, le surstock, manque de flexibilité en cas de la variation de la demande, manque d'optimisation, etc.
- Méthode du point de commande (30%) où l'entreprise ne passe la commande que lorsqu'elle ne dispose que du stock d'alerte. Cette méthode n'est pas très appréciée par nos enquêtés et pourtant elle est la meilleure car, présentant les avantages suivants: réapprovisionnement automatique, réduction des ruptures de stock, optimisation des niveaux de stock, meilleure gestion des prévisions, flexibilité, réduction des coûts administratifs, etc.

Au regard de ces résultats, notre première hypothèse selon laquelle les PME des Nigériens installées au Marché Central de Kinshasa ont du mal à gérer de façon optimale leurs stocks car utilisant la méthode de réapprovisionnement calendaire qui consiste à commander des quantités fixes de marchandises à des dates fixes est confirmée en partie, car ils ont du mal à gérer de façon optimale leurs stocks, mais n'utilisent pas tous la méthode calendaire (33,3%).

La majorité de nos enquêtés dispose du stock disponible, mais certains sujets à côté de ce stock disposent aussi des stocks d'alerte et de sécurité pour prévenir un éventuel retard dans la réception de la nouvelle commande.

Plus de la moitié de nos enquêtés estiment que les méthodes utilisées pour le réapprovisionnement est efficace, malheureusement, les résultats de la recherche renseignent que la grande majorité de ces enquêtés connaît régulièrement le cas de rupture de stock avec comme conséquences: perte de vente et une dégradation des relations commerciales.

Au regard des résultats de l'étude qui présentent un taux de rupture de stock élevé (83%) dans les PME des Nigériens basées au Marché Central de Kinshasa, nous confirmons notre deuxième.

Les résultats de notre étude présentent les produits des PME des Nigériens basées au Marché Central de Kinshasa en cinq groupes: les deux premiers groupes sont constitués des produits chers et difficilement vendus (guidons, réservoirs, vilebrequins, etc.); ainsi, leurs taux de rotation annuelle sont bas et varient entre 1 à 8 fois l'année. Le troisième groupe est constitué des produits intermédiaires et les deux derniers groupes sont constitués des produits vache à lait et se retrouvent presque dans tous les magasins.

Nous tenons à préciser que tous les sujets de notre enquête sont des revendeurs des pièces de rechanges des motos (TVS, Honda, Haojue, Haojin, etc.).

La majorité de nos enquêtés n'utilise pas un logiciel de gestion de stock, nos enquêtés recourent à la manière traditionnelle de gestion de stocks.

Selon nos observations, la plupart des PME des Nigériens sous examens ne sont que des petites entreprises et trouvent normales la gestion manuelle des stocks car elle présente les avantages que voici:

- Coût réduit: pas de frais de licence, d'abonnement ou de maintenance liés aux logiciels de gestion de stock;
- Simplicité: les systèmes traditionnels (manuels) peuvent être faciles à comprendre et à mettre en place par les petites entreprises ou des petits commerces;
- Flexibilité: les méthodes traditionnelles peuvent être adaptées aux besoins spécifiques de l'entreprise sans dépendre des fonctionnalités d'un logiciel.

Malgré ces avantages, la gestion traditionnelle des stocks présente plusieurs inconvénients dont les principaux sont:

- Précision limitée: les erreurs humaines sont plus fréquentes avec les systèmes manuels, ce qui conduit à des inexactitudes dans la gestion des stocks;
- Efficacité réduite: le suivi manuel peut être laborieux et chronophage, ce qui réduit l'efficacité globale de l'entreprise;
- Temps de réponse: ces méthodes ralentissent la prise de décision, car elles demandent plus de temps pour collecter et analyser les données;
- Difficultés de suivi: avec l'augmentation du volume des stocks, il est de fois difficile de suivre manuellement les produits, ce qui peut entraîner des ruptures de stock ou des surstocks.

Il y a quatre explications possibles:

- La première est liée à la taille des PME: comme nous l'avons signifié plus haut, la plupart des PME des Nigériens sous examen sont des petites entreprises;
- La deuxième est liée aux ressources financières limitées des promoteurs de ces PME;
- La troisième est liée à la résistance aux changements: certaines entreprises préfèrent les méthodes traditionnelles qu'elles connaissent bien et les enquêtés nous l'ont signifié en affirmant que les méthodes qu'ils utilisent sont les meilleures qu'ils connaissent et utilisent, par conséquent hésitent à adopter des nouvelles technologies;
- La quatrième est liée à la formation et compétence: le manque de compétence ou de formation techniques peut dissuader certaines entreprises à adopter des systèmes informatisés.

Au regard de ces résultats nous suggérons aux PME des Nigériens implantées au Marché Central de Kinshasa d'adopter la gestion informatisée de gestion de stocks pour leur permettre d'éviter que ce soit la rupture ou le surstock.

REFERENCES

- [1] Blazejewski, J.M. (1993). «On peut maîtriser ruptures et sur-stocks», *Revue française de gestion industrielle*, 12 (1), 5-18.
- [2] Ettien, J.C. (2023). « La gestion des stocks dans une petite et moyenne entreprise commerciale ». *Journal de la machine et de l'informatique*. DOI: 10.13140/RG.2.2.19102.51520.
- [3] Langi, F X. (2022). *Gestion de production et des stocks*. Cours destinés aux apprenants Gestion des Entreprises et Organisation du Travail. FPSE, Université de Kinshasa.
- [4] Kim, I-W & Sadhwani, A.T. (1991). «Is Your Inventory Really Ali There?». *Management Accounting*, 73 (1), 37-40.
- [5] Laurena, M. (2013). Mise en place d'une gestion de stock au sein d'une entreprise d'aménagement paysager. Repéré à: <http://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00873691>.
- [6] Lin, E. (1980). «Inventory Control Systems for Small Business». *American Journal of Small Business*, 4 (4), 11-19.
- [7] Mandeng, V. (2012). *Gestion de stocks dans une entreprise commerciale*. Mémoire de licence. Institut supérieur de management de Dakar. Sénégal.
- [8] Menard, J.P. & Fournier, P. (2011). *Gestion de l'approvisionnement et de stock*. Montréal: Gaëtan Morin.
- [9] Munihire, M. (2012). Problématique de la gestion des stocks dans les secteurs hôteliers. Cas de l'hôtel Lac Kivu Lodge de 2009 à 2011. TFC, Université Libre des Pays des Grands Lacs. Goma.

Variabilité climatique récente en Côte d'Ivoire (1981-2025)

[Recent climatic variability in Côte d'Ivoire (1981-2025)]

Kouassi Kouakou Alain François, Zonkouan-Kouame Badjo Ruth Virginia, Coulibaly Kolotioloma Alama, and Dibi-Anoh Agoh Pauline

Institut de Géographie tropicale, Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2026 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 study analyzes the evolution of the Ivorian climate between 1981 and 2025. It relies on CORDEX data derived from five regional climate models and 14 stations distributed across the country. The series were processed using the Hanning low-pass filter, standardized anomalies, the Pettitt test combined with the Bayesian approach of Lee and Heghinian, and the Hydro-Environmental Deficit Index (IDDH). The results first reveal a generalized increase in rainfall. However, a marked deficit period occurred between 1990 and 2014. Since 2014, most stations have shown a clear recovery. In parallel, temperatures have risen across the entire territory, with a stronger intensity along the coastline. Moreover, recent rainfall shifts are associated with substantial positive variations, exceeding 20% in coastal and forest zones. Rainy seasons have intensified in most stations, although Korhogo, Bouaké, and Yamoussoukro remain exceptions. Finally, monthly temperature increases are widespread, with a particularly strong rise during the dry season in the northern part of the country.

KEYWORDS: Côte d'Ivoire, rainfall, temperature, climate.

RESUME: Cette étude analyse l'évolution du climat ivoirien entre 1981 et 2025. Elle s'appuie sur les données CORDEX, issues de cinq modèles climatiques régionaux et de 14 stations réparties sur le territoire. Les séries ont été traitées à l'aide du filtre de Hanning, des indices centrés réduits, du test de Pettitt avec l'approche bayésienne de Lee et Heghinian, ainsi que des indices IDDH. Les résultats montrent d'abord une hausse généralisée de la pluviométrie. Toutefois, une forte période déficitaire apparaît entre 1990 et 2014. Depuis 2014, la plupart des stations enregistrent une reprise de la pluviométrie. Parallèlement, les températures augmentent sur tout le territoire, avec une intensité plus marquée sur le littoral. De plus, les ruptures pluviométriques récentes s'accompagnent de variations positives importantes, dépassant 20 % en zone littorale et forestière. Les saisons pluvieuses se renforcent dans la majorité des stations, bien que Korhogo, Bouaké et Yamoussoukro fassent exception. Enfin, l'augmentation thermique mensuelle est généralisée, particulièrement durant la saison sèche dans le Nord du pays.

MOTS-CLEFS: Côte d'Ivoire, pluviométrie, température, climat.

1 INTRODUCTION

Le monde se trouve dans un contexte de changement climatique. Ce changement climatique se caractérise par la variabilité des paramètres climatiques. La Côte d'Ivoire n'échappe pas à ce contexte climatique. Sa vulnérabilité est plus inquiétante compte tenu de son statut de pays en développement. Cette variabilité climatique se manifeste par la réduction de 6% de la pluviométrie entre 1971 et 2000 [22], ainsi qu'une hausse de la température de 0,8°C sur la période 2001-2010 [8]. Cependant, des études plus récentes mettent en exergue une faible reprise de la pluviométrie depuis la décennie 2010 dans certaines localités du pays même si des tendances générales à la baisse sont observées [7], [5], [6], [1].

La variabilité du climat constitue un enjeu majeur pour la Côte d'Ivoire surtout pour son agriculture qui demeure un élément essentiel de son économie. Le Ministère du Plan et du Développement affirme dans le Programme National de Développement [19] que l'agriculture occupait en 2019 19,8% du PIB de la Côte d'Ivoire. Elle représentait 75% des exportations et constituait le principal moyen de subsistance des 2/3 des ménages en Côte d'Ivoire. Elle occupait également 65,8% de la population active. Selon l'IFDC [12], le secteur primaire, dominé par l'agriculture représente 26% du PIB, 60% des recettes d'exportation et occupe environ 70% de la population active. De plus, dans son rapport d'activité publié, Initiative cacao et forêts [11] affirme que particulièrement, le cacao qui représente le produit phare de la Côte d'Ivoire occupe 15 % de PIB et plus de 40 % des recettes d'exportation. Cette agriculture est dépendante du climat. La variabilité climatique est à l'origine de la baisse de la production de l'igname à Tanda [15]. De plus, l'igname pourrit quand la pluviométrie est en deçà de 400 mm entre le 14^{ème} et la 20^{ème} semaine de végétation [4]. Cependant, rare sont les études qui prennent en compte la variabilité récente du climat. Cette étude a donc pour objectif de déterminer l'évolution actuelle du climat sur l'étendue du territoire ivoirien. Cet objectif vise à répondre à la question suivante: Quel est le dynamisme actuel du climat ivoirien ?

1.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La Côte d'Ivoire est située en Afrique de l'Ouest (Figure 1). Sa population est estimée selon le RGPH 2021 à 29 389 150 habitants [13]. Plus du trois quarts de cette population a moins de 35 ans. Le secteur agricole continue d'être la locomotive de l'économie ivoirienne malgré l'émergence. Néanmoins, ces dernières années le secteur industriel et le secteur tertiaire enregistre des taux de croissance remarquable. Son climat de façon générale est dominé par deux grands domaines si l'on s'appuie sur la répartition interannuelle de la pluviométrie [4]. Un domaine climatique à une seule saison pluvieuse appelé régime pluviométrique unimodal domine le grand Nord au-delà du 8^{ème} parallèle. En deçà de cette ligne, règne un climat à régime pluviométrique bimodal.

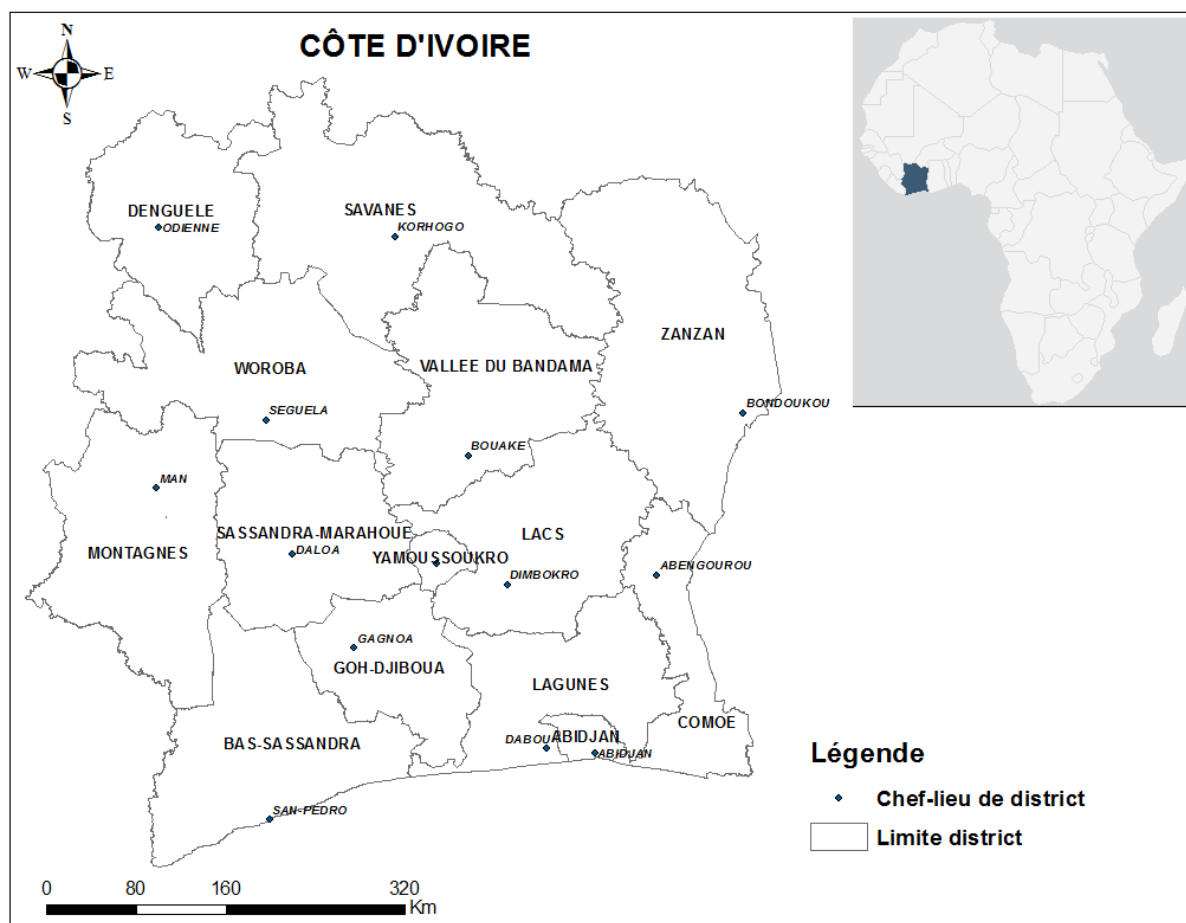


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

2 DONNEES ET METHODES

2.1 DONNÉES DE L'ÉTUDE

Les données utilisées pour mener à bien cette étude sont la température et la pluviométrie mensuelle. Elles couvrent la période 1981-2025. Compte tenu du difficile accès aux données in situ, les sorties de modèle du programme CORDEX ont été utilisées. Ce choix s'est motivé par la validation de ces données par des travaux antérieurs [14]. Les résultats de ces travaux ont conclu que chaque modèle excelle dans différentes régions en fonction des paramètres climatiques. Cependant, la moyenne de plusieurs sorties de modèles climatiques permet d'avoir des données voisines à celles observées. Ainsi, les moyennes ont été calculées pour les modèles climatiques régionaux suivants: CCLM, RACMO, RCA, REMO, et WRF. Les stations climatiques utilisées pour cette étude sont les chefs-lieux de District répartie en secteur. Le secteur nord comprend Bondoukou, Korhogo, Odienné et Séguéla. Le Sud comprend le littoral (Abidjan, Grand-Lahou et San-Pedro) et la région forestière composée des stations de Daloa, Gagnoa, Man et Abengourou. Le secteur centre compte Bouaké, Dimbokro et Yamoussoukro. Toutefois, Dabou, chef-lieu du district des lagunes a été remplacée par Grand-Lahou compte tenu de sa proximité avec Abidjan.

2.2 MÉTHODES

Plusieurs méthodes ont permis le traitement et l'analyse des données. La première est le calcul des moyennes mobiles pondérées réalisé grâce au Filtre Passe-bas de Hanning. Cette méthode permet d'obtenir les moyennes mobiles pondérées qui dégagent les grandes tendances. Les indices centrés réduits ont été ensuite calculés sur la période de l'étude par la formule suivante:

$$I = \frac{x - X}{\sigma}$$

I: indice centré réduit; x: valeur annuelle; X: moyenne de la période; σ : écart type.

Pour détecter les années de rupture dans la série pluviométrique, le test de PETTITT est utilisé. Ce test permet de repérer une éventuelle année de rupture dans les séries pluviométriques et thermiques [23]. Cependant, lorsqu'aucune rupture n'est détectée par le Test PETTITT, la méthode bayésienne de Lee et Heghinian est utilisée. Cette approche est paramétrique et suppose que les variables suivent une distribution normale. Ici, l'hypothèse nulle correspond à l'absence de rupture dans la série. La méthode bayésienne calcule ensuite la probabilité à posteriori de la date de rupture. Elle fournit ainsi une estimation claire de la probabilité d'un changement, ainsi que de l'incertitude associée [3], [10].

Ensuite, le taux de variation est calculé pour quantifier la réduction ou l'augmentation de la pluviométrie par station en Côte d'Ivoire:

$$Tv (\%) = \left(\frac{Mb - Ma}{Ma} - 1 \right) * 100$$

Avec : Tv: taux de variation, Ma: pluviométrie moyenne avant rupture et Mb: pluviométrie moyenne après rupture.

La variation saisonnière de la pluviométrie est analysée en comparant les périodes avant et après l'année de rupture. Les indices de déficit hydro-environnemental (IDDH) sont calculés à cet effet. La méthode de calcul de l'IDDH provient du calibrage de l'indice d'aridité de Martonne. En effet, la référence [18] a proposé une méthode qui consiste à rendre plus performante l'indice de Martonne. Elle se présente comme suit. D'abord, la détermination de l'Indice de Disponibilité Hydro-Environnementale IDHA. Elle se calcule en multipliant l'indice de Martonne par K_c qui représente le coefficient de calibration:

$$IDHA = K_c \times \left[\frac{12P}{t + 10} \right]$$

IDHA: indice de disponibilité Hydro-Environnementale; K_c : coefficient de calibration =0,33; P: pluviométrie et t: température.

Après avoir déterminé l'IDHA, il convient de l'utiliser pour déterminer l'indice de déficit Hydro-Environnemental (IDDH) à travers la formule suivante:

$$IDDH = IDHA - 10$$

Les indices obtenus mesurent directement le déficit hydrique mensuel dans le cadre de cette étude. Les valeurs négatives représentent les mois déficitaires en termes de pluviométrie et donc la saison sèche. Par contre, les mois ayant des indices positifs représentent la saison pluvieuse. Les moyennes mensuelles de la température sont comparées entre elles de part et d'autre de la rupture.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 VARIABILITÉ CLIMATIQUE EN CÔTE D'IVOIRE

3.1.1 EVOLUTION DE LA PLUVIOMÉTRIE EN CÔTE D'IVOIRE

Les indices centrés réduits calculés montrent une tendance haussière de la pluviométrie dans la plupart des stations étudiées sur la période 1981-2025 (Figure 2). Au centre de la Côte d'Ivoire, la station de Bouaké affiche une tendance générale à la baisse de la pluviométrie. Contrairement, Bouaké, Yamoussoukro et Dimbokro enregistre une faible tendance à la hausse. Cependant au cours de 1981-2025, la pluviométrie oscille entre période excédentaire et déficitaire. A cet effet, une période excédentaire couvrant 1981-1990 est observée à Bouaké, Dimbokro et Yamoussoukro. Par contre, les décennies suivantes (1990-2009) plongent le centre de la Côte d'Ivoire dans une période déficitaire sauf à Bouaké où les années 1996 à 2000 ont connu des excédents pluviométriques. La dernière décennie de la période d'étude se caractérise par une pluviométrie excédentaire. Une reprise de la pluviométrie est donc observée au centre du pays. Le nord du pays présente des évolutions pluviométriques variables selon les stations. A Bondoukou et Séguéla, une évolution à la hausse est observée. Cette hausse est plus marquée à Séguéla où R^2 (0,06) est le plus élevé de toutes les stations du Nord ivoirien. La pluviométrie d'Odienné et Korhogo évolue en sens inverse. Cependant, les données révèlent une transition progressive de la pluviométrie depuis les conditions déficitaires des années 1990-2005 vers une amélioration marquée à partir de 2015, traduisant ainsi une reprise de la pluviométrie.

La région forestière présente des tendances majoritairement positives qui suggèrent une intensification des précipitations.

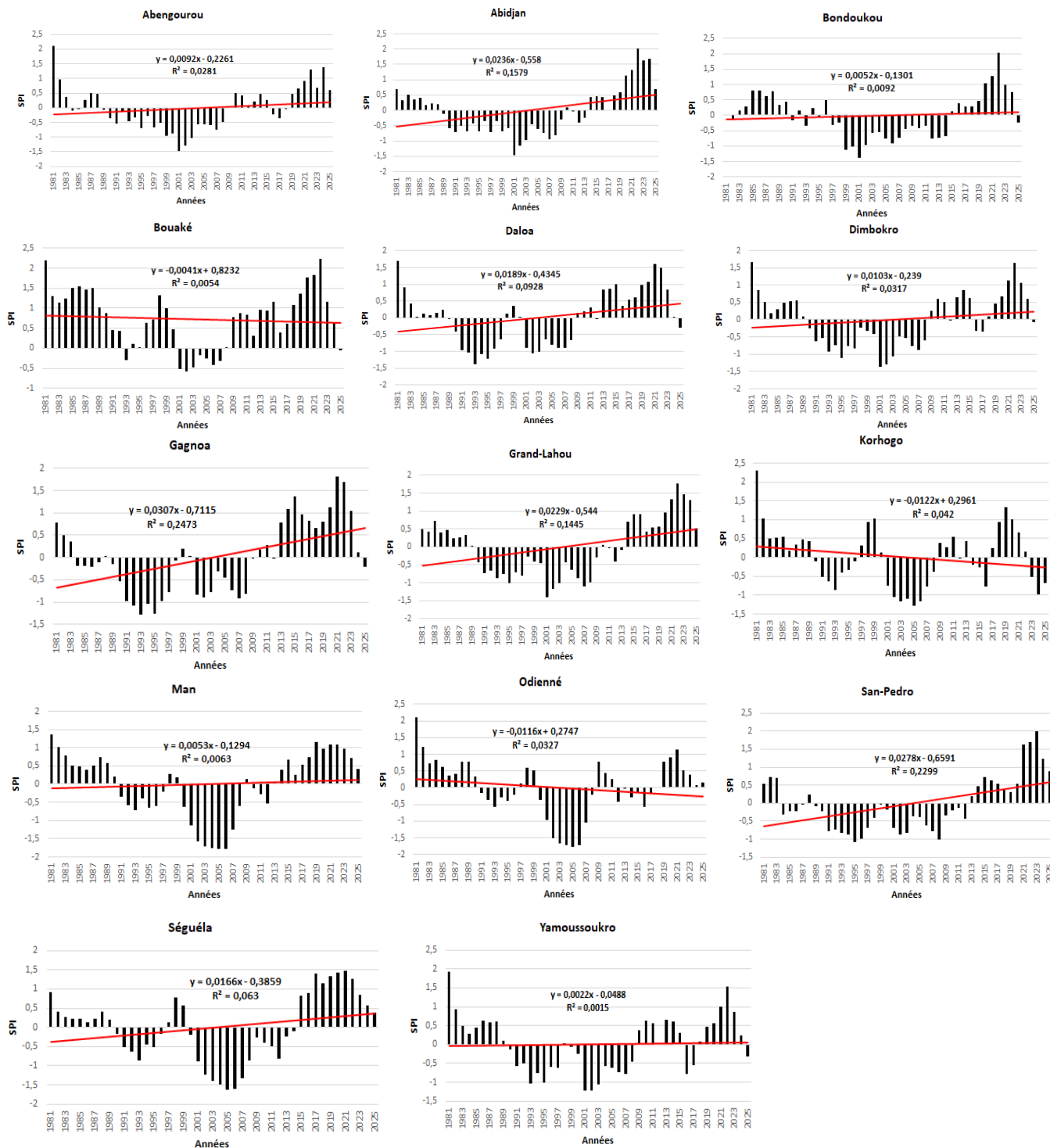


Fig. 2. Evolution tendancielle de la pluviométrie en Côte d'Ivoire

Les stations de la région forestière concernées sont Abengourou, Daloa, Gagnoa et Man. Toutes ces localités affichent une tendance à la hausse de la pluviométrie sur la période d'étude. Cette tendance est plus importante à Gagnoa ($R^2=0,24$) et Daloa ($R^2=0,09$), deux villes situées au centre-ouest de la Côte d'Ivoire. Les années récentes témoignent d'un retour à des conditions pluviométriques excédentaires marquant également une reprise de la pluviométrie dans la zone forestière de la Côte d'Ivoire. Le littoral ivoirien, à savoir les stations d'Abidjan, Grand-Lahou et San-Pedro, présente des tendances pluviométriques à la hausse témoignant d'une augmentation généralisée des précipitations sur l'ensemble de la façade maritime. Cette

augmentation est marquée dans ces trois stations étudiées avec respectivement $R^2=0,15$; $R^2=0,14$ et $R^2=0,22$. De plus, une reprise de la pluviométrie est observée sur la dernière décennie de la période d'étude après une longue phase de déficit pluviométrique enregistrée entre 1990 et 2014.

L'analyse comparative de l'évolution pluviométrique sur les quatre zones climatiques de la Côte d'Ivoire révèle des dynamiques spatiales différenciées mais convergentes sur la décennie récente. Premièrement, l'ensemble du territoire ivoirien a connu une période déficitaire généralisée entre 1990 et 2014, caractérisée par des précipitations inférieures à la normale. Deuxièmement, un retour progressif vers des conditions pluviométriques excédentaires dans la majorité des stations est observé autour 2014. Troisièmement, un retour de la pluviométrie est observé de façon générale en Côte d'Ivoire sur la dernière décennie de la période d'étude. Plusieurs études concordent avec la nôtre. En effet, une tendance à la hausse de la pluviométrie à Abidjan sur la période 1985-2015 a été observée [7]. Notons que leurs résultats montrent également que cette période se termine par une reprise de la pluviométrie entre 2014 et 2015. De plus, les références [5] et [6] mettent également en exergue une reprise de la pluviométrie sur le littoral, au Nord, Nord-ouest et Sud-Ouest entre 2015 et 2017. Ces auteurs mentionnent par contre un déficit pluviométrique dans le Centre-Ouest du pays. A Korhogo plus particulièrement, une reprise de la pluviométrie est enregistrée à partir de 2014. Des excédents pluviométriques sont également soulignés à Tafiré, Dabakala, Séguéla, Bouaké, Dimbokro. Mais à Grand-Lahou, un déficit est enregistré vers la fin de la période d'étude qui se situe entre 2010 et 2013 [21].

3.1.2 EVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE EN CÔTE D'IVOIRE

L'analyse des données montre que le littoral ivoirien enregistre une tendance générale au réchauffement sur la période d'étude (Figure 3). L'observation des coefficients de détermination indique que le réchauffement est davantage marqué à Abidjan ($R^2=0,47$) Grand-Lahou ($R^2=0,31$) et plus particulièrement à San-Pedro où R^2 atteint 0,59. Dans la région forestière, les coefficients de détermination (R^2) calculés sont faibles. Ils traduisent ainsi une faible augmentation de la température à Man ($R^2=0,09$), Gagnoa ($R^2=0,01$) et Daloa ($R^2=0,03$). La ville d'Abengourou se démarque avec une augmentation de la température plus marquée avec $R^2=0,24$. Dans le centre du pays, à savoir les stations de Bouaké, Dimbokro et Yamoussoukro, l'augmentation de la température est également marquée. Ces tendances haussières importantes se justifient par des coefficients de détermination élevés compris entre 0,22 et 0,3. L'analyse des SPI calculés pour les stations de Bondoukou, Korhogo, Odienné et Séguéla révèle une tendance haussière de la température sur la période d'étude. Cette augmentation de la température est significative à Odienné ($R^2=0,19$) et Korhogo ($R^2=0,29$) et Bondoukou ($R^2=0,27$). Quant à la station de Séguéla, le coefficient de détermination obtenu est 0,08. L'augmentation de la température est donc moins significative dans cette localité.

De façon générale, l'analyse de l'évolution de la température révèle une hausse généralisée de la température sur le territoire ivoirien. Néanmoins, cette tendance haussière est statistiquement significative sur le littoral, au nord, au centre du pays. Les stations de l'Ouest et du Centre-Ouest sont quant à elles marquées par une augmentation thermique relativement faible. D'autres études ont également montré une tendance à la hausse de la température sur le territoire ivoirien. La référence [16] a mené une étude sur l'évolution du climat à l'échelle de la Côte d'Ivoire sur la période 1961-2016. Les résultats de ces travaux indiquent une tendance générale à la hausse des températures annuelles à Odienné, Daloa, Man, Sassandra, Dimbokro et Tabou sur la période 1961-2016. La Côte d'Ivoire entière s'inscrit donc dans le contexte du réchauffement climatique général observé ces dernières années. Par ailleurs, à l'aide du logiciel RCLIMDEX, l'évolution de l'indice des amplitudes thermiques diurnes a été détectée [2]. Les résultats montrent une tendance à la hausse de la température diurne à Daloa, Gagnoa et Sassandra. En clair, à Daloa, une hausse de $0,015^\circ\text{C}$ par an est enregistrée. En ce qui concerne les stations de Gagnoa et de Sassandra, cette hausse est respectivement de $0,016^\circ\text{C}$ et de $0,011^\circ\text{C}$.

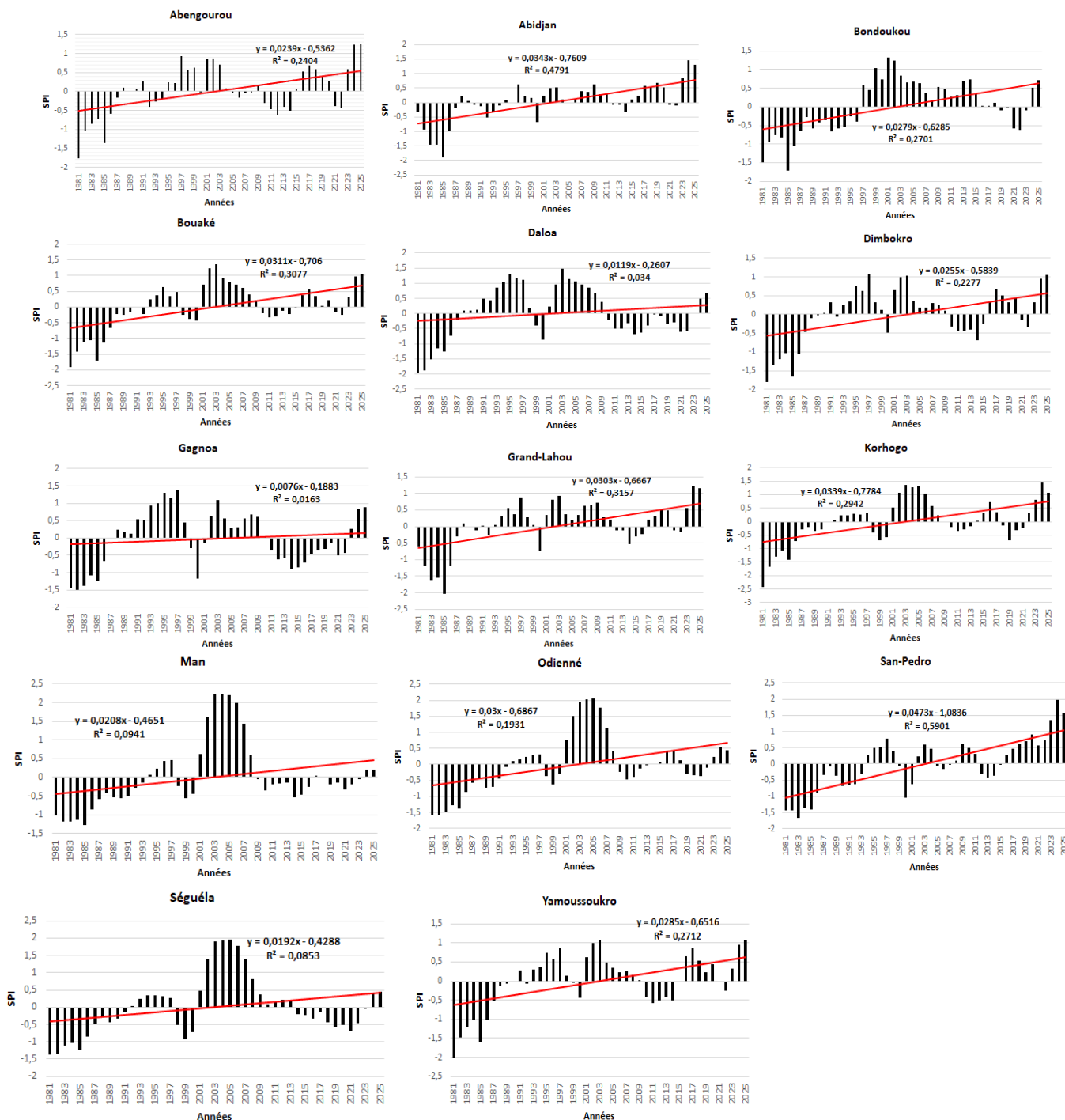


Fig. 3. Evolution tendancielle de la température en Côte d'Ivoire

Certains auteurs ont étudié l'évolution de la température en Côte d'Ivoire. En effet, l'indice Tx10P (pourcentage des jours froids) et l'indice Tx90P (pourcentage de jours chauds) étudiés montrent une évolution de la température [25]. Ils mettent en évidence la baisse progressive du pourcentage de jours froids et une hausse des jours chauds dans la région de la Marahoué. Dans la même étude, ils soulignent une augmentation des températures extrêmes dans la région de la Marahoué. En clair, l'étude montre une tendance à la hausse de la température moyenne maximale. Dans cette région, les températures moyennes minimales quotidiennes sont toutes supérieures à 21°C entre 1987 et 2010.

3.1.3 RUPTURES ET VARIATION DE LA PLUVIOMÉTRIE ET DE LA TEMPÉRATURE

Le tableau 1 met en exergue les années de rupture détectées pour la pluviométrie les quatorze stations utilisées pour cette étude.

Tableau 1. Rupture dans la série pluviométrique et thermique

	Stations	Années de rupture de la pluviométrie	Variation (%)	Années de rupture de la température	Variation (°C)
Littoral	Abidjan	2013	20,4	2001	0,2
	Grand-Lahou	2013	22,9	1986	0,6
	San-Pedro	2012	31,2	1993	0,4
Régions forestières	Abengourou	2008	13,5	1986	0,6
	Gagnoa	2009	25,9	1986	0,7
	Daloa	2009	19,7	1986	1
	Man	2013	33,1	1992	0,8
Centres	Bouaké	1988	-12,6	1986	0,9
	Dimbokro	2008	12,9	1986	0,8
	Yamoussoukro	1982	-21,3	1989	0,7
Nord	Bondoukou	2018	24,1	1997	0,6
	Korhogo	1982	-23	2000	0,8
	Odienné	1989	-23,4	2000	1
	Séguéla	2013	31,5	2000	0,6

Concernant le littoral et les régions forestières, les années de ruptures varient en fonction des stations. Les stations d'Abidjan, Grand-Lahou, San-Pedro, Abengourou, Daloa, Gagnoa et Man affichent des ruptures récentes qui se situent entre 2009 et 2013. Les variations sont positives, dépassant 20% à Abidjan, Grand-Lahou et Gagnoa, et atteignant plus de 31 % à San-Pedro et 33% à Man. Au centre de la Côte d'Ivoire, Bouaké et Yamoussoukro présentent des ruptures anciennes, respectivement en 1988 et 1982, avec des diminutions marquées dépassant 12% pour Bouaké et 21% pour Yamoussoukro. À l'inverse, Dimbokro affiche une rupture en 2008, associée à une hausse de près de 13%. Dans le Nord ivoirien, les stations de Bondoukou, Korhogo, Odienné et Séguéla présentent des ruptures pluviométriques hétérogènes. Celle de Bondoukou et Séguéla sont plus récentes. Elles se situent respectivement à 2018 et 2013. Par contre, Korhogo et Odienné enregistre une rupture plus ancienne, entre 1982 pour Korhogo 1989 pour Odienné. La diminution de la pluviométrie atteint de 23% à Korhogo et Odienné. En revanche, Bondoukou (24,1%) et Séguéla (31,5) enregistrent une hausse de la pluviométrie. La référence [17] montre une rupture dans la série pluviométrique à Bouaké en 1972, Dimbokro en 1968, Dabakala 1968 et Tiassalé 1969 suivi de déficit pluviométrique allant jusqu'à 24 %. Une hausse de 2°C de la température est observée entre 1991 et 2000 [24]. Par contre, une comparaison de 2008 (2005 par rapport à celle de 1961-1990 montre un réchauffement de 0,9°C en Côte d'Ivoire [8].

3.2 EVOLUTION SAISONNIÈRE DE LA PLUVIOMÉTRIE ET DE LA TEMPÉRATURE APRÈS RUPTURE

3.2.1 EVOLUTION DE LA PLUVIOMÉTRIE APRÈS RUPTURE

La figure 4 montre les IDDH calculés avant et après l'année de rupture. Cette figure permet de voir la variation de la pluviométrie mensuelle par station.

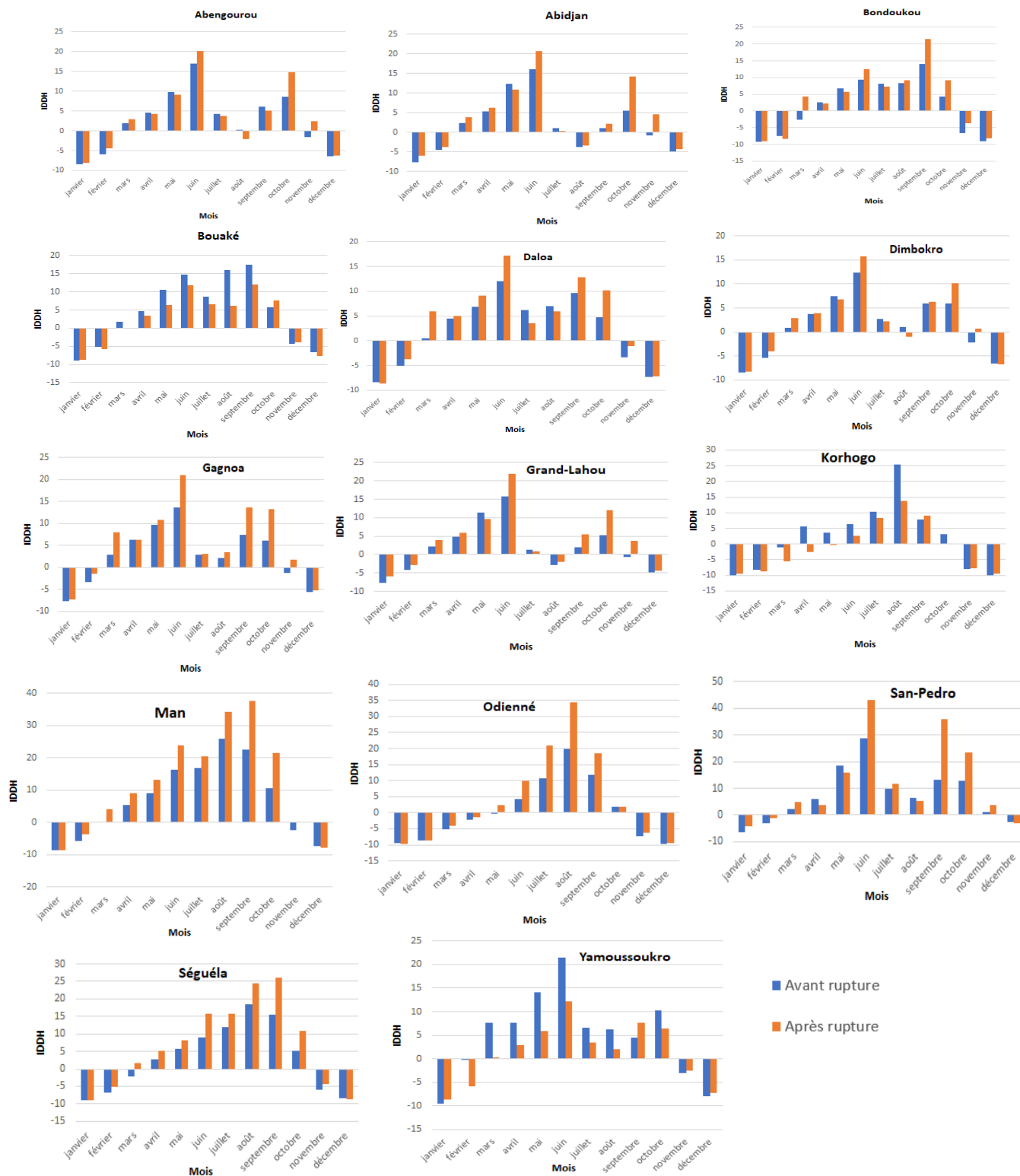


Fig. 4. Evolution saisonnière de la pluviométrie après rupture

Dans la zone forestière, les saisons pluvieuses se sont renforcées. À Abengourou, Gagnoa, Daloa et surtout Man, l'indice (IDDH) calculé indique une augmentation générale des pluies mensuelles après l'année de rupture. Ce constat est plus marquant au niveau de la grande et petite saison pluvieuse à Abengourou, Daloa et Gagnoa. A Man, sur l'unique saison pluvieuse de huit mois, la période d'après rupture est également mieux arrosée. Sur le littoral, la pluviométrie mensuelle se

renforce après la rupture. À Abidjan, Grand-Lahou et surtout San-Pedro, les mois de juin, septembre et octobre affichent une nette augmentation de l'IDH après la rupture. Cependant, le mois de mai se caractérise par une dégradation de la pluviométrie. Dans l'ensemble, la petite saison des pluies se renforce à Abidjan, Grand-Lahou et San-Pedro. La pluviométrie du mois de novembre semble se renforcer le faisant basculer dans la petite saison pluvieuse à Abidjan et Grand-Lahou. Dans les stations du centre de la Côte d'Ivoire, la situation de Bouaké et Yamoussoukro convergent. En effet, dans ces localités, la saison pluvieuse connaît une dégradation. Les mois à IDH positifs indiquent une baisse de la pluviométrie après rupture sauf octobre. Le mois de mars bascule ainsi en situation sèche. Toutefois, Dimbokro fait exception, avec un renforcement des précipitations en juin et octobre.

Dans le nord de la Côte d'Ivoire, précisément à Odienné et Séguéla, l'IDH calculé montre une augmentation de la pluviométrie mensuelle après rupture notamment pour les mois d'avril à octobre. Bondoukou suit plus ou moins la même tendance, avec un mois de juin et septembre plus pluvieux après la rupture. En revanche, à Korhogo, la situation est différente. La saison pluvieuse se dégrade depuis la rupture diminuant ainsi les quantités de pluie reçues pendant la saison pluvieuse. Seul septembre semble enregistrer d'importante quantité de pluie après rupture. En définitive, les saisons pluvieuses se renforcent ces dernières années en Côte d'Ivoire sauf à Korhogo, Bouaké et Yamoussoukro. Sur la période 1941-2016, un glissement des saisons pluvieuses de mai, juin et juillet avant 1970 à avril, mai, juin après 1970 à Abidjan, Sassandra et Tabou a été détecté [17]. A Bouaké, la saison août-sept-octobre passe à juillet-août et septembre. A Tanda au nord-est de la Côte d'Ivoire, des auteurs observent une modification du régime pluviométrique unimodal qui régnait dans cette localité entre 1977 et 1984. En clair, de 1977 à 1984, l'unique saison des pluies dure six mois et part de mai à octobre. Cependant, entre 2015 et 2019, cette unique saison pluvieuse s'est segmentée en deux. Une première saison des pluies part d'avril à juin et la seconde d'août à octobre [15].

3.2.2 EVOLUTION MENSUELLE DE LA TEMPÉRATURE APRÈS RUPTURE

La figure 5 met en exergue une augmentation de la température mensuelle après l'année de rupture en Côte d'Ivoire sur la période 1981-2025. Le Nord ivoirien (Bondoukou, Korhogo, Odienné et Séguéla) connaît une augmentation thermique mensuelle. Le réchauffement affecte particulièrement les saisons sèches, notamment entre janvier et mars ainsi qu'en fin d'année entre novembre et décembre. La station de Séguéla présente particulièrement une augmentation plus marquée. Ensuite, dans le centre du pays (Bouaké, Dimbokro et Yamoussoukro), une hausse de la température mensuelle est également observée. A Bouaké, elle est plus marquée de janvier à septembre ainsi qu'en décembre. Par contre à Dimbokro et Yamoussoukro, elle est importante entre juillet et août. Concernant le Sud forestier et le littoral, les températures mensuelles ont largement augmenté, notamment à Daloa, Gagnoa et Man, Grand-Lahou et San-Pedro. Cette augmentation touche tous les mois de l'année. A Abidjan, le réchauffement est constaté en milieu d'année entre juillet et novembre.

Des études soulignent une augmentation de la température en Côte d'Ivoire et en Afrique de l'Ouest. Des auteurs ont trouvé des résultats similaires aux nôtres. De façon explicite, la référence [9] a également observé une élévation journalière de la température dans le Centre-Est ivoirien entre 2015 et 2016, atteignant souvent 41°C. Cette élévation de la température est désignée par ces auteurs comme un facteur important dans la prévalence des feux de brousse dans cette partie de la Côte d'Ivoire. Sur toute la zone ouest africaine, un réchauffement général saisonnier est observé [20]. En effet, ils mettent en exergue un réchauffement général de 1 à 3°C en Afrique de l'Ouest. En ce qui concerne la variation thermique saisonnière, le réchauffement est faible sur la saison mars-avril-mai et plus important en décembre-janvier-février, juin-juillet-août ainsi que septembre-octobre-novembre.

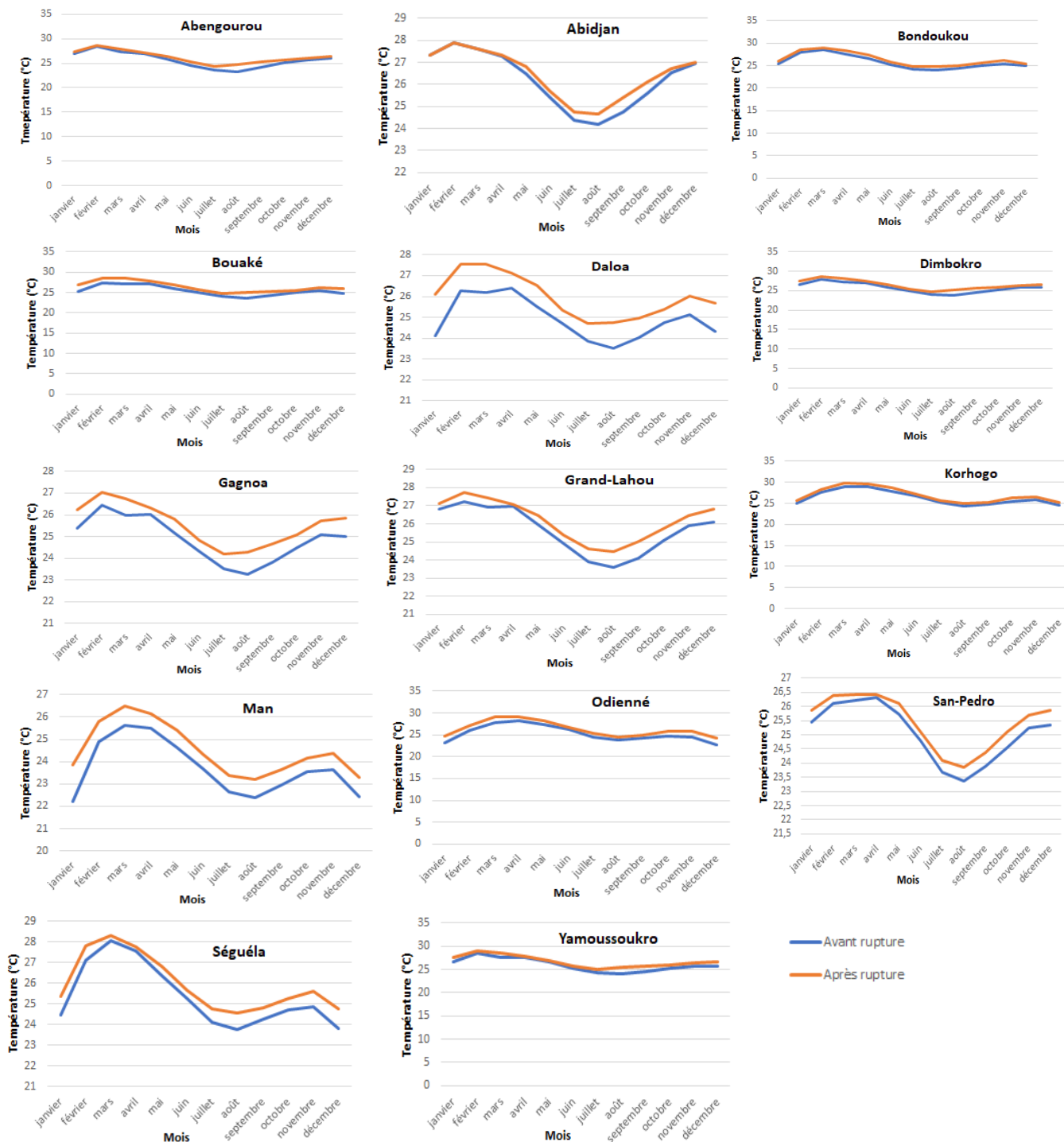


Fig. 5. Evolution mensuelle de la température après rupture

4 CONCLUSION

La Côte d'Ivoire connaît une reprise pluviométrique depuis 2014, après trois décennies déficitaires. Parallèlement, les températures augmentent sur l'ensemble du territoire. Les ruptures observées entre 2009 et 2013 confirment un changement marqué du régime pluviométrique, avec des hausses importantes sur le littoral et en zone forestière. De plus, les saisons pluvieuses se renforcent dans la majorité des stations, tandis que Korhogo, Bouaké et Yamoussoukro restent en marge de cette dynamique. L'élévation thermique, plus forte sur la façade maritime et durant la saison sèche au Nord, inscrit clairement le

pays dans le réchauffement climatique global. Ainsi, il apparaît nécessaire d'assurer un suivi climatique continu afin de vérifier la persistance de ces tendances et de détecter de nouvelles ruptures. De même, une analyse élargie aux autres paramètres climatiques et à leurs impacts sur les systèmes agro-alimentaires permettrait d'améliorer la compréhension des risques et de soutenir les stratégies d'adaptation.

REFERENCES

- [1] J. A. Angoua, Variabilité hydroclimatique et inondation dans la région ivoirienne du Sud-Comoé: simulation et projection à l'échelle locale de 1980 à 2100, Thèse de doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, 2023, 351 p.
- [2] K. N. D. Atcheremi, J. P. R. Jourda, M. B. Saley, et K. J. Kouamé, «Étude de l'évolution des extrêmes pluviométriques et de température dans le bassin versant de rivière Davo (sud-ouest de la Côte d'Ivoire) à partir de certains indices du logiciel RCLIMDEX,» *Larhyss Journal*, no. 36, pp. 99–117, 2018.
- [3] I. Boursali, K. B. Hamed, et A. Bouanani, «Analyse de la variabilité climatique et ses impacts sur les ressources en eau dans le bassin versant de l'oued Khemis, Algérie,» *Vertigo / Open Edition Journals*, 12 p., 2025.
- [4] Y. T. Brou, *Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire*, Mémoire d'habilitation, Univ. des Sciences et Technologies de Lille, 2005, 226 p.
- [5] K. A. Coulibaly, Impacts des séquences sèches sur les calendriers culturels du riz en Côte d'Ivoire, Mémoire de Master, Univ. Félix Houphouët-Boigny, 2016, 127 p.
- [6] K. A. Coulibaly, P. A. Dibi-Kangah, et B. Z. Koli, «Variations interannuelles récentes des paramètres climatiques majeurs en Côte d'Ivoire depuis 1951,» *Climat et Développement*, pp. 5–16, 2019.
- [7] B. I. Diomandé, K. A. Coulibaly, et G. Mahé, «Baisse du bilan hydrologique et ses impacts dans le Denguélé, nord-ouest de la Côte d'Ivoire,» *Climat et Développement*, pp. 23–35, 2014.
- [8] B. Dje, Programme National Changement Climatique (PNCC) - Document de stratégie 2015-2020, 2014, 84 p.
- [9] F. N. E. Kassi, B. Dje, K. A. Coulibaly, et A. N. Kouakou, «Facteurs climatiques et incendies de végétation dans les régions de l'Iffou, du Moronou et du N'Zi,» in *Changement Climatique en Afrique Subsaharienne: de la Vulnérabilité à l'Adaptation*, pp. 48–66, 2021.
- [10] Y. M. Hu, C. X. Yang, Z. M. Liang, X. Y. Luo, Y. X. Huang, et C. Tang, «A no-Parametric Approach for Change-Point Detection of Multi-Parameters in Time-Series Data,» *Journal of Environmental Informatics*, vol. 42, no. 1, pp. 65–74, 2023.
- [11] Initiative Cacao-Forêt, Rapport annuel initiative cacao et forêts Côte d'Ivoire, 2022, 19 p.
- [12] IFDC Côte d'Ivoire, *Developing agriculture from the Ground Up*, Rapport d'activités, 2022, 22 p.
- [13] Institut National de la Statistique, *Résultats globaux RGPH-2021*, 2022, 37 p.
- [14] K. Kouadio, A. Konare, A. Diawara, B. K. Dje, V. O. Ajayi, et A. Diedhiou, «Assessment of Regional Climate Models over Côte d'Ivoire and Analysis of Future Projections over West Africa,» *Atmospheric and Climate Sciences*, vol. 5, pp. 63–81, 2015.
- [15] A. L. Kouakou, A. M. K. Kouassi-Koffi, J. B. Gnamba, et J. C. Yao, «Incidences de la variabilité pluviométrique sur la production de l'igname dans le terroir de Guiendé,» in *Changement Climatique en Afrique Subsaharienne*, pp. 265–281, 2021.
- [16] J. M. Kouao, O. B. Tagnon, B. Koffi, A. M. Kouassi, K. A. Kouassi, et D. L. Gone, «Variabilité et tendances interannuelles du climat à l'échelle de la Côte d'Ivoire sur 1961–2016,» *European Scientific Journal*, vol. 20, no. 33, pp. 218–240, 2024.
- [17] A. M. Kouassi, K. F. Kouamé, B. T. A. Goula, T. Lasm, J. E. Paturel, et J. Biémi, «Influence de la variabilité climatique et de la modification de l'occupation du sol sur la relation pluie-débit dans le bassin du N'Zi,» *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, no. 11, pp. 207–229, 2008.
- [18] G. Mercado-Mancera, E. Troyo-Diéguez, A. Aguirre-Gómez, B. Murillo-Amador, L. F. Beltrán-Morales, et J. L. García-Hernández, «Calibración y aplicación del índice de aridez de Martonne...,» *Uciencia*, vol. 26, no. 1, pp. 51–64, 2010.
- [19] Ministère du Plan et du Développement, Plan National de Développement PND 2021-2025, Tome 1, Diagnostic stratégique, 2021, 200 p.
- [20] G. Nakoulma et J. M. Dipama, «Caractérisation des extrêmes climatiques en Afrique de l'Ouest,» in *Changement Climatique en Afrique Subsaharienne*, pp. 111–132, 2021.
- [21] C. N'Da, Variabilité hydroclimatique et mutations agricoles dans un hydrosystème anthropisé: le bassin du Bandama, Thèse de doctorat, Univ. Félix Houphouët-Boigny, 2016, 271 p.
- [22] A. B. N'Guessan et B. Dje, «Changements climatiques, agriculture et sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne: cas de la Côte d'Ivoire,» *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, no. 2, pp. 5–15, 2012.
- [23] J. E. Paturel, E. Servat, B. Kouamé, J. F. Boyer, H. Lubes-Niel, et J. M. Masson, «Procédures d'identification de ruptures dans des séries chronologiques...,» in *L'hydrologie tropicale*, IAHS Publ. 238, pp. 99–110, 1996.
- [24] S. O. Sohoun, C. N'Da, et P. Dibi-Anoh, «Caractérisation du réchauffement climatique à travers les indices des températures extrêmes,» in *Changement Climatique en Afrique Subsaharienne*, pp. 166–175, 2021.
- [25] A. F. Yapi, O. J. Kpan, B. V. N'Guessan, B. A. Blanchard, et M. S. Oga, «Analyse des extrêmes de températures de la région de la Marahoué (1980–2013),» *Afrique Science*, vol. 25, no. 6, pp. 32–45, 2024.

Analyse corrélative sur l'évolution du débit du fleuve Congo et son impact sur la production de l'énergie hydroélectrique du barrage d'Inga de 1990 à 2021

[Correlative analysis of changes in the Congo River's discharge and its impact on hydroelectric power production at the Inga Dam from 1990 to 2021]

Kuasa Guyguy Guillaume¹, Shuku Onemba Nicolas², Wetshindjadi Loshakoy Benoît³, and Mavinga Mvumbi Sylvain⁴

¹Enseignant, Département de Géographie et Gestion de l'Environnement, Institut Supérieur Pédagogique de la Gombe, RD Congo

²Professeur, Département de Géographie, Environnement et Géomatique, Université d'Ottawa, Chercheur associé à l'université Laval et Attaché de recherche à l'Institut Géographique du Congo, RD Congo

³Enseignant, Section Météorologie, Option: Environnement, Institut Supérieur des Techniques Appliquées, RD Congo

⁴Faculté des Sciences Agronomiques, Département des Ressources Naturelles, BP 314 Boma, RD Congo

Copyright © 2026 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: An analysis of data on the flow of the Congo River and the energy production of the Inga Dam, from 1990 to 2021, was carried out in order to derive a mathematical equation that would establish a correlation between the two variables. This study yields the equation of the simple linear regression line below: $y=204.618+0.142x$. This equation found will therefore allow us to estimate, based on the water level of the Congo River, the quantity of electrical energy to be produced at the INGA Dam, while considering that the system remains constant. It is observed that the evolutionary trend of the energy production of the Inga Dam follows the rhythm of the evolution of the flow of the Congo River. The evolution of the flow of the Congo River would lead to either positive or negative impacts on the production capacity of the Inga Dam, knowing that this depends on the periods observed. During flood periods, the impact is positive because it increases the production of electrical energy, while during periods of deep low water the impact is negative, it significantly reduces the electrical energy production capacity of the INGA Dam.

KEYWORDS: correlation, evolution, flow, electric energy, dam.

RESUME: Une analyse des données sur le débit du fleuve Congo et la production énergétique du barrage d'Inga, allant de 1990 à 2021 a été effectuée afin d'en dégager une équation mathématique qui permettrait d'établir une corrélation entre les deux variables.

Il ressort de cette étude, l'équation de la droite de régression linéaire simple ci-après: $y=204,618+0,142x$. Cette équation trouvée nous permettra donc d'estimer partant du niveau d'eau du fleuve Congo, la quantité d'énergie électrique à produire au niveau du Barrage d'INGA, tout en considérant que le système reste constant.

On observe que la tendance évolutive de la production énergétique du Barrage d'Inga suit le rythme de l'évolution du débit du fleuve Congo. L'évolution du débit du fleuve Congo entrainerait des impacts soit positifs et négatifs sur la capacité de production du barrage d'Inga, sachant que cela dépend des périodes observées. En période de crue, l'impact est positif car il augmente la production de l'énergie électrique, tandis qu'en période d'étiage approfondie l'impact est négatif, il diminue sensiblement la capacité de production de l'énergie électrique du Barrage d'INGA.

MOTS-CLEFS: corrélation, évolution, débit, énergie électrique, barrage.

1 INTRODUCTION

L'augmentation de la production de l'énergie électrique est synonyme d'amélioration de la qualité de vie et de création de richesse. La production d'électricité, ramenée au nombre d'habitants est donc un bon indicateur permettant de mesurer les écarts de développement entre les différentes régions du monde (Tebani H, 2020). De cette situation, Mavinga (2023) affirme qu'il y a la facilité d'offrir la fourniture permanente de l'énergie électrique dans la réalisation de nombreuses activités commerciales, véritable élément attractif.

Aujourd'hui, le monde en générale, la République Démocratique du CONGO en particulier sont confrontés au phénomène du changement climatique. Ce dernier crée de graves conséquences dû à un dérèglement climatique, qui a comme conséquence la disparition des espèces, la sécheresse, la perturbation du cycle climatique et le tarissement des cours d'eau (UNICEF, 2021)¹.

A cet effet, le programme africain d'adaptation au changement climatique (PAA) avec l'appui du programme des Nations Unies pour le développement « PNUD » en sigle ont organisés des assises pour la réflexion sur l'impact socio – économique que pourrait occasionner le tarissement des cours d'eaux, fleuve et les lacs africains.

La connaissance de l'évolution du débit du fleuve Congo serait donc un élément important pour une bonne gestion de la productivité hydroélectrique du barrage d'INGA.

Le barrage d'INGA en RDC considéré comme les plus puissants en Afrique, a accusé une importante régression ou baisse de production dû à l'étiage des eaux du fleuve Congo (Rapport de la SNEL, 2015). Comme nous l'avons prédit, la connaissance du degré de corrélation existant entre les débits du fleuve Congo et la production de l'énergie électrique reste une préoccupation majeure pour espérer contrôler la gestion de la production électrique au sein du Barrage d'INGA.

2 METHODOLOGIE

La réalisation de tout travail scientifique doit obéir à une démarche logique qui impose des règles rigoureuses devant guider l'esprit du chercheur dans l'établissement de la vérité. (H. DUHAMEL, 1986).

Pour notre sujet de recherche, nous avons eu recours à la méthode statistique.

Elle nous a permis de ressortir la valeur de la corrélation « r » existante entre du niveau d'eau du fleuve Congo et la quantité d'énergie électrique produite au niveau du Barrage d'INGA. Ainsi que l'équation de la droite de régression simple. L'interview avec les autorités de la SNEL en focus groupe nous ont fourni les données qualitatives nécessaire pour la compréhension de l'étude.

Notre échantillon était composé essentiellement de trois catégories d'âges, à savoir, les personnes âgées de 18 à 40 ans et de 40 ans ou plus représentant respectivement, 40% et 60% des effectifs.

Tableau 1. La répartition des enquêtés selon le niveau d'étude

Niveau d'âge	Effectif	Résultats (en %)
Enfants (moins de 18 ans)	0	0
Adultes (de 18 à 40 ans)	4	40
Adultes (de 40 ans ou plus)	6	60
Total	10	100%

Source: Enquête personnelle, 2022

Le choix porté sur ces deux catégories d'âge se justifie du fait la majorité des personnels trouvé au Département de production de la SNEL S.A et de la RVF sont d'âges avancés.

¹ <https://www.unicef.org/drcongo/communiqués-de-presse/en-rdc-les-enfants-sont-tres-fortement-exposes-aux-impacts-de-la-crise> consulté le 06/06/2024.

Tableau 2. La répartition des enquêtés selon les différentes composantes enquêtées

N°	Les différentes composantes enquêtées	FREQUENCE	%
1	Personnel de la Société Nationale d'électricité (SNEL)	5	50
2	Personnel de la Régie des Voies Fluviales (RVF)	4	40
3	AUTRES	1	10
	TOTAL	10	100

Source: Enquête personnelle, 2022

Il se dégage du tableau ci-haut que 50% des enquêtés sont de la SNEL. L'enquête menée s'est plus focalisée sur les personnels de la SNEL et particulièrement ceux du Département de Production (DP). 40% des répondants sont de la RVF. 10% soit une personne comprend un expert Hydrologue du Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD).

3 ZONE D'ETUDE, PRESENTATION DU BARRAGE D'INGA

La région d'Inga fait partie de la province du Kongo-central en République Démocratique du Congo, dont le chef-lieu est Matadi. Elle est située à 5°30' de latitude Sud et 13°35' de longitude Est, le long des rapides du fleuve Congo (Voir la figure N°1).

Les barrages d'Hydroélectriques d'Inga sont deux barrages de la République Démocratique du Congo. Ils ont été mis en activité entre 1972 et 1974 pour la première phase (Inga 1) et de 1981 à 1982 pour la deuxième phase (Inga 2).

Ce barrage est inspiré par des projets Belges lancés à l'époque coloniale. En 1925, le colonel Pierre Van Deuren a présenté au roi de Belgique, Albert Premier un plan grandiose de la construction de ce barrage visa à faire de la colonie sa première puissance énergétique du continent, capable d'exporter son électricité. Mais la crise de 1929, la grande dépression, la seconde guerre mondiale ont compromis sa réalisation. Le projet est relancé à la fin de l'époque coloniale en 1958.

Les aménagements hydro - électriques ont pour finalité la production de l'énergie électrique à partir de l'énergie potentielle de l'eau transformée en énergie mécanique par une turbine et ensuite en énergie électrique par alternateur.

Pour toute production hydroélectrique, il est nécessaire de disposer d'un débit d'eau suffisant et aussi régulier que possible et des conditions topographiques du site permettant d'accumuler de l'eau ou d'une dérivation de cours d'eau à partir duquel la hauteur de la chute produite par un barrage sera suffisante pour la production de l'énergie. (SNEL, 2022).

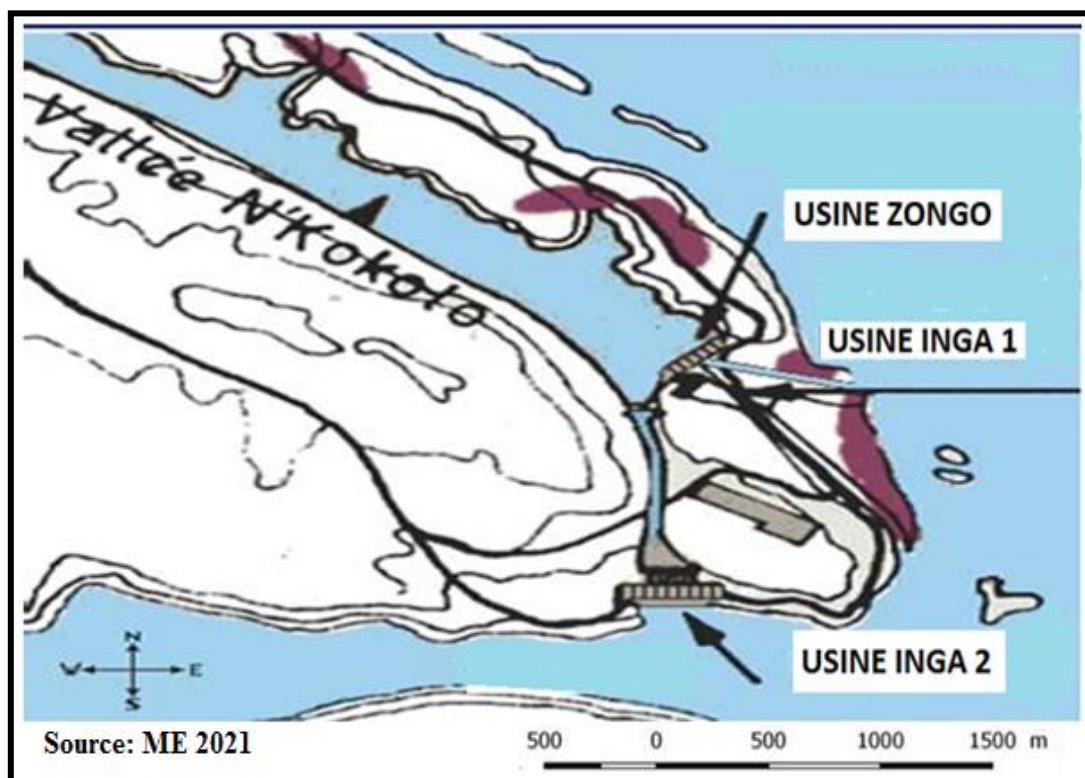


Fig. 1. Barrages d'INGA

4 RESULTATS

Nous présentons ici les résultats de l'analyse des données de l'enquête.

4.1 LA TENDANCE DE L'EVOLUTION DES DEBITS DU FLEUVE CONGO DE 1990 À 2021

A la question de connaître la tendance de l'évolution des débits du fleuve Congo de la période indiquée, nous avons obtenu les résultats repris dans le tableau suivant.

Tableau 3. La tendance de l'évolution des débits du fleuve Congo de 1990 à 2021

La tendance de l'évolution des débits	Effectif	Pourcentage
Hausse	0	0
Baisse	0	0
Oscillant	10	100
Total	10	100

Source: Enquête personnelle, 2022

Il se dégage de nos enquêtes que la totalité des personnels de la SNEL ont affirmées que la tendance de l'évolution des débits du fleuve Congo de 1990 à 2021 est Oscillant.

4.2 LA CORRELATION EXISTANTE ENTRE LES DEBITS DU FLEUVE CONGO ET LA PRODUCTION DE L'ELECTRICITE DU BARRAGE D'INGA

Tableau 4. La corrélation existante entre les débits du fleuve Congo et la production de l'électricité du barrage d'Inga

L'existence de la corrélation	Effectif	Pourcentage
Oui	10	100
Non	0	0
Total	10	100

Source: Enquête personnelle, 2022

Le tableau ci-haut présente la situation telle que tous les enquêtés confirment l'existence de la corrélation entre les deux paramètres sous examen à savoir, le débit du fleuve Congo et la production de l'énergie hydroélectrique. En effet, les enquêtés justifient cette affirmation par le fait que très souvent, si le débit du fleuve Congo diminue, ils observent une baisse de production de l'énergie hydroélectrique.

4.3 L'IMPACT DE L'EVOLUTION DU DEBIT DU FLEUVE CONGO SUR LA PRODUCTION DU COURANT ÉLECTRIQUE DU BARRAGE D'INGA

A la question de savoir si l'évolution du débit du fleuve Congo sur la production du courant électrique des barrages d'INGA, nous avons obtenu les résultats repris dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5. L'impact de l'évolution du débit du fleuve Congo sur la production du courant électrique du barrage d'Inga

L'impact	Effectif	Pourcentage
Oui	10	100
Non	0	0
Total	10	100

Source: Enquête personnelle, 2022

L'ensemble des répondants affirment à 100% que l'évolution du débit aurait une incidence sur la production énergétique du Barrage d'INGA.

4.4 LA NATURE DE L'IMPACT DE L'EVOLUTION DU DEBIT DU FLEUVE CONGO SUR LA PRODUCTION DU COURANT ÉLECTRIQUE DU BARRAGE D'INGA

Les résultats de l'enquête sont repris dans le tableau suivant.

Tableau 6. *La nature de l'impact de l'évolution du débit du fleuve Congo sur la production du courant électrique du barrage d'Inga*

La nature de l'impact	Effectif	Pourcentage
Positif	4	40
Négatif	3	30
Positif et Négatif	3	30
Aucun impact	0	0
Total	10	100

Source: Enquête personnelle, 2022

Il se dégage du tableau ci-dessus que 40% des enquêtés soit la majorité affirme que l'évolution des débits du fleuve Congo a un impact positif sur la production de l'énergie électrique. Ils le justifient par le fait que c'est grâce au niveau d'eau que la SNEL vit et fonctionne. Par contre 30% des enquêtés disent le contraire en évoquant les périodes d'étiages qui d'après eux réduisent la capacité de production du Barrage d'Inga. Enfin la dernière catégorie soit 30% disent que l'évolution du débit du fleuve Congo pourrait entraîner les impacts positifs et négatifs. Ils disent que cela dépend des périodes observées. En période forte de crue, l'impact serait positif car il augmenterait la production de l'énergie électrique, tandis qu'en période d'étiage approfondie l'impact serait négatif car, il diminuerait sensiblement la production de l'énergie électrique.

4.5 L'INCIDENCE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA PRODUCTION DE L'ELECTRICITE DU BARRAGE D'INGA

A la question de savoir si le changement climatique a-t-il une influence sur la production de l'électricité du barrage d'Inga, nous avons obtenu les résultats repris dans le tableau suivant:

Tableau 7. *L'incidence du changement climatique sur la production de l'électricité du Barrage d'Inga*

L'incidence du changement climatique	Effectif	Pourcentage
Oui	10	100
Non	0	0
Total	10	100

Source: Enquête personnelle, 2022

La majorité des enquêtés soit le 100% ont affirmés que le changement climatique a effectivement une incidence sur la production du courant électrique du barrage. Si le niveau d'eau diminue sensiblement suite aux conditions climatiques, la production du courant électrique aussi serait entamée.

4.6 ANALYSE DE LA COURBE DE L'EVOLUTION DES DEBITS CUMULES DU FLEUVE CONGO DE 1990 À 2021

L'analyse de la courbe de l'évolution des débits du fleuve Congo est importante car, elle nous permet de ressortir le régime hydrographique en présence. Nous pourrions de ce fait connaître le comportement hydrologique du fleuve et aussi faire des projections préventives.

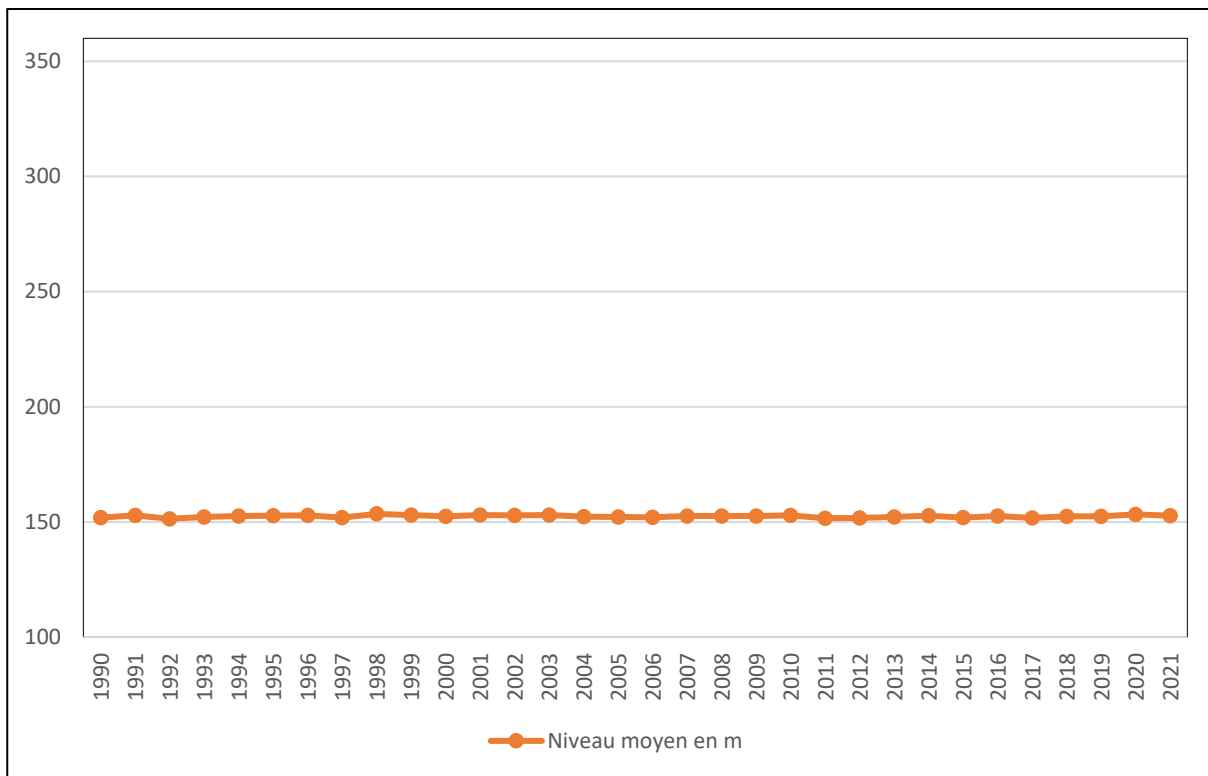
Pour arriver à ces fins, nous présentons les données annuelles cumulées de débit du fleuve Congo qui nous permettrons d'élaborer la courbe évolutive des débits du fleuve Congo.

Les données recueillies sont représentées dans le tableau suivant.

Tableau 8. Les données annuelles cumulées de débit du fleuve Congo exprimées en mètre (hauteur d'eau)

N°	Année	Niveau moyen en m (x)
1	1990	151,84
2	1991	152,82
3	1992	151,40
4	1993	152,17
5	1994	152,58
6	1995	152,76
7	1996	152,80
8	1997	151,90
9	1998	153,50
10	1999	152,94
11	2000	152,46
12	2001	152,99
13	2002	152,92
14	2003	152,98
15	2004	152,26
16	2005	152,11
17	2006	152,00
18	2007	152,57
19	2008	152,60
20	2009	152,59
21	2010	152,89
22	2011	151,56
23	2012	151,81
24	2013	152,18
25	2014	152,71
26	2015	151,87
27	2016	152,58
28	2017	151,72
29	2018	152,43
30	2019	152,39
31	2020	153,29
32	2021	152,71

Source: Régie de Voies Fluviales/RDC, 2021



Graphique N°1. Courbe de l'évolution des débits cumulés du fleuve Congo de 1990 à 2021.

Source: Réalisation personnelle, 2022

Sur base des données de la RVF dégagé du tableau N°8 et graphique N°1 ci-dessus que la tendance évolutive des débits du fleuve Congo est plus ou moins modérée dans le temps. On dénote toute fois une situation d'oscillation du débit du fleuve Congo en 2020, soit 153,29 m³/S. Cette situation serait due au changement climatique.

4.7 ANALYSE DE LA COURBE DE L'EVOLUTION DES DONNEES CUMULEES DE L'ENERGIE ÉLECTRIQUE DU BARRAGE D'INGA DE 1990 À 2021

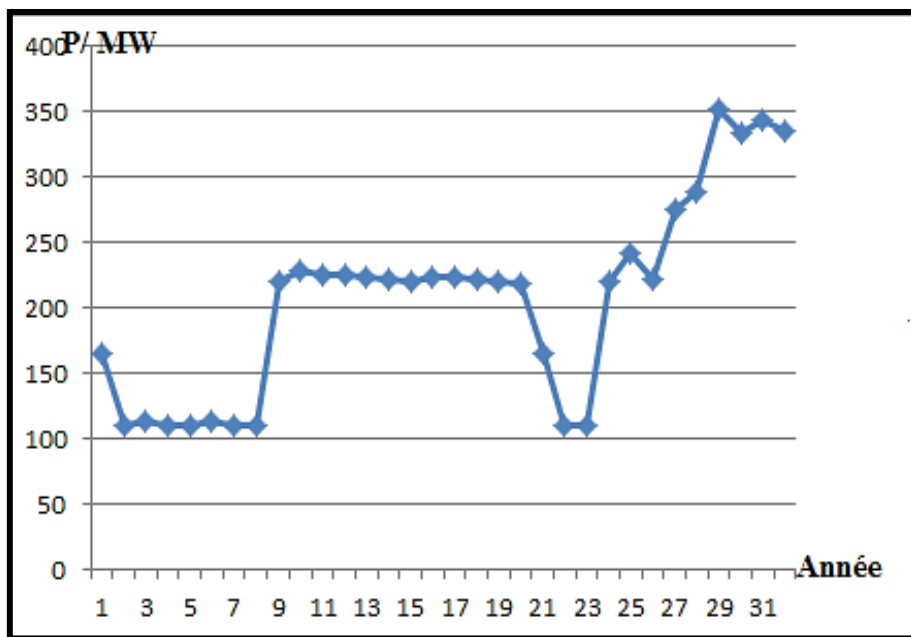
L'analyse de l'évolution de la production de l'énergie électrique du Barrage d'INGA de 1999 à 2021 est importante dans la mesure où elle nous permettra d'effectuer une analyse corrélative avec les débits du fleuve Congo.

Les données de la production annuelles cumulées de l'énergie hydro électriques du Barrage d'INGA sont représentés dans le tableau suivant.

Tableau 9. Les données annuelles cumulées de l'énergie hydro électriques du Barrage d'INGA

N°	Année	Puissance atteinte à Inga 1 en MW (Y)
1	1990	166
2	1991	110
3	1992	113
4	1993	110
5	1994	110
6	1995	113
7	1996	110
8	1997	110
9	1998	221
10	1999	228
11	2000	226
12	2001	226
13	2002	224
14	2003	222
15	2004	221
16	2005	224
17	2006	223
18	2007	222
19	2008	220
20	2009	219
21	2010	165
22	2011	110
23	2012	110
24	2013	220
25	2014	242
26	2015	222
27	2016	276
28	2017	288
29	2018	352
30	2019	334
31	2020	344
32	2021	336
Total Général Σ		

Source: Société Nationales d'Electricité (SNEL), 2022



Graphique N°2. La courbe de l'évolution de la production de l'énergie hydro électrique cumulée du Barrage d'INGA de 1990 à 2021

Source: Réalisation personnelle sur base des données de la SNEL

Il se dégage du tableau N°9 et graphique ci-dessus que la tendance évolutive de la production énergétique du Barrage d'Inga est plus ou moins modérée dans le temps. On observe toutefois l'augmentation très marquée des productions énergétiques en 2018, 2019, 2020 et 2021. Cette augmentation serait due d'après les experts de la SNEL à la remise en état des groupes turbines et des travaux des dragages.

La faible production de l'énergie électrique du Barrage d'Inga s'observe de la période allant de 1991 à 1994 et 1996 à 110 avec plus ou moins 110MW.

4.8 ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES COLLECTEES

Nous procédons à l'analyse statistique des données collectées en vue de dégager la corrélation existante entre les débits du fleuve Congo et la production de l'énergie hydro électriques produite au Barrage d'Inga. En d'autres termes, nous voulons savoir si le débit du fleuve Congo a une influence étroite sur la production de l'énergie électrique. Ainsi donc, la recherche du coefficient de corrélation est primordiale.

Tableau 10. Calcul du coefficient de corrélation

N°	Année	Niveau moyen en m (X)	Puissance atteinte à Inga en MW (Y)	X ²	Y ²	XY
1	1990	151,84	166	23055,3856	27556	25205,44
2	1991	152,82	110	2335,9524	12100	16810,2
3	1992	151,40	113	22921,9600	12769	17108,2
4	1993	152,17	110	23155,7089	12100	16738,7
5	1994	152,58	110	23280,6564	12100	16783,8
6	1995	152,76	113	23335,6176	12769	17261,88
7	1996	152,80	110	23347,8400	12100	16808
8	1997	151,90	110	23073,6100	12100	16709
9	1998	153,50	221	23562,2500	48841	33923,5
10	1999	152,94	228	23390,6436	51984	34870,32
11	2000	152,46	226	2344,0516	51076	34455,96
12	2001	152,99	226	23405,9401	51076	34575,74
13	2002	152,92	224	23384,5264	50176	34254,08
14	2003	152,98	222	23402,8804	49284	33961,56
15	2004	152,26	221	23183,1076	48841	33649,46
16	2005	152,11	224	23137,4521	49284	34072,64
17	2006	152,00	223	23104,0000	49729	33896
18	2007	152,57	222	23277,6049	49284	33870,54
19	2008	152,60	220	23286,7600	48400	33572
20	2009	152,59	219	23283,7080	47961	33417,21
21	2010	152,89	165	23375,3521	27225	25226,85
22	2011	151,56	110	22970,4336	12100	16671,6
23	2012	151,81	110	23046,2761	12100	16699,1
24	2013	152,18	220	23158,7524	48400	33479,6
25	2014	152,71	242	23320,3441	58564	36955,82
26	2015	151,87	222	23064,4969	49284	33715,14
27	2016	152,58	276	23280,6564	76176	42112,08
28	2017	151,72	288	23048,9584	82944	43695,36
29	2018	152,43	352	23534,9049	123904	53655,36
30	2019	152,39	334	23222,7121	111556	50898,26
31	2020	153,29	344	23497,8241	118336	52731,76
32	2021	152,71	336	23320,3441	112896	51310,56
TOTAL		4878	6617	772981	1543015	1009096

En probabilités et en statistiques, étudier la corrélation entre deux ou plusieurs variables aléatoires ou statistiques numériques, c'est étudier l'intensité de la liaison qui peut exister entre ces variables.

Le type le plus simple de liaison est la relation affine. Dans le cas de deux variables numériques, elle se calcule à travers une régression linéaire. La mesure de la corrélation linéaire entre les deux se fait alors par le calcul du coefficient de corrélation linéaire. Ce coefficient est égal au rapport de leur covariance et du produit non nul de leurs écarts types. Le coefficient de corrélation est compris entre -1 et 1.

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 \cdot \sum y^2}}$$

Le calcul statistique effectué dans le tableau ci-dessus dégage les résultats suivants.

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 \cdot \sum y^2}} = \frac{10090,72}{\sqrt{772980,7209}} = \frac{1009095,72}{1092117,59} = 0,9239$$

La valeur de corrélation calculée est de 0,9239.

Nous disons qu'il existe une corrélation très élevée entre le niveau d'eau et la puissance du barrage d'INGA. Ainsi donc, l'augmentation ou la diminution du débit du fleuve Congo entrainerait de façon corrélative, soit une augmentation, soit une baisse ou de la production électrique.

4.8.1 EQUATION DE LA DROITE DE REGRESSION (ANCELLE, T. 2008)

L'équation de la droite de régression simple est importante car elle permet de déduire à partir la connaissance de la hauteur d'eau du fleuve Congo, la quantité d'énergie électrique produite au niveau du Barrage d'INGA.

$$Y = b_0 + b_1X$$

$$\text{Or } b_1 = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}$$

$$b_0 = m_y - b_1.m_x$$

$$b_1 = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b_0 = \frac{\sum y \sum x^2 - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b_1 = \frac{32. (1009096) - 4878 (6617)}{32 (772981) - (4878)^2}$$

$$= \frac{32291072 - 32277726}{24735392 - 23794884}$$

$$= \frac{13346}{940508} = 0,01419$$

$$b_0 = \frac{6617(772981) - 4878 (10096)}{32 (772981) - (4878)^2}$$

$$= \frac{5114815277 - 4922370288}{24735392 - 23794884}$$

$$= \frac{19244989}{940508} = 204,618$$

$$y = b + b_1X$$

$$y = 204,618 + 0,01419x$$

$$y = 204,618 + 0,142x$$

Cette équation trouvée nous permettra donc d'estimer partant du niveau d'eau du fleuve Congo, la quantité d'énergie électrique à produire au niveau du Barrage d'INGA, tout en considérant que le système reste constant.

A titre d'exemple, si la hauteur d'eau du fleuve Congo est de 152 mètres représentant le (X), l'énergie électrique produite (Y) serait de : **206,7764 MW/h**

- $Y = 204,618 + 0,0142 (152)$
- $Y = 204,618 + 2,1584X$
- $Y = 206,7764 \text{ MW/h}$

4.9 LES DISPOSITIONS PREVENTIVES DE LA SNEL S.A FACE À LA BAISSÉ DU DEBIT DU FLEUVE CONGO

Les résultats de l'enquête dénotent que la SNEL S.A a toujours pris des dispositions face à la baisse du débit du fleuve Congo.

4.9.1 ACTIONS À COURT TERME

La SNEL S.A procède au désensablement du canal d'amenée:

- Le dragage forcé (dynamique) à travers les turbines
- Le dragage à l'aide de deux dragues disponibles sur site.

4.9.2 ACTIONS À MOYEN ET LONG TERME

La SNEL S.A prévoit des dispositions suivantes

- Etudes hydrauliques sur base d'un modèle réduit en cours dans le cadre du programme PМЕDE, afin de mettre en place la meilleure méthode de désensablement et le programme exact de sa réalisation.
- La construction du 2ème canal d'amenée dont fin travaux ont pris fin en novembre 2017;
- La mise en œuvre du projet Grand Inga.

La réalisation préalable de la centrale hydroélectrique Inga 3, est une étape transitoire vers le Grand Inga. Selon le gouvernement de la RDC, Inga 3 nécessite une enveloppe globale de 8 milliards USD. Selon l'étude de préfaisabilité que nous nous sommes procurés, la centrale aura une puissance installée de 4320 MW, soit deux fois plus que la puissance des centrales Inga I et Inga II réunies.

Il faut toutefois signaler que ces infrastructures de production d'énergie sont dans un état de dégradation avancée, faute de réhabilitation Inga 1 et 2 ne fonctionnent qu'à 40% de leurs capacités réelles. C'est pourquoi, le gouvernement congolais mobilise les partenaires bilatéraux, multilatéraux et privés dans le cadre de la libéralisation du secteur, en vue d'atteindre les objectifs visant l'accroissement du taux de desserte nationale en électricité et la distribution de l'énergie à grande échelle des autoroutes d'énergies au départ de la RDC (SNEL S.A, 2022)

4.9.3 RECOMMANDATIONS

- La sensibilisation des usagers à l'efficacité énergétique et l'utilisation rationnelle de l'énergie électrique. Ceci devrait se faire avec l'appui de l'Etat congolais et des Partenaires Publics Privés entre autres par:
 - L'utilisation des lampes CFL à faible consommation;
 - La mise en œuvre des lampes solaires pour l'éclairage public qui rapportera une puissance de 250 Watts par luminaire;
 - La promotion des équipements électriques à faible consommation d'énergie s'agissant des nouveaux projets;
 - L'installation des compteurs à prépaiement afin de réduire le gaspillage de l'énergie électrique par les abonnés.
- Encourager les efforts fournis par la communauté internationale et diverses organisations de l'ONU pour lutter contre le changement climatique;
- La réhabilitation des groupes existants dans les centrales;
- La construction des nouvelles installations (Production, Transport et Distribution);
- La diversification des sources de production d'énergie électrique;
- La réduction des pertes par l'approche participative de la clientèle.
- La vulgarisation des notions sur le changement climatique afin que le commun de mortel sache que c'est aujourd'hui une réalité partout dans le monde;
- Poursuite des actions de sensibilisation de la clientèle en rapport avec l'efficacité énergétique pour réaliser une économie significative d'énergie.

REFERENCES

- [1] Mavinga, M., S., Nlandu, N., M., Mananga, M., P., Shambuyi, T., J-B, Nsekanabo, M., D.-E, and Mavungu, M., W., J. (2023), « L'environnement du village Selo Kimbundu: Un capital écologique en péril du secteur de Gombe Matad », International Journal of Innovation and Applied Studies, Vol. 39 No. 1, Mar. 2023, pp. 225-239.
- [2] Tebani H, 2020, Production de l'énergie électrique, Université Hassiba Benbouali.
- [3] R.Van Ganse, 1959, Les débits du fleuve congo à Léopoldville et à Inga.
- [4] F. Misser, 2016, Inga: ambition nécessaire mais projet à murir.
- [5] <https://www.unicef.org/drcongo/communiqués-de-presse/en-rdc-les-enfants-sont-tres-fortement-exposes-aux-impacts-de-la-crise> consulté le 06/06/2024.

Influence des facteurs environnementaux et anthropiques sur la distribution des petits et moyens carnivores du Parc National de Taï, Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire

[Influence of environmental and anthropogenic factors on the distribution of small and medium-sized carnivores in Taï National Park, south-west Côte d'Ivoire]

Kouakou Djakaria DRAMANE¹, Jarvis Brumel KOPOIN¹, Ange Edgar Habib MONKET², Claude-Victorien KOUAKOU¹, and Jean-Claude Koffi BENE¹

¹Laboratoire de Biodiversité et Ecologie Tropicale, UFR Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

²Laboratoire des Milieux Naturels et Conservation de la Biodiversité, UFR Biosciences, Université Felix Houphouët-Boigny, 01 BP V34 Abidjan 01, Cocody, Côte d'Ivoire

Copyright © 2026 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: Taï National Park (TNP) is home to an exceptional wealth of wildlife, with 146 species of mammals, representing 93% of the species found in the western Guinean forest zone. Due to this remarkable biological diversity, numerous conservation and scientific research programs have been implemented there with a view to ensuring the park's sustainable management. However, despite the multitude of studies carried out, knowledge of the ecology of small and medium-sized carnivores remains patchy, mainly due to their discreet lifestyle and predominantly nocturnal activities. The aim of this study was to analyze the influence of certain environmental and anthropogenic factors on the spatial distribution of small and medium-sized carnivores in Taï National Park. To this end, 285 camera traps were deployed throughout the park between March 2019 and February 2020. The results indicate that the distribution of the marsh mongoose and Johnston's genet is positively influenced by distance from research or ecotourism areas, which have high concentrations of these two species. In contrast, the distribution of the brown mongoose, the Liberian mongoose, and the African civet shows no significant relationship with the preselected environmental and anthropogenic variables, suggesting a relatively homogeneous distribution within the park. These results provide useful additional information for managers of Taï National Park and constitute an important scientific basis for improving conservation strategies for small and medium-sized carnivores.

KEYWORDS: Distribution factors, Carnivores, camera traps, Taï National Park.

RESUME: Le Parc National de Taï abrite une richesse faunique exceptionnelle, avec 146 espèces de mammifères, représentant 93 % des espèces de la zone forestière ouest-guinéenne. En raison de cette diversité biologique remarquable, de nombreux programmes de conservation et de recherches scientifiques y ont été mis en œuvre en vue d'assurer une gestion durable du parc. Toutefois, malgré cette multiplicité des études réalisées, les connaissances sur l'écologie des petits et moyens carnivores demeurent encore parcellaire, en raison notamment de leur mode de vie discret et de leur activité majoritairement nocturne. La présente étude avait pour objectif d'analyser l'influence de certains facteurs environnementaux et anthropiques sur la distribution spatiale des petits et moyens carnivores dans le Parc National de Taï. A cet effet, 285 des pièges photographiques ont été déployés dans l'ensemble du parc entre mars 2019 et février 2020. Les résultats indiquent que la distribution de la mangouste des marais et de la genette de Johnston est positivement influencée par la distance à la zone de recherche ou d'écotourisme, lesquelles présentent de fortes concentrations de ces deux espèces. En revanche, la distribution de la mangouste brune, de la mangouste du Libéria) et de la civette d'Afrique ne montre aucune relation significative avec les variables environnementales et anthropiques présélectionnées, suggérant une distribution relativement homogène au sein du parc. Ces résultats fournissent des informations complémentaires utiles aux gestionnaires du Parc National de Taï et constituent une base scientifique important pour l'amélioration des stratégies de conservation des petits et moyens carnivores.

MOTS-CLEFS: Facteurs de distribution, Carnivores, Pièges photographiques, Parc National de Taï.

1 INTRODUCTION

Les régions tropicales se caractérisent par une biodiversité exceptionnellement élevée et des taux d'endémisme supérieurs à ceux observés dans les régions tempérées [1], [2]. A ce titre, certains blocs forestiers de la Haute-Guinée ont été identifiés comme des zones prioritaires pour la conservation de la biodiversité à l'échelle mondiale [2], [3]. Le Parc National de Tai, l'un des plus vastes massifs forestiers intacts d'Afrique de l'Ouest, s'inscrit pleinement dans ce contexte. Il constitue l'un des derniers vestiges des forêts primaires ayant persisté malgré les grandes périodes de sécheresse du quaternaire [4].

L'ancienneté et la relative stabilité écologique de cette forêt expliquent sa remarquable richesse biologique ainsi que la présence de nombreuses espèces endémiques. Le PNT abrite 57 espèces d'amphibiens dont trois espèces endémiques [5], ainsi qu'environ 240 espèces d'oiseaux [6]. Les mammifères y sont également bien représentés, avec près de 146 espèces soit 93 % des espèces de mammifères de la zone forestière ouest-guinéenne [7].

En raison de cette importance écologique, le Parc National de Tai a fait l'objet de plusieurs programmes de conservation et de recherches scientifiques visant à soutenir sa gestion durable [4]. Toutefois, malgré ces nombreuses études réalisées, les carnivores, en particulier les petits et moyens carnivores, demeurent encore faiblement étudiés. Cette lacune s'explique en grande partie par leur mode de vie discret, leur activité majoritairement nocturne et leur faible détectabilité sur le terrain.

Au sein du PNT, seules quelques études se sont intéressées à l'écologie de ces groupes. Les travaux de [8], portant sur les rythmes d'activité des mammifères dans la zone de Recherche en Ecologie et ceux de [9], relatifs à la densité et à l'abondance de certaines espèces cibles de conservation, constituent à ce jour les principales références. Ainsi, aucune étude n'a spécifiquement analysé les facteurs déterminant la distribution spatiale des petits et moyens carnivores dans le Parc National de Tai.

Or, selon [10], une conservation efficace des espèces animales dans leurs habitats naturels repose sur une connaissance approfondie de leur diversité, de leur distribution et des facteurs environnementaux et anthropiques influençant le choix de leurs habitats. C'est dans cette perspective que s'inscrit la présente étude, dont l'objectif est de déterminer l'influence des facteurs environnementaux et anthropiques sur la distribution des petits et moyens carnivores du Parc National de Tai.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 SITE D'ÉTUDE

Le Parc National de Tai est localisé au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire entre 5°08' et 6°24' de latitude Nord et entre 6°47' et 7°25' de longitude Ouest. Il est situé entre les fleuves Cavally et Sassandra (Figure 1). La superficie actuelle du PNT y compris la réserve de N'Zo est de 536 016 ha [6]. Le climat dans le PNT est de type subéquatorial chaud et humide toute l'année [6]. La pluviosité annuelle au PNT varie de 1700 mm au Nord à 2200 mm au Sud [11] et la température mensuelle varie entre 23 °C et 28 °C [12].

2.2 COLLECTE DES DONNÉES

La méthode des transects en point adaptée aux pièges photographiques a été utilisée pour la collecte des données de terrain [13]. L'installation des pièges photographique a été réalisée selon un dispositif constitué d'une grille de maille 4x4 km. Cette grille a été superposée à la carte du PNT, à l'aide du logiciel Qgis 2.14.7. Les sommets de chaque carré (4x4 km) ont été considérés comme les sites d'installation des pièges photographiques (PP). Ainsi, 291 points d'installation de PP ont été retenus (Figure 1). Ces sites de pose ont été visités sur une période de 12 mois, de mars 2019 à février 2020. Au cours de cette période, deux missions de terrain de 10 jours ont été organisées chaque mois. Chaque mission consistait à installer ou à retirer huit (08) pièges photographiques. Chaque piège a été opérationnel pendant deux mois sur chaque site de pose, de manière à couvrir l'ensemble des cinq secteurs du Parc National de Tai: ADK/V6, Djapadji, Djouroutou, Soubré et Tai.

Les PP ont été réglés en mode vidéo avec une résolution minimisée de 5 Mpx, afin de permettre aux cartes mémoires d'enregistrer un plus grand nombre de données. Par ailleurs, les séquences vidéo ont une durée de 60 secondes et un intervalle entre deux détections consécutives de deux (02) secondes [14], [15]. Le point d'installation de chaque PP a été atteint à l'aide du GPS et de la boussole [14], [15], [16] suivant les coordonnées géographiques des sites de pose préalablement insérés dans le GPS. Une fois au point théorique indiqué pour l'installation d'un PP spécifique, le piège photographique a été fixé à un "arbre tuteur" choisi à une hauteur de 0,5 m du sol. Le PP a été installé dans la direction Nord-Sud afin d'éviter les rayons solaires dans l'objectif de l'appareil [14], [15].

Pour la détermination des facteurs qui influenceraient la distribution des espèces de petits et moyens carnivores au PNT, quatre (4) variables explicatives ont été sélectionnées. Il s'agit notamment de la distance à la périphérie du parc la plus proche (V1), la distance à la zone de recherche ou d'écotourisme la plus proche (V2), la distance au cours d'eau le plus proche (V3) et le taux d'indice de braconnage (V4) à chaque site d'installation de PP. Le taux d'indice de braconnage est utilisé dans le cadre de cette étude comme l'équivalent de l'intensité du braconnage [15], [16], [17].

Le choix de ces variables s'appuie sur la connaissance de l'écologie des petits et moyens carnivores et des résultats d'autres travaux qui ont utilisé de tels prédicteurs pour expliquer la distribution de la faune [10], [15], [16], [17], [18], [19].

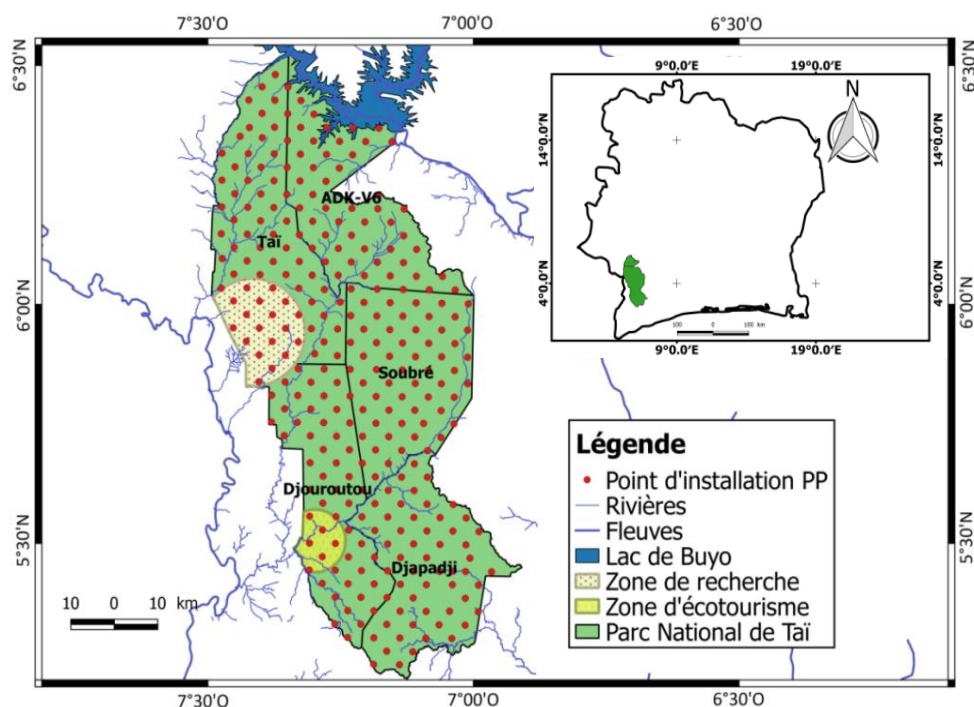


Fig. 1. Localisation du Parc National de Taï et design du dispositif systématique des pièges photographiques

2.3 ANALYSE DES DONNÉES

Dans cette étude, les carnivores ont été classés en fonction de leur masse corporelle à l'âge adulte. Les petits carnivores regroupent les espèces dont la masse corporelle est inférieure à 10 kg, tandis que les moyens carnivores correspondent aux espèces dont la masse corporelle se situe entre 10 kg et 21 kg [20], [21].

La reconnaissance des espèces animales a été possible grâce à nos connaissances personnelles et au guide d'identification des mammifères d'Afrique [22].

2.3.1 EFFORT D'ÉCHANTILLONNAGE

L'effort d'échantillonnage est le nombre de nuit-piège lors du piégeage photographique [23]. Les nuits-pièges (NP), définies comme le rendement global des pièges en fonction de la période d'activité [23]. Elles ont été calculées comme suit: $NP = N_s \times n_p$

Avec : N_s : le nombre total des sites de pose des appareils et n_p : une période de 24 h de pose

2.3.2 DÉTERMINATION DES FACTEURS DE DISTRIBUTION DES ESPÈCES DE PETITS ET MOYENS CARNIVORES

Pour la détermination des meilleurs prédicteurs de la distribution des espèces de petits et moyens carnivores au PNT et le sens de la contribution de chaque variable, des données de présence/absence de chacune de ces espèces ont été utilisées. A partir de ces données, la probabilité d'occupation (probabilité de présence) de chacune de ces espèces a été estimée pour chaque site d'installation sur la base d'un modèle d'occupation de site, prenant en compte les différentes variables [15], [16], [24]. Cette modélisation a été faite au moyen du logiciel PRESENCE version 2.13.18 [25]. Afin de garantir la fiabilité des résultats, les espèces disposant d'un nombre d'enregistrements vidéo ou d'une taille d'échantillon inférieure à 100 ont été exclues de l'analyse, car une taille d'échantillon adéquate est nécessaire pour garantir des résultats fiables [26].

En premier lieu un modèle nul a été généré. Ce modèle nul suppose que la distribution de chaque espèce de petits ou moyens carnivores est homogène au PNT. Ensuite, des modèles successifs impliquant respectivement une ou plusieurs variables explicatives, ont été générés. Après cette étape, les modèles expliquant le mieux la distribution de chacune des différentes espèces de petits et moyens carnivores au PNT (meilleurs modèles) ont été choisis. En effet, les modèles ayant les valeurs d'AIC inférieures à celui du modèle nul (les

valeurs d'AIC les plus faibles) et des valeurs de "Delta AIC" inférieures à deux sont considérés comme les meilleurs modèles [15], [16], [27], [28].

Enfin, en nous référant aux coefficients bêta des variables impliquées dans les modèles retenus (meilleurs modèles), le sens de la corrélation entre chaque variable explicative et la probabilité de présence des petits ou moyens carnivores a été défini. En somme, les variables qui influenceraient la distribution des espèces de petits ou moyens carnivores au PNT sont celles faisant partie des meilleurs modèles et ayant un coefficient bêta de même signe que les bornes de leur intervalle de confiance [27], [28].

2.3.3 RÉALISATION DE LA CARTE DE DISTRIBUTION PRÉDICTIVE DES ESPÈCES DE PETITS ET MOYENS CARNIVORES

La carte de distribution prédictive de chacune des espèces de petits et moyens carnivores au PNT a été réalisée par le biais du logiciel Qgis 2.14.7. Pour produire la carte de distribution prédictive de ces espèces, les coordonnées géographiques de chaque site d'installation de PP ont été liées aux estimations de probabilité d'occupation des petits ou moyens carnivores par site d'installation [15], [29].

La méthode d'interpolation spatiale des probabilités de présence par pondération inverse à la distance "Inverse Distance Weighted" (IDW) a été utilisée [7], [15], [29], [30].

3 RÉSULTATS

3.1 EFFORT D'ÉCHANTILLONNAGE

Au total, 285 PP ont pu être installés au PNT sur les 291 PP préalablement prévus à cet effet car 06 sites ont été non échantillonnés en raison de leur inaccessibilité. Et seules les données de 269 PP ont été prises en compte dans notre analyse. Pour les 16 autres PP n'ayant pas été pris en compte, 12 ont été volés et 04 ont été non fonctionnels. En somme, 387 360 nuits-pièges ont été réalisées pour cette étude.

3.2 RICHESSE SPÉCIFIQUE DES PETITS ET MOYENS CARNIVORES DU PARC NATIONAL DE TAÏ

L'analyse des 2092 évènements a permis d'identifier 10 espèces de petits et moyens carnivores, dont sept espèces de petits carnivores et trois espèces de moyens carnivores. Il s'agit notamment de la mangouste des marais (*Atilax paludinosus*), la genette de Johnston (*Genetta johnstoni*), la mangouste brune (*Crossarchus obscurus*), la mangouste du Libéria (*Liberiictis kuhni*), la nandinie (*Nandinia binotata*), la Poine d'Afrique occidentale (*Poiana leightoni*), la mangouste rouge (*Herpestes sanguineus*), la civette d'Afrique (*Civettictis civetta*), le ratel (*Mellivora capensis*) et le chat doré (*Caracal aurata*).

3.3 MEILLEURS PRÉDICTEURS DE LA DISTRIBUTION DES PETITS CARNIVORES

3.3.1 MEILLEURS PRÉDICTEURS DE LA DISTRIBUTION DE LA MANGOUSTE DES MARAIS

Les modèles M1, M2 et M3 impliquant les variables distance à la zone de recherche ou d'écotourisme (V2), distance au cours d'eau le plus proche (V3) et taux d'indice de braconnage des sites d'installation des PP (V4) présentent des "Delta AIC" inférieures à deux et des valeurs d'AIC inférieures à celui du modèle nul (2092) (Tableau 1). Ainsi, ces modèles sont ceux qui expliqueraient mieux la distribution de la mangouste des marais dans le PNT.

En comparant le signe du coefficient bêta au signe des bornes de l'intervalle de confiance de chaque variable, une seule variable à savoir la distance à la zone de recherche ou d'écotourisme (V2) a un coefficient bêta du même signe que les bornes de son intervalle de confiance (Tableau 2). De plus, la variable distance à la zone de recherche ou d'écotourisme conserve un coefficient bêta négatif. Par conséquent, la probabilité de présence de la mangouste des marais évolue dans le sens contraire que la distance à la zone de recherche ou d'écotourisme. Autrement dit, tout rapprochement à la zone de recherche ou d'écotourisme s'accompagne d'une augmentation de la probabilité de présence de la mangouste des marais dans le Parc National de Taï.

Tableau 1. Comparaison des modèles susceptibles d'expliquer la distribution de la mangouste des marais au Parc National de Taï

Modèle	Variables	AIC	Delta AIC	Poids d'AIC
Modèle 1	V2	2087,24	0,00	0,5067
Modèle 2	V2 et V3	2089,13	1,89	0,1970
Modèle 3	V2 et V4	2089,20	1,96	0,1902
Modèle 4	Aucune variable	2092,00	4,76	0,0469
Modèle 5	V1	2093,95	6,71	0,0177
Modèle 6	V3	2093,98	6,74	0,0174
Modèle 7	V4	2093,99	6,75	0,0173
Modèle 8	V3 et V4	2095,97	8,73	0,0064
Modèle 9	V1, V2, V3 et V4	2101,88	14,64	0,0003
Modèle 10	V1 et V2	2111,59	24,35	0,0000

V1: Distance à la périphérie du Parc; V2: Distance à la zone de recherche ou d'écotourisme; V3: Distance au cours d'eau le plus proche; V4: Taux d'indices de braconnage des sites d'installation des PP; AIC: Critères d'Information d'Akaike.

Tableau 2. Coefficients bêta des meilleurs prédicteurs de la distribution de la mangouste des marais dans le Parc National de Taï suivant les modèles M1, M2 et M3

Variable	M1			M2			M3		
	Coef bêta	Min	Max	Coef bêta	Min	Max	Coef bêta	Min	Max
V2	-0,042	-0,003	-0,075	-0,042	-0,009	-0,075	-0,042	-0,009	-0,075
V3	NA	NA	NA	0,012	-0,062	0,086	NA	NA	NA
V4	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,088	-0,024	0,989

NA: variable non-appliquée dans le modèle; Min: minimum; Max: maximum; Coef: Coefficient; M1: Modèle 1; M2: Modèle 2; M3: Modèle 3.

3.3.2 MEILLEURS PRÉDICTEURS DE LA DISTRIBUTION DE LA MANGOUSTE BRUNE

La présence du modèle nul M1 (aucune variable) parmi les meilleurs modèles (les modèles ayant des "Delta AIC" inférieurs à deux) signifie qu'aucune variable présélectionnée dans cette étude n'influence la distribution de la mangouste brune dans le PNT (Tableau 3).

Tableau 3. Comparaison des modèles susceptibles d'expliquer la distribution de la mangouste brune au Parc National de Taï

Modèle	Variables	AIC	Delta AIC	Poids d'AIC
Modèle 1	Aucune variable	901,87	0,00	0,2405
Modèle 2	V3	902,23	0,36	0,2009
Modèle 3	V3 et V4	903,49	1,62	0,1070
Modèle 4	V4	903,64	1,77	0,0993
Modèle 5	V2	903,85	1,98	0,0894
Modèle 6	V1	903,86	1,99	0,0889
Modèle 7	V3 et V1	904,07	2,20	0,0801
Modèle 8	V3 et V2	904,17	2,30	0,0762
Modèle 9	V1, V2, V3 et V4	907,09	5,22	0,0177

V1: Distance à la périphérie du Parc; V2: Distance à la zone de recherche ou d'écotourisme; V3: Distance au cours d'eau le plus proche; V4: Taux d'indices de braconnage des sites d'installation des PP; AIC: Critères d'Information d'Akaike.

3.3.3 MEILLEURS PRÉDICTEURS DE LA DISTRIBUTION DE LA MANGOUSTE DU LIBÉRIA

Relativement à la distribution de la mangouste du Libéria au Parc National de Taï, nous constatons la présence du modèle nul M1 (aucune variable) parmi les différents modèles (M1, M2, M3, M4 et M5) qui ont des "Delta AIC" inférieurs à deux (Tableau 4). Ce qui signifie qu'aucune variable explicative présélectionnée dans notre étude n'influence la distribution de la mangouste du Libéria dans le PNT.

Tableau 4. Comparaison des modèles susceptibles d'expliquer la distribution de la mangouste du Libéria au Parc National de Taï

Modèle	Variables	AIC	Delta AIC	Poids d'AIC
Modèle 1	Aucune variable	350,70	0,00	0,2758
Modèle 2	V1	351,59	0,89	0,1768
Modèle 3	V2	351,89	1,19	0,1521
Modèle 4	V3	352,26	1,56	0,1264
Modèle 5	V4	352,52	1,82	0,1110
Modèle 6	V1 et V2	353,28	2,58	0,0759
Modèle 7	V1 et V4	353,45	2,75	0,0697
Modèle 8	V1, V2, V3 et V4	356,94	6,24	0,0122

V1: Distance à la périphérie du Parc; V2: Distance à la zone de recherche ou d'écotourisme; V3: Distance au cours d'eau le plus proche; V4: Taux d'indices de braconnage des sites d'installation des PP; AIC: Critères d'Information d'Akaike.

3.3.4 MEILLEURS PRÉDICTEURS DE LA DISTRIBUTION DE LA GENETTE DE JOHNSTON

Pour la distribution de la genette de Johnston au PNT, les modèles M1, M2 et M3 impliquant les variables distance à la périphérie du Parc (V1), distance à la zone de recherche ou d'écotourisme (V2) et distance au cours d'eau le plus proche (V3) ont des "Delta AIC" inférieures à deux (Tableau 5). Ces modèles sont donc ceux qui expliqueraient mieux la distribution de la genette de Johnston dans le Parc National de Taï.

En comparant le signe du coefficient bêta au signe des bornes de l'intervalle de confiance de chaque variable, une seule variable à savoir distance à la zone de recherche ou d'écotourisme (V2) a un coefficient bêta de même signe que les bornes de son intervalle de confiance (Tableau 6). Ainsi, la variable distance à la zone de recherche ou d'écotourisme est le meilleur prédicteur de la distribution de la genette de Johnston dans le PNT.

L'analyse des résultats des modèles M1, M2 et M3 montre que la variable distance à la zone de recherche ou d'écotourisme conserve un coefficient bêta négatif. Ainsi, la probabilité de présence de la genette de Johnston évolue dans le sens contraire que la distance à la zone de recherche ou d'écotourisme. Autrement dit, tout éloignement à la zone de recherche ou d'écotourisme s'accompagne d'une diminution de la probabilité de présence de la genette de Johnston dans le PNT.

Tableau 5. Comparaison des modèles susceptibles d'expliquer la distribution de la genette Johnston au Parc National de Taï

Modèle	Variables	AIC	Delta AIC	Poids d'AIC
Modèle 1	V2	1995,55	0,00	0,4554
Modèle 2	V1 et V2	1997,39	1,84	0,1815
Modèle 3	V2 et V3	1997,54	1,99	0,1684
Modèle 4	V2 et V4	1997,55	2,00	0,1675
Modèle 5	V1, V2, V3 et V4	2001,39	5,84	0,0246
Modèle 6	Aucune variable	2007,76	12,21	0,0010
Modèle 7	V1	2008,32	12,77	0,0008
Modèle 8	V4	2009,71	14,16	0,0004
Modèle 9	V3	2009,74	14,19	0,0004
Modèle 10	V1, V2 et V3	2064,86	69,31	0,0000

V1: Distance à la périphérie du Parc; V2: Distance à la zone de recherche ou d'écotourisme; V3: Distance au cours d'eau le plus proche; V4: Taux d'indices de braconnage des sites d'installation des PP; AIC: Critères d'Information d'Akaike.

Tableau 6. Coefficients bêta des meilleurs prédicteurs de la distribution de la genette de Johnston dans le Parc National de Taï suivant les modèles M1, M2 et M3

Variable	M1			M2			M3		
	Coef bêta	Min	Max	Coef bêta	Min	Max	Coef bêta	Min	Max
V1	NA	NA	NA	-0,012	-0,071	0,046	NA	NA	NA
V2	-0,053	-0,024	-0,082	-0,057	-0,023	-0,091	-0,053	-0,024	-0,082
V3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-0,002	-0,063	0,057

NA: variable non-appliquée dans le modèle; Min: minimum; Max: maximum; Coef: Coefficient; M1: Modèle 1; M2: Modèle 2; M3: Modèle 3.

3.4 MEILLEURS PRÉDICTEURS DE LA DISTRIBUTION DES MOYENS CARNIVORES

3.4.1 MEILLEURS PRÉDICTEURS DE LA DISTRIBUTION DE LA CIVETTE D'AFRIQUE

La présence du modèle nul M5 (aucune variable) parmi les meilleurs modèles M1 à M7 (les modèles ayant des "Delta AIC" inférieurs à deux) signifie qu'aucune variable présélectionnée dans cette étude n'influence la distribution de la civette d'Afrique au PNT (Tableau 7).

Tableau 7. Comparaison des modèles susceptibles d'expliquer la distribution de la civette d'Afrique au Parc National de Taï

Modèle	Variables	AIC	Delta AIC	Poids d'AIC
Modèle 1	V3	1291,04	0,00	0,1987
Modèle 2	V2 et V3	1291,36	0,32	0,1693
Modèle 3	V1, V2, V3 et V4	1292,01	0,97	0,1223
Modèle 4	V4	1292,01	0,97	0,1223
Modèle 5	Aucune variable	1291,12	1,08	0,1158
Modèle 6	V2	1292,26	1,22	0,1080
Modèle 7	V1 et V3	1292,97	1,93	0,0757
Modèle 8	V1 et V4	1294,01	2,97	0,0450
Modèle 9	V1	1294,11	3,07	0,0428
Modèle 10	V3 et V4	1309,94	18,90	0,0000

V1: Distance à la périphérie du Parc, V2: Distance à la zone de recherche ou d'écotourisme, V3: Distance au cours d'eau le plus proche, V4: Taux d'indices de braconnage des sites d'installation des PP; AIC: Critères d'Information d'Akaike.

3.5 DISTRIBUTION PRÉDICTIONNELLE DES PETITS CARNIVORES SELON LES MODÈLES RETENUS

3.5.1 DISTRIBUTION PRÉDICTIONNELLE DE LA MANGOUSTE DES MARAIS

La carte de distribution prédictive de la mangouste des marais au PNT (Figure 2a) présente deux grandes zones à forte détectabilité. La première se situe au Centre-Ouest du parc et recouvre totalement le Centre de Recherche en Ecologie (CRE) et ses alentours. La deuxième zone se situe dans la partie Sud-Ouest du parc et recouvre la totalité de la zone d'écotourisme de Djouroutou et ses alentours. Les parties Est, Nord et Sud-Est du PNT sont les zones à faible détectabilité de présence de la mangouste des marais.

3.5.2 DISTRIBUTION PRÉDICTIONNELLE DE LA MANGOUSTE BRUNE

La carte de distribution prédictive de la mangouste brune au Parc National de Taï (Figure 2b) présente des portions à fortes détectabilités séparées entre elles par des zones à faible détection quasiment sur tout l'étendu du PNT. Autrement dit, la distribution prédictive de cette espèce est presque homogène au PNT.

3.5.3 DISTRIBUTION PRÉDICTIONNELLE DE LA MANGOUSTE DU LIBÉRIA

Concernant la carte de distribution prédictive de la mangouste du Libéria au Parc National de Taï (Figure 2c), elle présente des zones à fortes détectabilités de présence de cette espèce quasiment sur toute la surface du PNT. Cependant, les parties à forte détectabilités sont séparées entre elles par de vastes zones à faible détectabilité.

3.5.4 DISTRIBUTION PRÉDICTIONNE DE LA GENETTE DE JOHNSTON

La carte de distribution prédictive de cette espèce au PNT (Figure 2d) présente deux grandes zones à forte détectabilité de présence de la genette de Johnston. La première se situe au Centre-Ouest du parc et recouvre entièrement le CRE et ses environs. La deuxième zone se situe dans la partie Sud-Ouest du parc et recouvre la totalité de la zone d'écotourisme de Djouroutou et ses environs. Par ailleurs, les parties Est, Nord et Sud-Est du PNT sont les zones à faible détectabilité de la genette de Johnston.

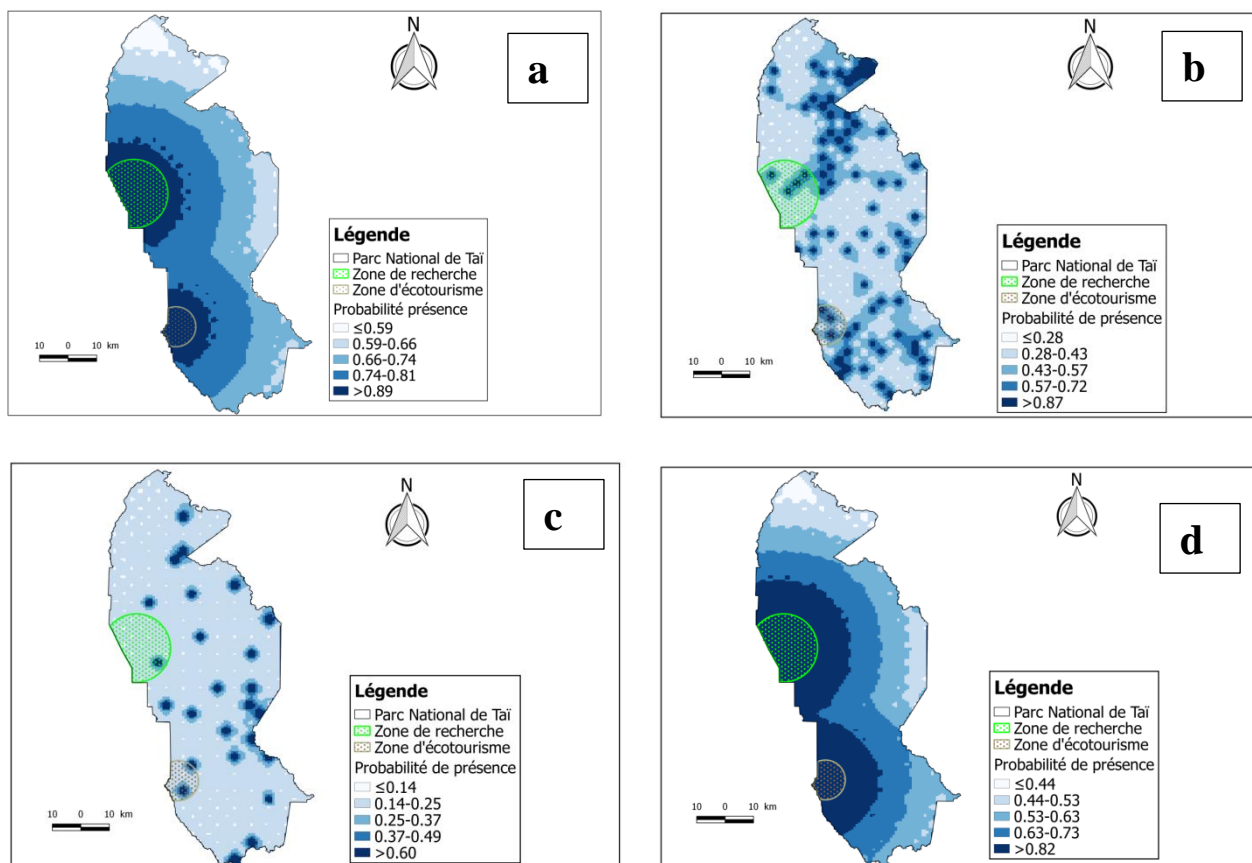


Fig. 2. Carte de distribution prédictive des petits carnivores au Parc National de Taï
a: mangouste des marais, b: mangouste brune, c: mangouste du Libéria, d: genette de Johnston

3.6 DISTRIBUTION PRÉDICTIONNE DES MOYENS CARNIVORES SELON LES MODÈLES RETENUS

3.6.1 DISTRIBUTION PRÉDICTIONNE DE LA CIVETTE D'AFRIQUE

Au Parc National de Taï la carte de distribution prédictive de la civette d'Afrique (Figure 3) présente une forte détectabilité de l'espèce presque sur toute l'étendue du PNT. Cependant, des zones à faibles détectabilités ont été observées dans la partie Nord-Ouest du parc.

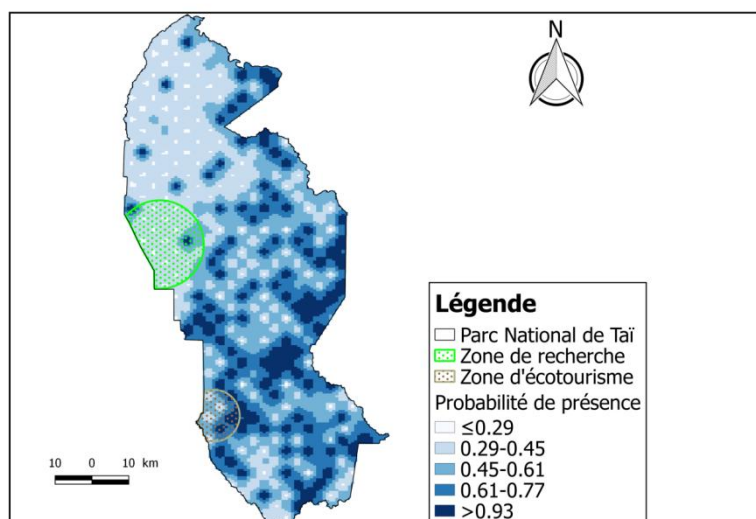


Fig. 3. Carte de distribution prédictive de la civette d'Afrique au Parc National de Taï

4 DISCUSSION

L'analyse des facteurs influençant la distribution de cinq espèces de petits et moyens carnivores montre que la distribution de la mangouste des marais (*Atilax paludinosus*) et de la genette de Johnston (*Genetta johnstoni*) au Parc National de Taï est positivement corrélée à la distance par rapport aux zones de recherche ou d'écotourisme. Plus précisément, un rapprochement de ces zones s'accompagne d'une augmentation de la présence de ces deux espèces. Ces résultats corroborent les études de [16], [31] et [32] qui ont observé qu'une proximité avec les zones de recherche ou d'écotourisme influence positivement et significativement la présence d'éléphants, de primates et de céphalophes au PNT. Cette influence positive peut s'expliquer par l'effet dissuasif exercé par la présence continue de chercheurs et d'éco guides, limitant ainsi les activités illégales telles que le braconnage et l'exploitation non autorisée des ressources du parc [8], [14], [16], [18], [31], [33]. Des effets similaires ont été rapportés dans d'autres contextes, notamment dans l'Ouest de la Tanzanie sur neuf espèces de mammifères [34], dans le Complexe de Conservation Dja au Cameroun sur les grands singes [35], et au Parc National du Serengeti, où les activités illégales sont moins fréquentes à proximité des camps permanents de scouts [36]. En revanche, la distribution de la mangouste brune (*Crossarchus obscurus*), de la mangouste du Libéria (*Liberiictis kuhni*) et de la civette d'Afrique (*Civettictis civetta*) ne semble être influencée par aucune des variables présélectionnées dans notre étude, résultat similaire à celui de [32] concernant la distribution du céphalophe de Jentink au PNT. Ce constat pourrait être lié au choix des variables, qui s'est basé sur la connaissance générale de l'écologie des petits et moyens carnivores et sur les résultats d'études antérieures ayant utilisé des prédicteurs similaires pour expliquer la distribution de la faune [10], [15], [17], [18], [19].

L'analyse de la carte de distribution prédictive montre que la mangouste des marais et la genette de Johnston présentent deux zones à forte concentration: la zone de recherche en écologie et la zone d'écotourisme de Djouroutou. La distribution de ces deux espèces suit un gradient Est-Ouest, avec une détectabilité plus élevée à l'Ouest [15], [16]. Ce gradient est également observé pour d'autres espèces au PNT, telles que l'éléphant de forêt [16], l'hippopotame pygmée [17], les singes à queue [18] et les céphalophes [32]. Cette distribution pourrait s'expliquer par la présence, plus marquée à l'Est du parc, d'infrastructures nombreuses, d'une densité humaine élevée et de grandes villes, combinée aux impacts des activités anthropiques telles que le braconnage, l'agriculture, l'exploitation des ressources du parc (orpaillage, produits forestiers non ligneux) et la circulation de véhicules [18], [19], [16].

Enfin, la mangouste brune, la mangouste du Libéria et la civette d'Afrique présentent une distribution relativement homogène sur l'ensemble du PNT. Ces résultats corroborent ceux de [32], qui avaient observé une homogénéité similaire pour le céphalophe de Jentink. Cette distribution pourrait s'expliquer par la disponibilité continue des ressources alimentaires sur l'ensemble du parc et par l'efficacité des mesures de protection mises en place par les gestionnaires et les agents de surveillance.

5 CONCLUSION

Au terme de cette étude, il apparaît que la distribution de la mangouste des marais (*Atilax paludinosus*) et de la genette de Johnston (*Genetta johnstoni*) au Parc National de Taï est influencée par la distance aux zones de recherche et d'écotourisme. La répartition de ces

deux espèces se concentre principalement dans deux zones: la zone de recherche en écologie et la zone d'écotourisme de Djouroutou. De plus, leur distribution suit un gradient Est-Ouest, avec une détectabilité plus élevée dans la partie Ouest du parc.

En revanche, aucune des variables présélectionnées dans cette étude n'a eu d'influence significative sur la distribution de la mangouste brune (*Crossarchus obscurus*), de la mangouste du Libéria (*Liberiictis kuhni*) et de la civette d'Afrique (*Civettictis civetta*), ce qui suggère une répartition relativement homogène de ces espèces à travers l'ensemble du PNT.

Ces résultats fournissent des informations précieuses aux gestionnaires du parc et constituent une base scientifique utile pour l'élaboration de stratégies de conservation ciblées visant à mieux protéger les petits et moyens carnivores.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier vivement l'Office Ivoirien des Parcs et Réserves (OIPR) pour avoir fourni les différents permis et faciliter l'accès au Parc national de Taï. Nos remerciements vont également à l'endroit de la Wild Chimpanzee Foundation (WCF) pour leur appui matériel et technique qui a permis la collecte des données. Enfin, nous remercions toutes les personnes qui ont aidé à la mise en place de la base de données.

REFERENCES

- [1] J. H. Brown, Pourquoi y a-t-il tant d'espèces sous les tropiques ? *Journal de biogéographie*, 41: 8-22, 2014.
- [2] B. K. Akpatou, K. H. Bohoussou, B. Kadjo, et V. Nicolas, Terrestrial small mammal diversity and abundance in Taï National Park, Côte d'Ivoire. *Nature Conservation Research*, 3: 66–75, 2018.
- [3] W. Kuper, J. H. Sommer, J. C. Lovett, J. Mutke, H. P. Linder, H. J. Beentje, S. Van Rompaey, C. Chatelain, M. Sosef, et W. Barthlott, Les points chauds de la biodiversité en Afrique redéfinis. *Annales du Missouri Botanical Garden*, 91: 525-535, 2004.
- [4] C. Chatelain, B. Kadjo, I. Kone, et J. Refisch, Relations Faune-Flore dans le Parc National de Taï: une étude bibliographique. *Tropenbos-Côte d'Ivoire*, 3, Wageningen (Netherlands). 192 p, 2001.
- [5] M. O. Rödel, Les communautés d'amphibiens dans le Parc National de Taï, Côte d'Ivoire. Les anoues comme bio-indicateurs de l'état des habitats. In: Etat des recherches en cours dans le Parc National de Taï (PNT). *Sempervira*, 9: 108-113, 2000.
- [6] OIPR (Office Ivoirienne des Parcs et Réserves), Plan d'aménagement et de gestion du Parc national de Taï, Patrimoine mondial, Réserve de biosphère 2014-2018. 103 p, 2014.
- [7] M. R. Tiedoué, A. Diarrassouba, et A. Tondossama, Etat de conservation du Parc national de Taï: Résultats du suivi écologique, Phase 11. Office Ivoirien des Parcs et Réserves/Direction de Zone Sud-Ouest. Soubré, Côte d'Ivoire 31 p, 2016.
- [8] N. S. P. N'Goran, N. Cappelle, E.A. Bitty, E. Normand, et Y. A. Kablan, Détermination par caméra piège des périodes d'activité de quelques mammifères terrestres au Parc National de Taï. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 14: 1673-1688, 2020.
- [9] A. N. Houa, Suivi-écologique des espèces cibles de conservation du Parc National de Taï, Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire: effets de la réaction aux caméras à déclenchement automatique sur les estimations de densités et abondances. Thèse de Doctorat, UFR Biosciences, Université Félix HOUPHOUËT-BOIGNY (Abidjan, Côte d'Ivoire), 210 p, 2023.
- [10] M. M. Lima, Evaluation de la faune mammalienne et sélection de l'habitat dans la Forêt Classée de la LAMA (Sud-Bénin) à partir des pièges photographiques. Mémoire du Diplôme de Master Professionnel en Agronomie, Université d'Abomey-Calavi/ Ecole D'Aménagement et Gestion de l'Environnement. 45 p, 2018.
- [11] R. S. A. R Van Rompaey, Le climat. In: Le Parc National de Taï, Côte d'Ivoire. Synthèse des connaissances. Wageningen, Pays-Bas: 45-50, 1994.
- [12] B. Hoppe-Dominik, L'état actuel des effectifs des grands mammifères dans l'ensemble du Parc National de Taï. GmbH-GTZ, DPN, Abidjan, Côte d'Ivoire. 66 p, 1995.
- [13] E. J. Howe, S. T. Buckland, M. L. Després-Einspenner, et H. S. Kühl, Distance sampling with camera traps. *Methods in Ecology and Evolution*, 8: 1558–1565, 2017.
- [14] A. E. H. Monket, C. Y. Kouakou, M. R. Kely, A. D. Koffi, A. K. N'Guessan, E. Normand, Y. A. Kablan, A. Diarrassouba, A. Tondossama, et K. J-C. Béné, Périodes d'activités et structure sociale de *Cephalophus zebra* Gray, 1838 et de *Cephalophus jentinki* Thomas, 1892 dans le Parc National de Taï, Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15: 1863-1874, 2021.
- [15] A. E. H. Monket, Y. A. Kablan, C. Y. Kouakou, M. R. Kely, M.R. Tiedoué, A. Diarrassouba, A. Tondossama, et K. J-C Béné, Facteurs de distribution de *Cephalophus zebra* Gray, 1838 et de *Cephalophus jentinki* Thomas, 1892 au Parc national de Taï, Sud-Ouest de Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 51: 9173-9186, 2022.
- [16] M. R. Kely, Distribution, abondance, structure sociale et activité de l'éléphant de forêt (*Loxodonta africana cyclotis* Matschie, 1900) au Parc National de Taï (sud-ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, UFR Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé, Côte d'Ivoire. 134 p, 2020.

- [17] E. B. Bogui, A. D. Koffi, I. Koné, K. Ouattara, et C. Yao, Distribution of Pygmy hippopotamus (*Choeropsis liberiensis*) in Taï National Park, Côte d'Ivoire: Influences of natural and anthropogenic factors. *International Journal of Research in Biosciences*, 5: 27-35, 2016.
- [18] K. P. N'Goran, C. Boesch, R. Mundry, E. K. N'Goran, I. Herbinger, A. F. Yapi, et H. S. Kühl, Hunting, law enforcement, and African primate conservation. *Conservation Biology*, 26: 565-571, 2012.
- [19] A. Diarrassouba, A. Gnagbo, C. Y. Kouakou, G. Campbell, M. R. Tiedoué, A. Tondossama, H. S. Kühl, et I. Koné, Differential response of seven duiker species to human activities in Taï National Park, Côte d'Ivoire. *African Journal of Ecology*, 3: 1-11, 2019.
- [20] Y. Malhi, E. C. Dougherty, M. Galetti, A. F. Smith, C. J. Svenning, et W. J. Terborgh, Megafauna and ecosystem function from the Pleistocene to the Anthropocene. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, 113: 838-846, 2016.
- [21] S. Hoeks, M. A. J. Huijbregts, M. Busana, M. B. J. Harfoot, J. C. Svenning, et L. Santini, Mechanistic insights into the role of large carnivores for ecosystem structure and functioning. *Ecography*, 43: 1752-1763, 2020.
- [22] J. Kingdon, D. Happold, T. Butynski, M. Hoffmann, M. Happold, et J. Kalina, *Mammals of Africa* (Vol. 1-6) Bloomsbury Publishing: London, 2013.
- [23] A. F. O'Connell, J. D. Nichols, et K. U. Karanth, *Camera traps in animal ecology: methods and analyses*. New York: Springer. 30 p, 2011.
- [24] D. I. MacKenzie, J. D. Nichols, G. B. Lachman, S. Droege, A. J. Royle, et C. A. Langtimm, Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than one. *Ecology*, 83: 2248-2255, 2002.
- [25] J. E. Hines, Presence software to estimates patch occupancy rates and related parameters. Patuxent Wildlife Research Center, Laurel, Maryland. www.mbr-pwrc.usgs.gov/software/presence.html, 2006.
- [26] L. Le cam, Maximum likelihood: An introduction. *International Statistical Review*, 153-171, 1990.
- [27] H. Akaike, A new-look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on automatic control*, 19: 716-723, 1974.
- [28] E. J. Wagenmakers, et S. Farrell, AIC model selection using Akaike weights. *Psychonomic bulletin & review*, 11: 192-196, 2004.
- [29] M. R. Kely, C. Y. Kouakou, K. J-C. Béné, M. R. Tiedoué, A. Diarrassouba, A. Tondossama, S. K. Hjalmar, et M. Waltert, Research and tourism affect positively the occupancy pattern of *Loxodonta cyclotis* (Elephantidae) in Taï National Park, Côte d'Ivoire. *Nature Conservation Research*, 6: 68-77, 2021.
- [30] K. P. N'Goran, A. F. Yapi, E. Normand, I. Herbinger, A. Diarrassouba, A. Tondossama, et C. Boesch, Etat du Parc National de Taï: Rapport de résultats de biomonitoring phase VI (octobre 2010- mars 2011). Rapport final, WCF/OIPR, Abidjan, Côte d'Ivoire, 15 p, 2011.
- [31] G. Campbell, H. Kuehl, A. Diarrassouba, P. K. N'Goran, et C. Boesch, Long-term research sites as refugia for threatened and over-harvested species. *Biology letters*, 7: 723-726, 2011.
- [32] A. E. H. Monket, Abondance et occupation spatiale de deux ongulés menacés d'extinction du Parc National de Taï au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire: le céphalophe zébré (*Cephalophus zebra* Gray, 1838) et le céphalophe de Jentink (*Cephalophus jentinki* Thomas, 1892). Thèse de Doctorat, UFR Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé, Côte d'Ivoire. 172 p, 2022.
- [33] B. Hoppe-Dominik, H. S. Kühl, G. Radl, et F. Fischer, Long-term monitoring of large rainforest mammals in the biosphere reserve of Taï National Park, Côte d'Ivoire. *African Journal of ecology*, 49: 450-458, 2011.
- [34] A. K. Piel, A. Lenoel, C. Johnson, et F. A. Stewart, Detering poaching in western Tanzania: The presence of wildlife reseachers. *Global Ecology and Conservation*, 3: 188-199, 2015.
- [35] N. Tagg, J. Willie, J. Duarte, C. A. Petre, et J. E. Fa, Conservation research presence protects: a case study of great ape abundance in the Dja region, Cameroon. *Animal Conservation*, 18: 489-498, 2015.
- [36] D. K. Snyder, P. B. Mneney, et G. Wittemyer, Predicting the risk of illegal activity and evaluating law enforcement interventions in the western Serengeti. *Conservation Science and Practice*, 1: 1-13, 2019.

Impact socio-économique et environnemental des forages d'eau dans le Quartier BAHUMBU II à Kinkole, Commune de la N'selé Ville de Kinshasa en République démocratique du Congo

[Socio-economic and environmental impact of water boreholes in the BAHUMBU II neighborhood of Kinkole, N'selé Commune, City of Kinshasa, in the Democratic Republic of the Congo]

Shuku Onemba Nicolas¹, Kuasa Guyguy Guillaume², and Mavinga Mvumbi Sylvain³⁻⁴

¹Professeur, Département de géographie, environnement et géomatique, Université d'Ottawa, Chercheur associé à l'Université Laval et Attaché de recherche à l'Institut géographique du Congo, RD Congo

²Enseignant, Département de géographie et Gestion de l'Environnement, Institut Supérieur Pédagogique de la Gombe, RD Congo

³Professeur Docteur, Enseigneur-Chercheur en Sciences de l'environnement, Département de Gestion de Ressources Naturelles et Biodiversité, Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement, Université Président Joseph Kasa-Vubu, RD Congo

⁴Unité de Communication Environnementale, Département de Géographique et Gestion de l'Environnement, Institut Supérieur Pédagogique de la Gombe, RD Congo

Copyright © 2026 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: An analysis of data on the socio-economic and environmental impact generated by water drilling in the Bahumbu II district of the N'sele commune was carried out. The study made it possible to highlight the contribution of drilling in improving the socio-economic and environmental conditions of the population of the said district.

It results from this study that the presence of water boreholes in the Bahumbu II district has a triple social, economic and environmental advantage. On the social level: Improvement in living conditions through the creation of temporary and daily jobs during borehole installation work, the engagement of water sellers in standpipes by the NGO ASUREP... On the economic level: improving public health through more reliable access to clean water, which reduces the cost of treating water-borne diseases. It is also the source of income for the owners of the boreholes through the marketing of water. On the environmental level: the negative impacts of water drilling are not obvious because since the installation of the various water drillings until today, we have not observed the likely effects that could harm the human environment and physical.

KEYWORDS: impact, socio-economic impact, environmental impact, water drilling.

RESUME: Une analyse des données sur l'impact socio-économique et environnemental générée par les forages d'eau du quartier Bahumbu II de la commune de la N'sele a été effectuée. L'étude a permis de ressortir la contribution des forages dans l'amélioration des conditions socioéconomiques et environnementales de la population du dit quartier.

Il résulte de cette étude que la présence des forages d'eau dans le quartier Bahumbu II a un triple avantage social, économique et environnemental. Sur le plan social: Amélioration de condition de vie par la création des emplois temporaires et journaliers pendant les travaux d'installation des forages, l'engagement des vendeurs d'eau dans des bornes fontaines par l'ONG ASURE.

Sur le plan économique: l'amélioration de la santé publique grâce à un accès plus fiable à l'eau potable, ce qui réduit le coût du traitement des maladies hydriques. C'est également la source des revenus pour les propriétaires des forages par la commercialisation d'eau. Sur le plan environnemental: les impacts négatifs des forages d'eau ne sont pas manifestes car depuis l'installation des différents forages d'eau jusqu'à nos jours, on n'a pas constaté les effets susceptibles pouvant nuire à l'environnement humain et physique.

MOTS-CLEFS: impact, impact socio-économique, impact environnemental, forages d'eau.

1 INTRODUCTION

La commune de la N'sele en général et le quartier Bahumbu II dans la cité de Kinkole en particulier, connaît depuis plusieurs décennies des sérieux problèmes d'approvisionnement en eau potable.

La majorité de la population de la cité de Kinkole parcourt, chaque jour, de longues distances en moyenne de 150 mètres, à la recherche de l'eau pour des besoins ménagers et d'autres s'approvisionnent soit à la rivière N'sele, soit dans les puits forés chez des voisins. Le nombre des puits sur le lieu étant estimé à 15.

Cette situation de manque de l'eau potable a entraîné et continue à engendrer l'insécurité hydrique de la population, surtout chez les femmes et les enfants de moins de 10 ans, provoquant ainsi des maladies des mains sales à l'instar de choléra, diarrhées, colique, cause de la non potabilité de l'eau des sources et des puits. (OCHA, 2015)

La commune de la N'SELE et ses nombreux quartiers parmi lesquels le quartier BAHUMBU II qui sont les zones péri-urbaines figurent parmi les zones qui ne sont pas servies par le réseau de distribution d'eau (REGIDESO) en république Démocratique du Congo.

En 2009, le gouvernement de la RDC a adopté une stratégie et a lancé une initiative pour promouvoir le forage manuel comme technologie d'accès à l'approvisionnement en eau potable à faible coût. Et cela a permis aux habitants de ce quartier d'installer près de 15 forages aujourd'hui dans le but de leur survie. Cette population du quartier sous examen recourt aussi aux ONG qui ont installé des bornes fontaines et fournissent de l'eau potable. Les secteurs du forage manuel ont eu des impacts socioéconomiques et environnementaux importants suite aux forages. Ces derniers ont participé à la création d'emploi, à stimuler l'entreprenariat et le développement du secteur privé (OCHA, 2015). Cependant, des forages dans des nappes profondes offrent aux habitants du milieu d'étude la possibilité d'accès à l'eau potable, mais cette dernière est mal exploitée dans certains endroits (MAVINGA, 2019).

Ainsi donc, cette question très pertinente qui touche à la santé publique des habitants nous a poussé à mener des investigations sur l'impact socioéconomique et environnemental des forages d'eau du quartier Bahumbu II de Kinkole dans la commune de la N'sele.

2 METHODOLOGIE

La réalisation de tout travail scientifique doit obéir à une démarche logique qui impose des règles rigoureuses devant guider l'esprit du chercheur dans l'établissement de la vérité. (H. DUHAMEL, 1986)

L'approche de l'analyse de l'étude est celle de la méthode quantitative. Elle a consisté à interviewer 300 personnes considérées comme échantillon pris de manière aléatoire.

Nous avons formé 15 enquêteurs qui ont interviewé 30 personnes. Les enquêteurs ont fait 6 jours sur terrain. En plus d'enquête, ils ont pu faire les observations.

Du rapport des observations, nous avons ressorti le nombre des puits et des ménages qui s'y approvisionnent, ainsi que les aspects socio-économiques des habitants.

Les résultats nous permettent de réaliser les différents tableaux. L'étude a été aussi par l'analyse de la documentation. Il s'agit des rapports communaux et des articles scientifiques.

3 MILIEU D'ETUDE

Notre recherche porte sur le quartier BAHUMBU II de la commune de la N'sele, dans la Ville-Province de Kinshasa. Géographiquement, le quartier BAHUMBU II de la commune de la N'sele est située dans le district de la Tshangu. (cfr. Figure n°1) est l'un des 74 quartiers que compte la commune de la N'Sele. Il est situé dans la cité de Kinkole à 50km de centre-ville de Kinshasa. Sa superficie est de 5km². Le quartier est délimité au Nord par le boulevard LUMUMBA, au Sud par le quartier DIC au niveau de l'avenue C.B MOTA en face de la concession ISTA, à l'Est par la rivière LINGUNDU à la frontière avec le quartier KONDOBO, à l'Ouest par le quartier MOBA-NSE sur l'avenue MAKANISI. Le quartier dispose d'une population estimée à 29.638 hab. en 2023. Couvert par une décision administrative fixée par l'arrêté Ministériel n°060/BBC/01/203/CNS/2005 du 30 Décembre 2005. (Maison Communale de la N'sele, 2023).

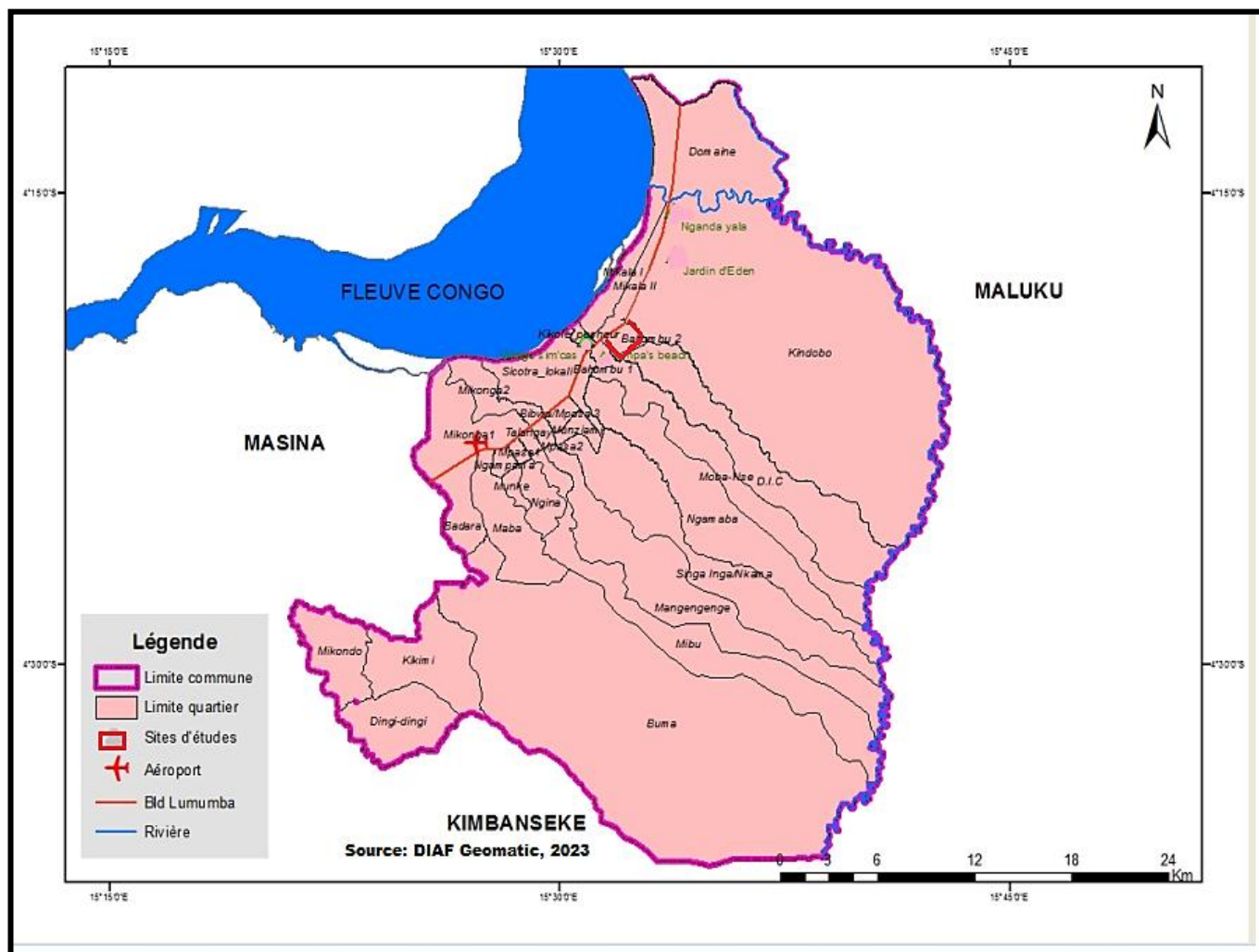


Fig. 1. Le quartier Bahumbu II dans la commune de la N'sele

Le quartier Bahumbu II a une population de 29.638 hab. dont 29.635 nationaux et 3 étrangers. Cette population a connu un accroissement logique dû au mouvement migratoire interne (entrées) et aux déplacés du conflit ethnique de KWAMOUTH et légèrement par les nouvelles naissances (Maison Communale de la N'sele, 2023)

3.1 LA REPARTITION DE LA POPULATION SELON LES PROFESSIONS OU ACTIVITES

Le tableau ci-dessous présente la répartition de la population selon les professions ou activités.

Tableau 1. La répartition de la population selon les professions ou activités

N°	Profession	Population congolaise			Pourcentage
		H	F	T	
01	Maçons	127	02	129	0,4
02	Fonctionnaires	662	783	1445	4,9
03	Militaires	263	85	358	1,2
04	Policiers	230	105	335	1,1
05	Enseignants	259	482	741	2,5
06	Pasteurs	100	26	126	0,4
07	Agriculteurs	95	93	194	0,7
08	Artisans	42	49	91	0,3
09	Infirmiers	200	268	468	1,6
10	Mécaniciens	49	02	51	0,2
11	Chauffeurs	120	07	127	0,4
12	Ajusteurs	144	00	144	0,5
13	Couturiers	55	85	140	0,5
14	Menuisiers	88	00	88	0,3
15	Fermiers	36	19	55	0,2
16	Electriciens	24	00	24	0,1
17	Photographes	21	19	40	0,1
18	Elèves et Etudiants	4075	4538	8613	29,1
19	Commerçants	151	179	330	1,1
20	Motards	35	03	38	0,1
21	Libérale et Avocats	21	17	38	0,1
22	Journalistes	18	03	21	0,1
23	Sans emplois	7506	8673	15979	53,9
Total		14191	1544	29635	100

Source: Maison Communale de la N'sele, 2023 et adapter par nous

En ce qui concerne la répartition de la population selon les professions ou activités, le tableau n°1 nous renseigne qu'au quartier Bahumbu II le nombre de sans-emplois est élevé (15979 soit 53,9%) suivi des élèves et étudiants 8613 soit 29,1%, et des fonctionnaires 1445 soit 4,9%, le métier le moins représenté est celui de journalisme avec un effectif 21 soit 0,1% sur le total de 29635 habitants.

3.2 HABITAT

Le quartier Bahumbu II correspond à l'habitat spontané ou d'auto-construction, car les individus construisent eux-mêmes leurs habitats, mais sans respecter les normes urbanistiques, c'est-à-dire les constructions ne sont pas contrôlées par les pouvoirs publics.

3.3 LES INFRASTRUCTURES

Les différentes infrastructures du quartier Bahumbu II se présentent de la manière suivante:

Tableau 2. Les infrastructures du quartier Bahumbu II

Ecoles	Nombres	Pourcentage
Primaires	21	28
Secondaires	04	5,3
SANITAIRES		
Centre de santé	12	16
SOCIALES		
Marché	00	00
Eglises	25	33,3
Terrasses	13	17,4
TOTAL	75	100

Source: Maison Communale de la N'sele, 2023 et adapter par nous

Il ressort de ce tableau que le quartier Bahumbu II renferme 33,3 % des Eglises, 17,4 % des Terrasses, et 16% des Centres de santé, 5,3% des écoles secondaires et 28% d'écoles primaires.

3.4 ORGANISATION ADMINISTRATIVE

Comme tous les quartiers de la ville de Kinshasa, le quartier Bahumbu II est dirigé par un Chef de quartier secondé par un adjoint. Il y a aussi un secrétaire, un chargé de population et des agents recenseurs.

4 RESULTATS ET DISCUSSION

Ce chapitre est essentiellement consacré à l'analyse des résultats des enquêtes menées sur terrain et qui vont nous permettre de dégager les impacts socio-économique et environnemental des forages installés dans notre milieu d'étude et proposer des pistes des solutions pour améliorer les conditions de vie de la population.

4.1 PRESENTATION DES RESULTATS

4.1.1 DESCRIPTION DE L'ECHANTILLON SELON LE SEXE

Notre échantillon selon le sexe a été défini de la manière représentée au Tableau n°1.

Tableau 3. La répartition des enquêtés selon le sexe

Sexes	Effectifs	Pourcentage
Masculin	132	44%
Féminin	168	56%
Total	300	100%

Source: enquête personnelle, 2023

La répartition des enquêtes selon les sexes nous présente les résultats selon lesquels la majorité des répondants sont les femmes avec 56% et les hommes minoritaires avec 44%. Ceci se justifie du fait que pendant notre passage sur terrain, souvent les hommes n'étaient pas présents à la maison.

4.1.2 DESCRIPTION DE L'ECHANTILLON SELON LES TRANCHES D'AGES

Dans ce point il est question de répartir des enquêtés selon les tranches d'âges, cela est représenté par le tableau n°4.

Tableau 4. La répartition des enquêtés selon les tranches d'âges

Ages	Effectif	Pourcentage
Moins de 20ans	0	0
De 21 à 40ans	180	60%
De 41 à 60ans	114	38%
60 et plus	6	2%
Total	300	100%

Source: Enquêtes personnelle, 2023

Il ressort de ce tableau que 60% des répondants qui constitue la majorité sont dans les tranches d'âge compris entre 21 et 40 ans. 38% sont dans la tranche d'âge comprise entre 41 et 60 ans. On observe une absence totale des répondants de moins de 20 ans d'âges. 2% des répondants ont l'âge de 60 ans et plus.

4.1.3 DESCRIPTION DE L'ECHANTILLON SELON LE STATUT DANS LES PARCELLES

En plus la description de l'échantillon selon les tranches d'âges, nous nous sommes également intéressés sur le statut des enquêtés dans les parcelles. (Tableau n°5)

Tableau 5. La répartition des enquêtés selon le statut dans les parcelles

Statut dans la parcelle	Effectif	Pourcentage
Locataire	61	20,3%
Propriétaire	239	79,7%
Total	300	100%

Source: Enquête personnelle, 2023

De ce tableau nous observons que les propriétaires des parcelles sont en nombre de 239 sur 300 enquêtés soit 79,7% et les locataires représentent 61 enquêtés soit 20,3%.

4.1.4 DESCRIPTION DE L'ECHANTILLON SELON LE STATUT MATRIMONIAL (ÉTAT CIVIL)

Nous nous sommes aussi intéressés au statut matrimonial (l'état civil) de nos enquêtés, cela est représenté dans le tableau n°6.

Tableau 6. La répartition des enquêtés selon le statut matrimonial (Etat civil)

Etat-Civil	Effectif	Pourcentage
Mariés	214	71,4%
Veufs (ve)	52	17,3%
Célibataires	28	9,3%
Divorcés	6	2
Total	300	100%

Source: Enquête personnelle, 2023

En observant ce tableau, nous notons que 71,4% des enquêtés sont des mariés, 17,3% sont des veufs (ves), 9,3% sont des célibataires et enfin 2% sont des divorcés.

4.1.5 DESCRIPTION DE L'ECHANTILLON SELON LES NOMBRES DES PERSONNES EN CHARGES ET LES QUANTITES D'EAU CONSOMMEES

Le tableau ci-dessous représente la répartition de nos enquêtés selon le nombre des personnes en charge dans les parcelles et la qualité d'eau consommée par chaque famille en quotidien.

Tableau 7. La répartition des enquêtés selon les nombres des personnes en charges et les quantités d'eau consommées

Nombres des personnes en charge	Nombres des parcelles	Quantités d'eau par litre et coût par bidon 25 litres	Pourcentage
11 personnes	108	12 bidons de 25l x 150Fc	36%
10 personnes	72	9 bidons de 25l x 150Fc	24%
9 personnes	37	8 bidons de 25l x 150Fc	12,3%
7 personnes	35	6 bidons de 25l x 150Fc	11,7%
6 personnes	32	4 bidons de 25l x 150Fc	10,7%
4 personnes	11	3 bidons de 25l x 150Fc	3,7%
2 personnes	5	3 bidons de 25l x 150Fc	1,6%

Source: Enquête personnelle, 2023

Il ressort de ce tableau que 36% des enquêtés sont des familles ayant plus ou moins 11 personnes à la maison et ces familles consomment à peu près 12 bidons de 25 litres par jour soit 250 litres, 24% des familles ayant 10 personnes et consomment 9 bidons de 25 litres par jour soit 200 litres, 12,3% sont des familles ayant 9 personnes et consomment 8 bidons de 25 litres par jour soit 175 litres, 11,7% sont des familles ayant 7 personnes et consomment 6 bidons de 25 litres soit 125 litres, 10,7% sont des familles ayant 6 personnes et consomment 4 bidons de 25 litres par jour soit 100 litres, 3,7% et 1,6% sont des familles ayant respectivement 4 et 2 personnes et consomment 3 bidons des 25 litre chacune soit 75 litres par jour

Par le résultat de ce tableau nous pouvons déduire que ce sont des familles n'ayant plus personnes à la maison qui dépensent plus d'argent pour la consommation d'eau par rapport aux autres familles

4.1.6 NOMBRE DES FORAGES REALISE SUR TERRAIN DE 2015 À 2023

Nombre des forages réalisé sur terrain de 2015 à 2023 est repris dans le tableau N°8 ci-contre, répartie en deux périodes représentant les années d'investissement dans le secteur. Il s'agit des périodes allant de 2015 à 2019 et de 2020 à 2023.

Tableau 8. Nombre des forages réalisé sur terrain de 2015 à 2023

Année de réalisation	Nombre des forages réalisé	Pourcentage
De 2015 à 2019	9	60%
De 2020 à 2023	6	40%
Total	15	100%

Source: Enquête personnelle, 2023

Il ressort de ce tableau n°8 que 60% de forage d'eau ont été réalisés entre les années 2015 à 2019 et 40% entre les années 2020 à 2023. Nous remarquons que de 2020 à 2023 l'installation des forages dans le quartier à un pourcentage inférieur par rapport aux années 2015 à 2019. La raison ne nous a pas été donnée par les enquêtés.

4.1.7 DESCRIPTION DE L'ECHANTILLON SELON LES DEPENSES D'INVESTISSEMENTS

Hormis les tranches d'années de réalisation des forages d'eau, nous nous sommes intéressés aussi aux dépenses d'investissement engagés par les propriétaires des stations de captage d'eau. (Tableau n°9)

Tableau 9. La répartition des enquêtes selon les dépenses d'investissements

Dépense d'investissement	Effectifs	Pourcentage
3.000 à 3.500\$	4	26,6%
4.000 à 4.500\$	10	66,8%
5.000 et plus	1	6,6%
Total	15	100%

Source: Enquête personnelle, 2023

Les dépenses d'investissements varient d'un forage à un autre, 66,8% sont ceux qui ont dépensés entre 4.000 à 4.500\$ et 26,6% sont ceux qui ont investis à un montant allant de 3.000 à 3.500\$ et 6,6% son investissement a été de plus de 5.000\$.

Le coût d'investissement de forage d'eau dépend de la profondeur à creuser, plus on descend plus le coût augmente.

4.1.8 ENQUETE AUPRES DES SOCIETES DE FORAGE

Toutes les sociétés des forages qui interviennent dans ce quartier n'ont pas leurs sièges sociaux dans ledit quartier. Elles ne se présentent que pour raison de service, sauf une seule société nommée « F.S » (Forage Service) qui est représentée par son technicien, chef d'équipe et contre maitre.

Ce dernier est marié ayant la tranche d'âge entre 21 à 40 ans, avec qui nous avons eu des entretiens.

4.1.9 ENQUETE AUPRES DES AUTORITES MUNICIPALES

Les autorités concernées dans notre enquête sont:

- Le secrétaire du bureau de quartier Bahumbu II;
- Le secrétaire de service énergie de la commune de la N'Sele.

Selon le secrétaire du bureau de quartier Bahumbu II, le quartier n'a pas un service qui a la mainmise sur les forages d'eau. Cette responsabilité est réservée au service de l'énergie de la maison communale de la N'sele.

Le secrétariat de service de l'énergie de la commune de la N'Sele est chargé de contrôler:

- L'autorisation d'exploitation;
- La fiche technique d'identification;
- Le P.V de constat;
- Le bulletin d'analyse de laboratoire du service de l'énergie avant la consommation d'eau;
- La preuve de paiement d'analyse des cuves d'eau et l'installation mensuel de filtre laser.

Après cette analyse qui concerne nos enquêtes sur terrain, nous allons parler maintenant de l'impact socio-économique, environnemental des forages d'eau dans notre zone de travail

4.1.10 IMPACT SOCIO-ÉCONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTAL

4.1.10.1 IMPACT SOCIO-ÉCONOMIQUE

a) Impact social

A la question de savoir si les forages d'eau ont un impact social positif ou négatif dans le quartier.

Le résultat de notre travail sur terrain auprès des enquêtés nous révèle certains effets positifs liés à l'installation de forage d'eau dans le quartier notamment:

Tableau 10. Impact social

Impacts positifs	Impact négatif
<ul style="list-style-type: none"> - Assurance et sécurisation de la population à la desserte en eau potable par les forages d'eau proches des lieux d'habitation. - Amélioration de l'accès à l'eau potable, ce qui réduit les risques des maladies liées à l'eau contaminée ; - Amélioration de la santé, en réduisant les risques des maladies hydriques telles que la diarrhée, le choléra et la typhoïde ; - Amélioration de condition de vie par la création des emplois temporaires et journaliers pendant les travaux d'installation des forages ; - Engagement des vendeurs d'eau dans des bornes fontaines de l'ONG ASUREP ; - La rémunération des porteurs d'eau par course pendant les travaux de construction des maisons ; - Création des activités commerciales liées à l'achat, la vente des matériaux, les pièces des rechanges et de la fourniture des pompes d'eau. 	<ul style="list-style-type: none"> - Risque pour la santé, si les forages d'eau ne sont pas réalisés des manières appropriées. Cela peut entraîner la contamination de l'eau par des agents pathogènes ou des produits chimiques ce qui peut avoir des effets néfastes sur les habitants du quartier. <p>En ce qui concerne notre quartier d'étude, d'après les résultats obtenus auprès des centres de santé. Les forages d'eau ne présentent pas des impacts négatifs liés à la santé de la population.</p>

Source: *personnelle, 2023*

b) Impact économique

Sur le plan économique l'impact des forages d'eau sur la population est double. C'est-à-dire qu'il est positif et négatif.

Les résultats obtenus par notre interview, auprès des consommateurs, centres de santé, propriétaires des stations de captage d'eau, autorités municipales, société de forages nous les représentons de cette manière:

Tableau 11. Impact économique

Enquêtés	Impacts positifs	Impacts négatifs
<ul style="list-style-type: none"> a) Consommateurs b) Centre de santé 	<ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de la santé publique grâce à un accès plus fiable à l'eau potable, ce qui pourrait réduire le coût du traitement des maladies liées à l'eau (maladie hydrique). 	<ul style="list-style-type: none"> - Impact sur le moyen des substances : La mise en place des forages d'eau contribue à la perturbation des paniers des ménages pour les foyers ayant un nombre élevé des personnes en charge à la maison. - Pour le centre de santé, un accès amélioré à l'eau potable par la population pourrait diminuer la fréquentation de centre de santé pour les maladies hydriques.
Enquêtés	Impacts positifs	Impacts négatifs
c) Propriétaires des forages	<ul style="list-style-type: none"> - Source des revenus pour les propriétaires des forages par la commercialisation d'eau à la population. - Amélioration de condition de vie des propriétaires des forages suite au revenu généré par la commercialisation d'eau à la population. 	<ul style="list-style-type: none"> - Baisse de revenus par l'achat de carburant pendant la distribution d'eau aux consommateurs à cause des ruptures ou manques de l'électricité de la SNEL. - Coût d'investissement élevé pour les travaux des forages ; - Coût lié à l'entretien de forage ; - Coût élevé de paiement annuel des IPR.
d) Société des forages	<ul style="list-style-type: none"> - Perception de frais pendant le contrat d'investissement ; 	<ul style="list-style-type: none"> - Manque de subvention de l'Etat congolais pour soutenir les sociétés de forage d'eau.

	<ul style="list-style-type: none"> - Engagement des temporaires et journaliers pendant les travaux des forages. - Engagement des travailleurs permanents tels que : <ul style="list-style-type: none"> - Ingénieurs ; - Secrétaire ; - Trésoriers ; - Contre maitre ; - Chef d'équipe et son technicien. 	
e) Autorité municipale	<ul style="list-style-type: none"> - Source des revenus pour l'Etat congolais par la perception des recettes et taxes pendant la demande de l'ouverture des travaux des forages et pendant le fonctionnement des forages. 	<ul style="list-style-type: none"> - Les autorités du quartier Bahumbu II n'ont pas de contrôle sur les différents forages implantés dans leur quartier, car la main mise est accordé à la division d'énergie du bureau communal.

Source: *personnelle 2023*

A titre d'exemple nous présentons dans le tableau n°12 suivant les dépenses journalières et mensuelles par ménage. (Voir le tableau N°12):

Tableau 12. Dépenses journalières et mensuelles par ménage

N°	Nombre des personnes par ménage	Dépenses journalières	Dépenses Mensuelles
1	Un ménage de 11 personnes	12 bidons de 25l x 150Fc= 1800F	1800Fc x 30jrs = 54.000Fc
2	Un ménage de 10 personnes	9 bidons de 25l x 150Fc = 1350Fc	1350Fc x 30jrs = 40.500Fc
3	Un ménage de 9 personnes	8 bidons de 25l x 150Fc = 1200Fc	1200Fc x 30jrs = 36.000Fc
4	Un ménage de 7 personnes	6 bidons de 25l x 150Fc = 900Fc	900Fc x 30jrs = 27.000Fc
5	Un ménage de 6 personnes	5 bidons de 25l x 150Fc = 750Fc	750Fc x 30jrs = 22.500Fc
6	Un ménage de 4 personnes	3 bidons de 25l x 150Fc = 450Fc	450Fc x 30jrs = 13.500Fc
7	Un ménage de 2 personnes	3 bidons de 25l x 150Fc = 450Fc	450Fc x 30jrs = 13.500Fc

Source: *personnelle 2023*

Sachant que le coût d'un bidon de 25 litres d'eau revient à 150 Franc congolais, le tableau ci-haut nous présente l'estimation des coûts de dépenses qu'emploie les différents ménages pour s'approvisionner en eau potable le jour et le mois.

c) Impact environnemental

Les forages d'eau peuvent avoir des impacts positifs et négatifs sur l'environnement, notamment:

Tableau 13. Impact Environnemental

Impacts positifs	Impact négatif
<ul style="list-style-type: none"> - Renforcement de la résilience face aux changements climatiques : les forages d'eau permettent de mieux faire face aux effets des changements climatiques en assurant un approvisionnement en eau fiable même pendant les périodes de sécheresse. 	<ul style="list-style-type: none"> - Les forages d'eau peuvent entraîner une surexploitation des ressources en eau, ce qui peut avoir des effets négatifs sur l'environnement, tel que la diminution du niveau des nappes phréatiques ou la contamination de l'eau

Source: *personnelle 2023*

Il est utile de signaler ici qu'en ce qui concerne notre zone d'étude, les impacts négatifs des forages d'eau ne sont pas manifestés car depuis l'installation des différents forages d'eau jusqu'à nos jours, on n'a pas constaté les effets susceptibles pouvant nuire à l'environnement humain et physique.

5 CONCLUSION GENERALE ET SUGGESTION

Nous voici arrivés au terme de notre travail « sur l'impact socio-économique et environnemental des forages d'eau au quartier Bahumbu II à Kinkole dans la commune de la Nsele ».

La commune de la Nsele est l'une de 24 commune de la ville de Kinshasa, dans un de ses quartiers urbains, à savoir le quartier Bahumbu II révèle que la population de cette entité n'est pas desservie par la REGIDESO (en eau potable). D'où l'introduction des forages d'eau par des sociétés privées et l'intérêt de notre étude.

Il résulte de cette étude que la présence des forages d'eau dans le quartier Bahumbu II a un triple avantage social, économique et environnemental. Sur le plan social: Amélioration de condition de vie par la création des emplois temporaires et journaliers pendant les travaux d'installation des forages; Engagement des vendeurs d'eau dans des bornes fontaines par l'ONG ASUREP... sur le plan économique: Amélioration de la santé publique grâce à un accès plus fiable à l'eau potable, ce qui réduit le coût du traitement des maladies liées à l'eau (maladie hydrique), Source des revenus pour les propriétaires des forages par la commercialisation d'eau à la population... tandis que sur le plan environnemental: les impacts négatifs des forages d'eau ne sont pas manifestent car depuis l'installation des différents forages d'eau jusqu'à nos jours, on n'a pas constaté les effets susceptibles pouvant nuire à l'environnement humain et physique.

Ceci étant nous suggérerons des solutions suivantes:

- Interventions de l'Etat congolais pour s'investir à l'amélioration de la politique d'approvisionnement d'eau potable dans ledit quartier par l'installation des équipements de la Regideso ou à la création des forages d'eau publics pour une prise en charge responsable et contrôlée de la distribution d'eau à la population,
- Nous sollicitons aussi l'intervention de l'Etat congolais pour assister les propriétaires des stations des captages d'eau par des subventions afin que ces derniers diminuent les couts de la commercialisation d'eau à la population,
- Et enfin, que l'Etat puisse aussi veiller sur la qualité d'eau consommée par la population de ce quartier en procédant des contrôles réguliers dans des laboratoires pour éviter les maladies d'origine hydrique.

REFERENCES

- [1] C.H KAME & al, 2020, Etape dernière du secteur du forage manuel en RDC, RWSN, p 14.
- [2] DUHANEL, 1986, Stratégie et direction de l'Entreprise, ed. PUF, p34.
- [3] INAPI, 2011, Investi dans le sous-secteur de l'eau, Kinshasa, MÉDIASPAUL p80.
- [4] JCA, 2009, Rapport de l'étude préparatoire pour le projet d'amélioration du système d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Kinshasa en RDC.
- [5] K. SHOMBA, 2002, Méthodologie de la recherche scientifique, ed. PUF, Kinshasa, p. 36
- [6] N. LEFEBUREP, 1996, Le Maxisme, ed. Que sais-je, Paris, p.18.
- [7] MAVINGA, M., S. (2019), Production de combustibles ligneux et dégradation des formations forestières dans l'hinterland de Kinshasa. Orientation: Ecosystèmes et Biodiversité. Département des Sciences de l'Environnement. Thèse de doctorat, Université de Kinshasa/RDC., p. 125.
- [8] OCHA, 2015, Les habitants de Kinkole peinent à s'approvisionner en eau, p24.
- [9] PNUE, 2011, Problématique de l'eau en RDC défis et opportunité, p98.
- [10] Maison communale de la N'sele, 2023, Rapport annuel, inédit.
- [11] <https://reliefweb.int/report/democratic-republic-congo/kinshasa-les-habitants-de-kinkole-peinent-s-approvisionner-en-eau>, consulté le, consulté le 13/06/2023.

Etude cartographique et pétrographique de Ntoni et ses environs (Territoire de Mbanza Ngungu, Province du Kongo Central, RD Congo)

[Cartographic and petrographic study of Ntoni and its surroundings (Mbanza Ngungu territory, Kongo Central Province, DR Congo)]

Nsakala Tanda Reddy Andy^{1,2}, Penoy Delphin Delly², Katshunga Akazia Prisca¹, Ngumba Ngumba Victoire¹, Kazadi Mujinga Stella¹, Mabaya Arielle Arielle¹⁻⁴, Lubamba Lubamba Bob¹, Buluku Palamoke Grace², and Ishaku Kaunga Omega¹

¹Centre National de Télédétection (CNT), Kinshasa I, RD Congo

²Centre de Recherches Géologiques et Minières (CRGM), B.P. 898, Kinshasa I, RD Congo

³Département des Géosciences, Faculté de Sciences et Technologie, Université de Kinshasa, Kinshasa I, RD Congo

⁴Département de Gestion et Ressources Naturelles, Faculté de Sciences Agronomiques et Environnement, Université de Kinshasa, Kinshasa I, RD Congo

Copyright © 2026 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 cartographic and petrographic study of the Ntoni region, located in the Mbanza-Ngungu territory in Kongo Central province (DRC), aims to characterize and map the local geological formations. The methodology combines a documentation phase, a geological survey in the field, and microscopic analyses in the laboratory. The materials studied are mainly sedimentary rocks including limestones, dolomites, sandstones, and shales, whose limestone facies are classified according to Folk (biomicrites, intrasparites, intramicrites, biosparites, biopelsparites). The region benefits from a Sudanese climate and a varied relief, with a geological context dominated by the Neoproterozoic Inkisi group, composed of alternating schistose-sandstone and limestone terrains. The study made it possible to specify the lithology, spatial distribution, and depositional environment of the rocks, which vary between marine and continental settings depending on geological periods. An updated geological sketch was produced, showing significant stratigraphic complexity. This work enriches the geological knowledge of Kongo Central by providing a better understanding of the sedimentary formations, with implications for mineral resource exploitation and land use planning. It paves the way for more in-depth research on regional stratigraphy and tectonics.

KEYWORDS: Geological mapping, Petrography, Sedimentary rocks, Inkisi Group, Neoproterozoic, Lithofacies.

RESUME: L'étude cartographique et pétrographique de la région de Ntoni, située dans le territoire de Mbanza-Ngungu en province du Kongo Central (RDC), vise à caractériser et cartographier les formations géologiques locales. La méthodologie combine une phase de documentation, un levé géologique sur le terrain et des analyses microscopiques en laboratoire. Les matériaux étudiés sont principalement des roches sédimentaires comprenant des calcaires, dolomies, grès et shales, dont les faciès calcaires sont classifiés selon Folk (biomicrites, intrasparites, intramicrites, biosparites, biopelsparites). La région bénéficie d'un climat soudanien et d'un relief varié, avec un contexte géologique dominé par le groupe Inkisi d'âge néoproterozoïque, formé de terrains schisto-gréseux et calcaires en alternance. L'étude a permis de préciser la lithologie, la répartition spatiale et l'environnement de dépôt des roches, qui varient entre milieux marins et continentaux selon les périodes géologiques. Une esquisse géologique actualisée a été réalisée, montrant une complexité stratigraphique importante. Ce travail enrichit la connaissance géologique du Kongo Central en offrant une meilleure compréhension des formations

sédimentaires, avec des implications pour l'exploitation des ressources minérales et l'aménagement territorial. Il ouvre la voie à des recherches plus approfondies sur la stratigraphie et la tectonique régionales.

MOTS-CLEFS: Cartographie géologique, Pétrographie, Roches sédimentaires, Groupe Inkisi, Néoprotérozoïque, Lithofaciès.

1 INTRODUCTION

La région de Ntoni et ses environs sont constitués principalement des roches sédimentaires qui sont tout bonnement les produits du dépôt eux-mêmes issus de la dégradation d'autres roches affleurantes et transportés jusqu'au milieu de sédimentation. Selon les types de matériaux et les propriétés physiques et chimiques du milieu récepteur, la roche sédimentaire peut être soit détritique, soit de la précipitation chimique et /ou biochimique.

Outre cet intérêt scientifique, les roches sédimentaires présentent des intérêts économiques. C'est le cas par exemple de calcaires qui présentent un intérêt dans la fabrication de la chaux et d'autres produits dérivés, le cas des grès qui sert comme matériaux de construction.

Les études antérieures entreprises sur ce secteur soulèvent un certain nombre de problèmes, essentiellement d'ordres pétrographique et structural. Voilà ce qui a motivé le choix, dans le cadre de notre travail, de ce secteur dans le but d'apporter une modeste contribution sur le plan cartographique et pétrographique.

1.1 OBJECTIF DU TRAVAIL

L'objectif poursuivi dans cet travail est de cartographier et de caractériser pétrographiquement les formations géologiques de la région de Ntoni. En effet, ce travail s'assigne aussi comme objectif de situer les lithofaciès par rapport à leurs périodes de mise en place et de bien délimiter les contours géologiques tout en définissant leurs natures. Enfin, les résultats obtenus devront permettre de produire une récente carte géologique de Ntoni, et de cette manière, ce travail apporte un plus sur les connaissances géologiques de la région-cible.

1.2 MÉTHODOLOGIE

Pour parvenir à ces objectifs; notre travail a été réalisé en trois étapes principales, à savoir: l'avant terrain qui consiste en la documentation, la méthode de levé géologique sur terrain et enfin l'après terrain qui se charge des travaux de laboratoire suivis de l'interprétation des résultats.

1.3 MATÉRIELS

La géologie étant une science qui se pratique essentiellement sur terrain, le géologue recourt donc aux matériels appropriés pour son travail. Dans le cadre de notre travail, voici les matériels qui nous ont été d'une grande utilité sur terrain (tableau ci-dessous).

Tableau 1. Matériels utilisés

Matériels	Utilité
Un GPS Garmin	Prélèvement des coordonnées géographiques
Une boussole de géologue (Marque BRUTTON)	Prélèvement des mesures structurales (direction et pendage des couches, mesures des cassures...)
Un marteau de géologue et une masse de 5 kg	Prélèvement des échantillons
Un appareil photographique	Prise des vues
Une loupe monoculaire	Permettre d'observer en détail des formations rocheuses
Un microscope polarisant à lumière transmise (marque LEITZ WETZLAR)	Permettre la description microscopique des minéraux
Un carnet et un crayon	Prise de notes et croquis
Un feutre	Permettre de numéroter les échantillons
Un sac à dos	Permettre transporter les échantillons
Acide chlorhydrique (HCl) dilué à 10%	Pour identifier et tester certains minéraux et roches
ArcGis 10.8	Pour le traitement des données spatiales
Microsoft office (Excel et Word)	Pour le traitement statistique des données et rédaction

2 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

2.1 CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE

2.1.1 LOCALISATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Notre secteur d'étude est situé dans la province du Kongo-Central, district de Cataractes, Territoire de Mbanza-Ngungu, Secteur de Ntimantsi, Groupement de Nionga en République Démocratique du Congo. Cette région s'étend approximativement entre 14° 40' 58" de longitude Est et les parallèles 05°12' 42,5" de latitude sud (Fig. 1).

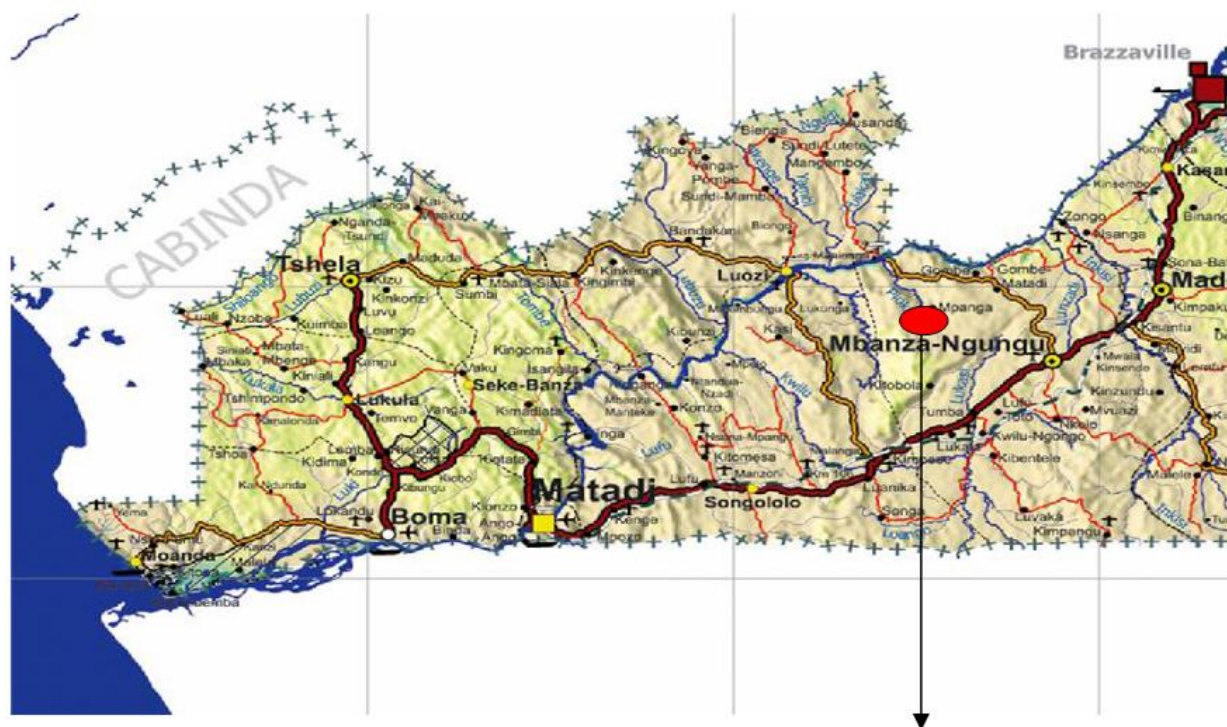


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude sur la carte administrative du Kongo Central

2.1.2 CLIMAT, SOL ET VEGETATION

LE CLIMAT

Tout comme le Kongo central, la zone d'étude est caractérisée par un climat soudanien comprenant deux saisons: une saison sèche, bien marquée, s'étendant en général du 15 mai au 15 septembre et une saison des pluies qui s'étale du 15 septembre au 15 mai. Cette dernière est souvent interrompue par une petite saison sèche d'environ trois semaines en février (Robert, 1948; Devroye et Vander Linden, 1951).

LE SOL

Les sols du Kongo Central, comme la plupart des sols tropicaux, sont chimiquement pauvres; leur acidité est prononcée (Baeyens J., 1938). La plupart des roches de la zone schisto-calcaire paraissent fournir des sols argileux jaunes assez stériles. Les terrains schisto-gréseux donnent naissance à des sols sablo-argileux jaunes ou brun clair, peu fertiles. Sur les formations antérieures au schisto-calcaire, les sols sont de nature comparable à ceux du schisto-calcaire sur les roches argilo-calcaires et argileuses et aussi à ceux des terrains schisto-gréseux sur les roches argilo-siliceuses (Robert, G., Devroye, J., et Vander Linden, J., 1948-1951).

LA VÉGÉTATION

Le climat soudanien favorise le développement des plantes herbues et permet, selon les conditions d'humidité du sol, l'installation d'essences arborescentes (Delevoy, 1951).

Dans les régions situées sur les terrains schisto-calcaires et schisto-gréseux, ce climat confère à la végétation un faciès de savane guinéenne arbustive parsemée de lambeaux forestiers. Ceux-ci sont plus nombreux et plus étendus sur les plateaux schisto-gréseux et les reliefs constitués par les terrains antérieurs au schisto-calcaire.

2.1.3 RELIEF ET HYDROGRAPHIE

La région de Mbanza-Ngungu est subdivisée en plusieurs unités morphologiques principales:

- Au nord-est: le plateau des cataractes sud ou du Bangu, coïncide avec l'extension de l'Inkisi et du Mpioka subtabulaires;
- A l'ouest, au sud et à l'est de ce plateau, une grande dépression schisto-calcaire divisée en deux parties par le relief de la crête de Ngungu; à l'ouest de cette dépression, les massifs de Mukimungu et de la Sansikwa-Lungezi constitués par des formations antérieures au schisto-calcaire. C'est une zone de reliefs de type appalachien dont les crêtes culminent à 870 m d'altitude (Mont Uia) et le point le plus bas est à 550 m.

Cette région appartient dans son entièreté au bassin du fleuve congo. Les principaux cours d'eau de la région sont: le Lonzadi, le Luasi, le Mpioka, le Lukunga, le Kwilu et les parties amont de la Luima, la Lunionzo et la Lufu-Lungezi.

2.2 CADRE GÉOLOGIQUE

2.2.1 STRATIGRAPHIE

La stratigraphie du Kongo-central est résumé dans le tableau ci-dessous:

Tableau 2. Résumé d'information relative à la stratigraphie de la Province du Kongo-Central

Temps Géologique	Super groupes	groupes	Sous-Groupes et faciès présents		
Phanérozoïques		Groupe KALAHARI	SABLES OCRES GRES POLYMORPHES INKISI : Arkoses conglomératiques, Psammitique et parfois à grains fins	540Ma	
Néo protérozoïques	OUEST CONGO	Groupe OUEST CONGOLIEN	S/Grpe MPIOKA	Grès, shales, quartzites, siltites NGANDU : calcaires, shales et grès BANGU : calcaires, dolomites, oolites et pseudo oolites de KISANTU, calcaires dolomitiques LUKUNGA : shales et calcaires, dolomies, calcaires, dolomitiques KWILU : dolomies rose et grise, calcaires de BULU, calcaires et shales ●●●●●● Diamictite sup. 635Ma : para conglomérat et grès conglomératique Calcaires, shales gris sombre, grès calcareux de LUANZA calcaires, et shales intercalés de LUANZA ●●●●●● Diamictite inf. 730Ma : paraconel avec basaltes inter stratifiés Quartzites, quartzites à talc, argillites	Pan-Africain 1000Ma 1600Ma Eburnéen 2500Ma
			S/Grpe HAUT-SHILOANGO		
			S/Grpe SANSIKWA		
		Groupe MAYOMBIEN	Phyllade, séricitoschistes intrudés par les massifs granites de lufu-Matava, rhyolites schistifiées d'inga Sikila/autrement métarhyolites Lufu ◆		
		Groupe ZANIDIEN	Talcschistes, chloritoschistes, micaschistes, seritoschistes, métaquartzites de MATADI, filons doléritiques (ONGENDANGENDA, 2004) ; (TACK, 2001) ; Metabasalts intrudés par le granites de Noqui, syenite de Mpozo ◆ Noqui Cangilla ◆ Palabala		
Méso protérozoïque					
Paléoproterozoïque					
	KIMEZIEN	Socle KIMEZIEN : Migmatiques et Gneiss affleurant à BOMA			

◆ Magmatisme acide
◆ Magmatisme basique

2.2.2 PALEO-ENVIRONNEMENT

L'environnement de dépôt ou le milieu récepteur des sédiments qui ont donné naissance aux formations géologiques du Kongo Central est variable, depuis le milieu marin jusqu'au milieu continental (Tack. L., 1973, 1979 et 2001; Cahen et Lepersonne, 1948). L'évolution générale peut être résumée de la manière suivante, du plus ancien au plus récent, on a les environnements:

- Le socle Kimezien à la base;
- Les faciès métamorphiques protérozoïques, les formations de Mayumbien et Zadinien;
- Les formations pelito-quartzo-turbiditiques;
- Les formations de Kwilu-Lukunga; Bangu et Ngandu, toutes du milieu marin. Il s'agit surtout des calcaires bréchiques, des faciès calcareux à argilo-calcaireux, on y observe les stromatolithes;
- Les dépôts marins: depuis la mixtite inférieure (turbiditique); la formation du Haut-Shiloango (argilitique) dont une datation sur la population de zircon détritique par la méthode Pb-Pb donne l'âge entre 547 ± 45 Ma et 709 ± 20 Ma; jusqu'à la mixtite supérieure (turbiditique);
- Les formations de Mfidi: marines: un faciès gréseux et argilo-gréseux, contenant des algues;
- Les formations des Mpioka: environnement Lacustre, le faciès gréseux et argilo-gréseux;
- Les formations d'Inkisi: essentiellement gréseux, milieu Fluvio-lacustre;
- Les formations crétacées indifférenciées, fluviales: les faciès gréseux à gréseux argilitiques;
- Enfin les formations de Kalahari inférieure et supérieure qui est des dépôts continentaux d'âge cénozoïque.

2.2.3 GEOLOGIE

Le Kongo central est formé, d'Ouest en Est par une succession de terrains qui se superposent par rang d'âge. L'Ouest de la province, avec la plaine côtière, est occupé par des terrains du Mésozoïque et du Cénozoïque d'origine généralement marine en formations horizontales à subhorizontales (Cahen, L. et Lepersonne, J., 1967). A l'est du Kongo Central, les plateaux sont composés de couches subtabulaires du Mésozoïque et du Cénozoïque d'origine généralement continentale que l'on retrouve dans toute la cuvette centrale du bassin du Congo (Fig. 2).

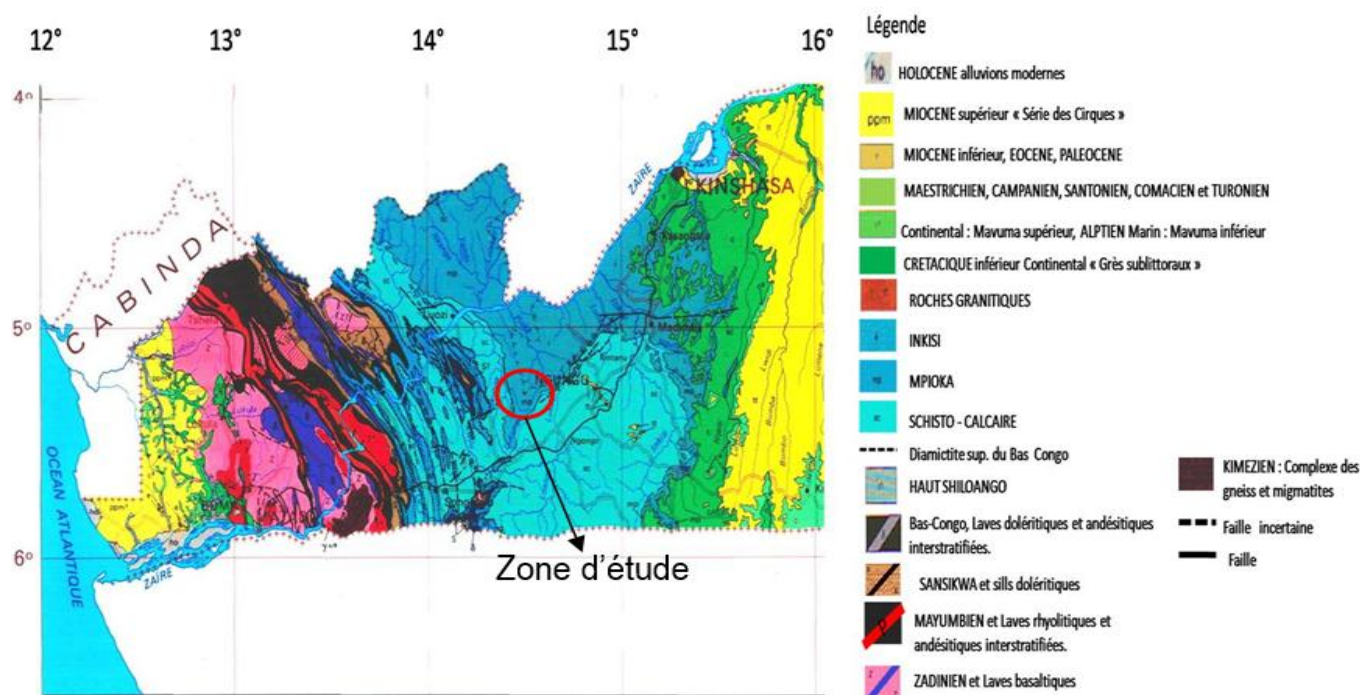


Fig. 2. Carte géologique du Kongo Central à l'échelle 1/100.000 (CRGM, 2019)

Les roches de Ntoni et ses environs font partie du groupe de l'Inkisi d'âge néoprotozoïque dans le supergroupe de l'Inkisi (CRGM-MRAC, 2013). On trouve à Ntoni les terrains Schisto-Gréseux affleurant en grandes parties dans les fonds de vallées au coeur du synclinal (Frimmel, H. E. et al, 2006).

Les roches de l'Inkisi sont essentiellement grés-arkosiques avec des intercalations argileuses et quelques intercalations conglomératiques avec une prédominance pour la couleur rouge. Le Groupe est composé de deux formations: celle de la Fulu (II) avec ses trois membres du Mont Bidi, de la Fulu et de la Morozi et la Formation de la Zongo (III) avec ses deux membres de la Zongo et de la Luvumvu (CRGM-MRAC, 2013; Leperonne, 1974; Alvarez, J. et al, 1995). L'épaisseur du Groupe est estimée à environ 1000m. Il repose en discordance sur le Groupe de la Mpioka sous-jacent.

3 PRESENTATION DES DONNEES DE TERRAIN

Le tableau ci-dessous, nous présente les données analytiques de terrain reprenant le numéro d'ordre de chaque station d'observation et les coordonnées géographiques dont la latitude, la longitude et l'altitude. Les stations d'observations et d'échantillonnage sont reprises sur la minute de terrain (Fig. 3).

Tableau 3. Résumé des stations d'observation et d'échantillonnage

Stations	Longitude °E (WGS84)	Latitude °S (WGS84)	Altitude (m)
AD001	14° 41' 24,7"	05° 12' 11,6"	539
AD002	14° 41' 38,1"	05° 12' 07,5"	490
AD003	14° 41' 39,6"	05° 12' 06,8"	484
AD004	14° 41' 42,5"	05° 12' 05,9"	497
AD005	14° 41' 52,2"	05° 12' 12,3"	474
AD006	14° 41' 53,1"	05° 12' 15,4"	483
AD007	14° 41' 54"	05° 12' 18,3"	493
AD008	14° 41' 55"	05° 12' 20"	480
AD009	14° 41' 17"	05° 12' 52,6"	636

AD010	14° 41' 18,1"	05° 12' 52,0"	641
AD011	14° 41' 18,9"	05° 12' 52,1"	645
AD012	14° 41' 24,3"	05° 12' 51,9"	665
AD013	14° 41' 25,4"	05° 12' 48,3"	657
AD014	14° 41' 31,3"	05° 12' 48"	647
AD015	14° 41' 31,4"	05° 12' 47,2"	647
AD016	14° 41' 30,7"	05° 12' 46,4"	630
AD017	14° 41' 31,4"	05° 12' 46,4"	628
AD018	14° 41' 31"	05° 12' 46"	615
AD019	14° 41' 33,3"	05° 12' 46,7"	674
AD020	14° 41' 34,1"	05° 12' 47"	681
AD021	14° 41' 35"	05° 12' 46,0"	685
AD022	14° 41' 36"	05° 12' 45"	682
AD023	14° 41' 37"	05° 12' 45,1"	685
AD024	14° 41' 38"	05° 12' 44"	673
AD025	14° 41' 45,4"	05° 12' 43,4"	685
AD026	14° 41' 45"	05° 12' 45,1"	680
AD027	14° 41' 48,2"	05° 12' 39,2"	687
AD028	14° 41' 52,6"	05° 12' 38,6"	624
AD029	14° 41' 54,4"	05° 12' 39"	601
AD030	14° 41' 58,4"	05° 12' 37,6"	548
AD031	14° 42' 06,2"	05° 12' 36,8"	518
AD032	14° 42' 09,8"	05° 12' 35"	493
AD033	14° 42' 12,8"	05° 12' 36,3"	482
AD034	14° 42' 18,7"	05° 12' 31,3"	478
AD035	14° 40' 39,2"	05° 12' 24,8"	581
AD036	14° 40' 41,1"	05° 12' 23,6"	582
AD037	14° 40' 42,4"	05° 12' 22,4"	581
AD038	14° 40' 47,7"	05° 12' 21,7"	560
AD039	14° 40' 48,7"	05° 12' 21,2"	565
AD040	14° 40' 50,6"	05° 12' 20"	556
AD041	14° 40' 52,3"	05° 12' 18,3"	553
AD042	14° 40' 52,5"	05° 12' 17,9"	548
AD043	14° 40' 53,8"	05° 12' 17,8"	569
AD044	14° 40' 54"	05° 12' 16,7"	563
AD045	14° 40' 54,5"	05° 12' 16,2"	559
AD046	14° 40' 17,2"	05° 12' 43,9"	513
AD047	14° 40' 16,9"	05° 12' 42,5"	549
AD048	14° 40' 16,7"	05° 12' 41,8"	556
AD049	14° 40' 15,8"	05° 12' 40,4"	559
AD050	14° 40' 11,6"	05° 12' 24,2"	611
AD051	14° 37' 50,1"	05° 12' 25,5"	586
AD052	14° 37' 57"	05° 12' 17,3"	582
AD053	14° 38' 12,9"	05° 12' 14,3"	578
AD054	14° 38' 24,2"	05° 11' 58,9"	569
AD055	14° 38' 42"	05° 12' 27,8"	570
AD056	14° 38' 57,3"	05° 12' 02,6"	567
AD057	14° 39' 12"	05° 11' 42"	558

AD058	14° 39' 35,7	05° 11' 43,9''	570
AD059	14° 39' 51,3''	05° 11' 43,9''	566
AD060	14° 40' 11''	05° 11' 34,3''	574
AD061	14° 37' 51''	05° 13' 35	545
AD062	14° 38' 16,2''	05° 13' 30''	543
AD063	14° 38' 40''	05° 13' 22,3''	525
AD064	14° 38' 47,5''	05° 13' 23,9''	529
AD065	14° 38' 13''	05° 13' 23,9''	520
AD066	14° 38' 40,1''	05° 13' 03,3''	522
AD067	14° 40' 02,5''	05° 12' 58''	518
AD068	14° 40' 15,3''	05° 14' 22''	575
AD069	14° 40' 25''	05° 14' 10''	586
AD070	14° 40' 40,2''	05° 14' 05,1	602
AD071	14° 40' 46''	05° 13' 43,2''	607
AD072	14° 41' 21''	05° 13' 42''	689
AD073	14° 41' 28''	05° 13' 35,5''	586
AD074	14° 41' 42,8''	05° 13' 17''	597
AD075	14° 41' 44,6''	05° 13' 24,3''	608
AD076	14° 42' 16,5''	05° 13' 21''	620
AD077	14° 40' 32,1''	05° 15' 38''	513
AD078	14° 40' 42,3''	05° 15' 21,1''	518
AD079	14° 40' 56''	05° 15' 15,2''	495
AD080	14° 41' 05,2''	05° 15' 5,1''	616
AD081	14° 41' 43,5''	05° 15' 7,2''	589
AD082	14° 41' 47,1''	05° 14' 36''	591
AD083	14° 42' 07''	05° 14' 23''	608
AD084	14° 42' 26,1''	05° 14' 20''	597
AD085	14° 42' 42,2''	05° 14' 10,1''	599
AD086	14° 43' 04,3''	05° 13' 37''	589
AD087	14° 43' 14,3''	05° 13' 16,7''	598

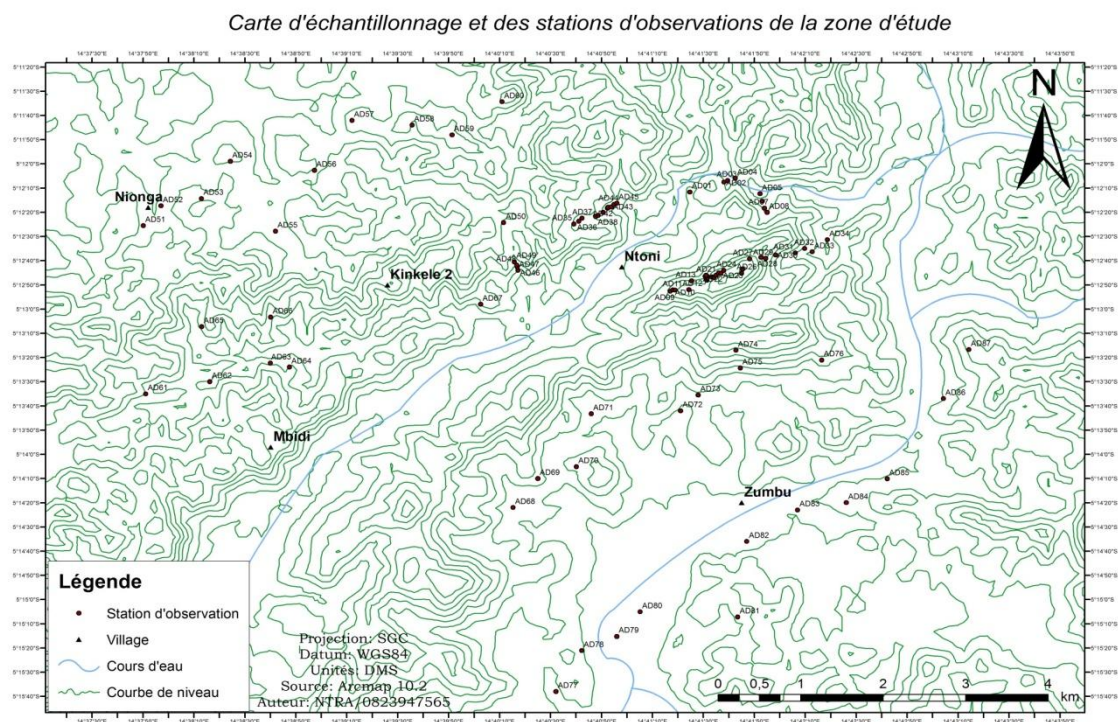


Fig. 3. Carte d'échantillonnage et des stations d'observations

4 ANALYSES PETROGRAPHIQUE

Le présent point donne les différentes descriptions macroscopiques et microscopiques des roches rencontrées sur terrain. L'observation à l'échelle microscopique se fait en deux aspects à savoir l'observation en lumière polarisée analysée (LPA) et l'observation en lumière polarisée non analysée (LPNA).

Sur un total de 87 stations observées, 50 échantillons ont été prélevés, 12 seulement ont été décrits et regroupés en familles pétrographiques, dont 6 ont été illustrés dans ce travail compte tenu des faciès présentés.

4.1 ECHANTILLON ET AFFLEUREMENT AD03

4.1.1 DESCRIPTION MACROSCOPIQUE

Roche massive de coloration mauve à grains moyens, présentant un certain nombre des cassures (Fig. 4 a et b).



Fig. 4. a et b: Vue macroscopique de l'échantillon (a) et affleurement (b) AD03

4.1.2 DESCRIPTION MICROSCOPIQUE

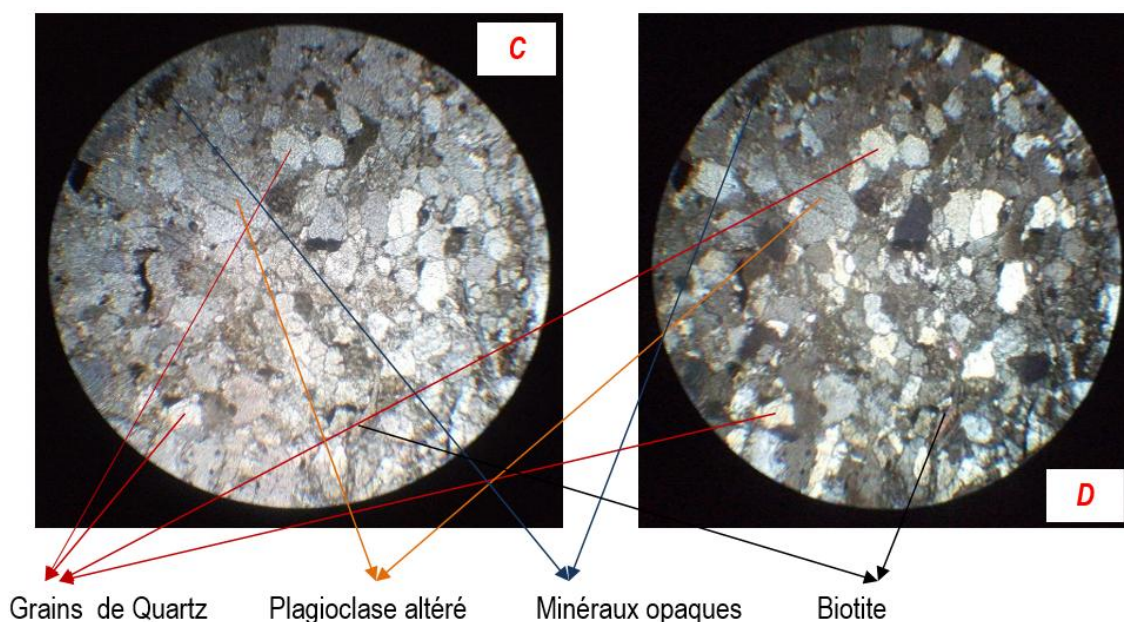


Fig. 4. c et d: Vue microscopique de l'échantillon AD03 en LPNA (c) et LPA (d)

Au Microscope, la roche renferme les minéraux suivants:

- Le Quartz en sections xénomorphes de petite taille répartie dans toute la roche, ses proportions peuvent atteindre 70%;
- On note aussi la présence de la muscovite qui présente un clivage net et parallèle, elle est moins représentée que le quartz (10% de proportion au moins);
- On a aussi le plagioclase qui a un clivage parallèle, net et discontinu, avec macles polysynthétiques (5%);
- On note également la présence des minéraux opaques à 5%;
- Ciment siliceux.

Il s'agit donc d'un grès **quartzeux**.

4.2 ECHANTILLON ET AFFLEUREMENT AD05

4.2.1 DESCRIPTION MACROSCOPIQUE

Roche massive à grains fins, de coloration rosâtre. Elle présente aussi des petits pores remplis de la calcite (Fig. 5 a et b).

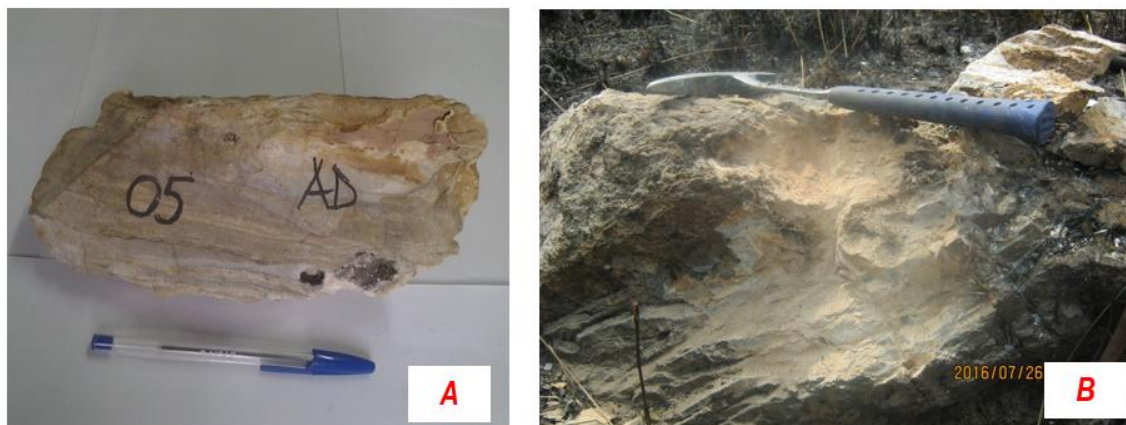


Fig. 5. a et b: Vue macroscopique de l'échantillon (a) et affleurement (b) AD05

4.2.2 DESCRIPTION MICROSCOPIQUE

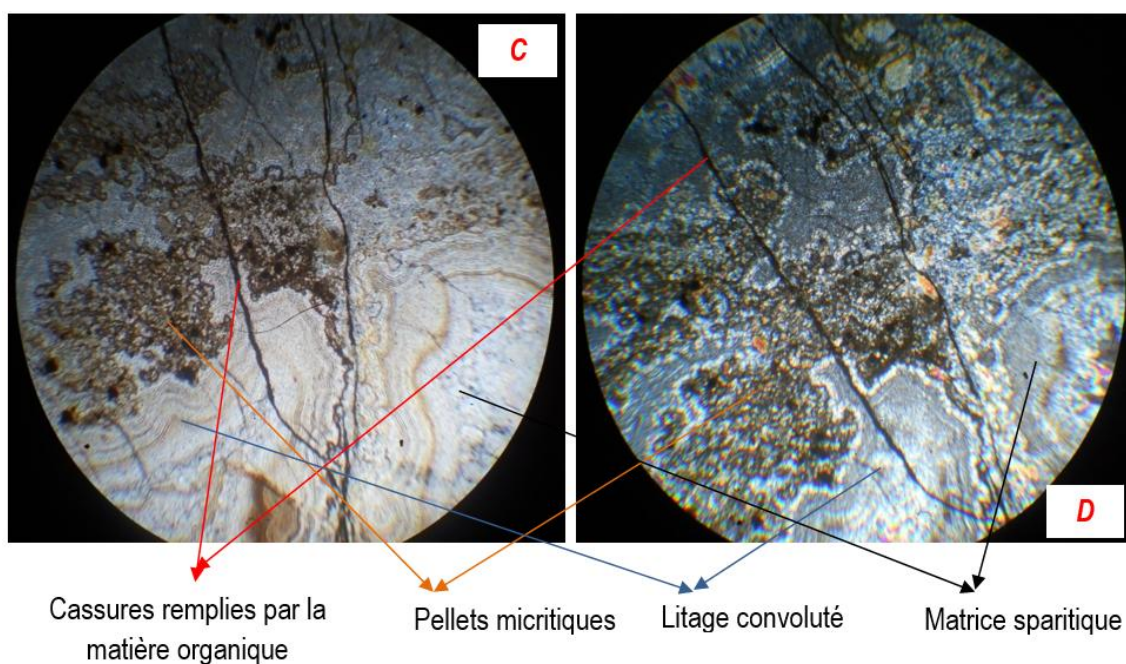


Fig. 5. c et d: Vue microscopique de l'échantillon AD05 en LPNA Belgique et LPA (d)

On a une roche qui présente une matrice sparitique avec des pellets qui sont dispersés dans la matrice, on note aussi la présence d'un litage convoluté et des cassures. Il s'agit d'une **biopelsparite** d'après la classification de Folk.

4.3 ECHANTILLON ET AFFLEUREMENT AD11

4.3.1 DESCRIPTION MACROSCOPIQUE

Roche à grains fins, de coloration rosâtre. Elle présente aussi des petites veines remplies de la calcite (Fig. 6 a et b).



Fig. 6. a et b: Vue macroscopique de l'échantillon (a) et affleurement (b) AD11

4.3.2 DESCRIPTION MICROSCOPIQUE

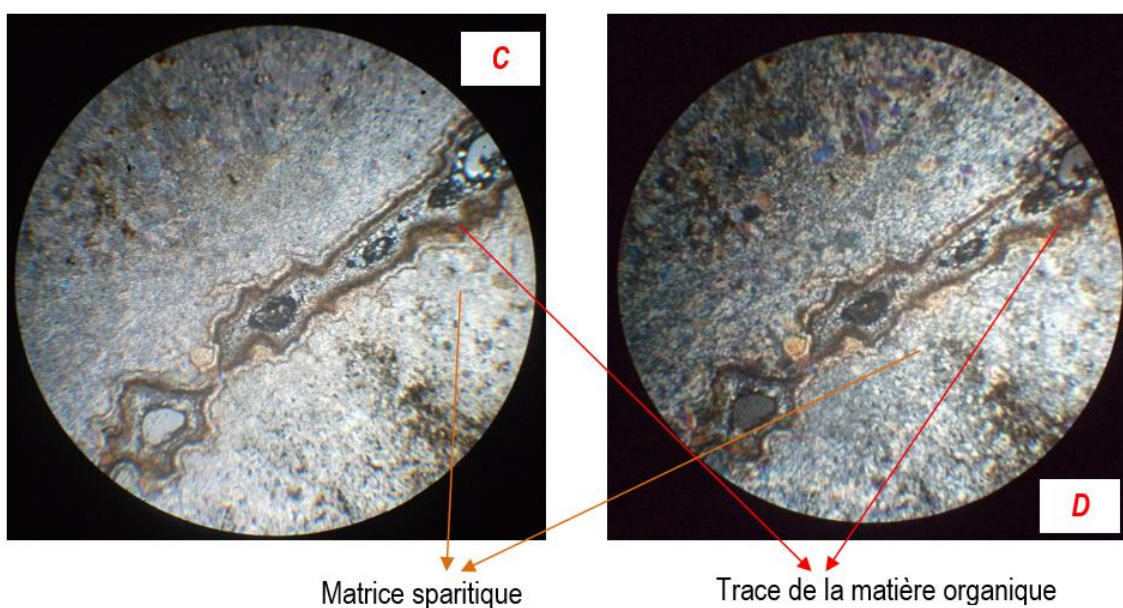


Fig. 6. c et d: Vue microscopique de l'échantillon AD11 en LPNA Belgique et LPA (d)

Au microscope, la roche présente une matrice sparitique avec les grains de calcite dispersés, on remarque aussi une trace de la matière organique. La roche est une **intrasparite**.

4.4 ECHANTILLON ET AFFLEUREMENT AD17

4.4.1 DESCRIPTION MACROSCOPIQUE

Roche massive, à grains fins, de coloration gris clair présentant un litage net et parallèle (Fig. 7 a et b).

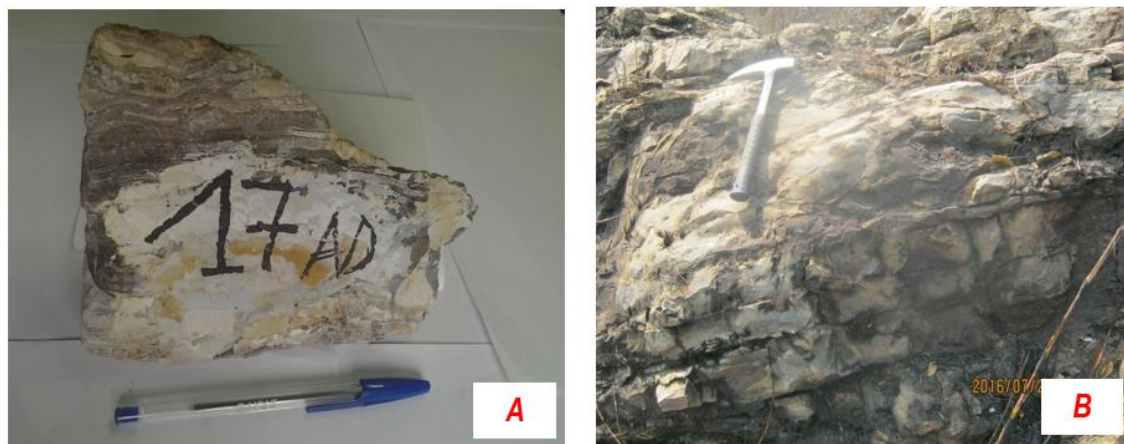


Fig. 7. a et b: Vue macroscopique de l'échantillon (a) et affleurement (b) AD17

4.4.2 DESCRIPTION MICROSCOPIQUE

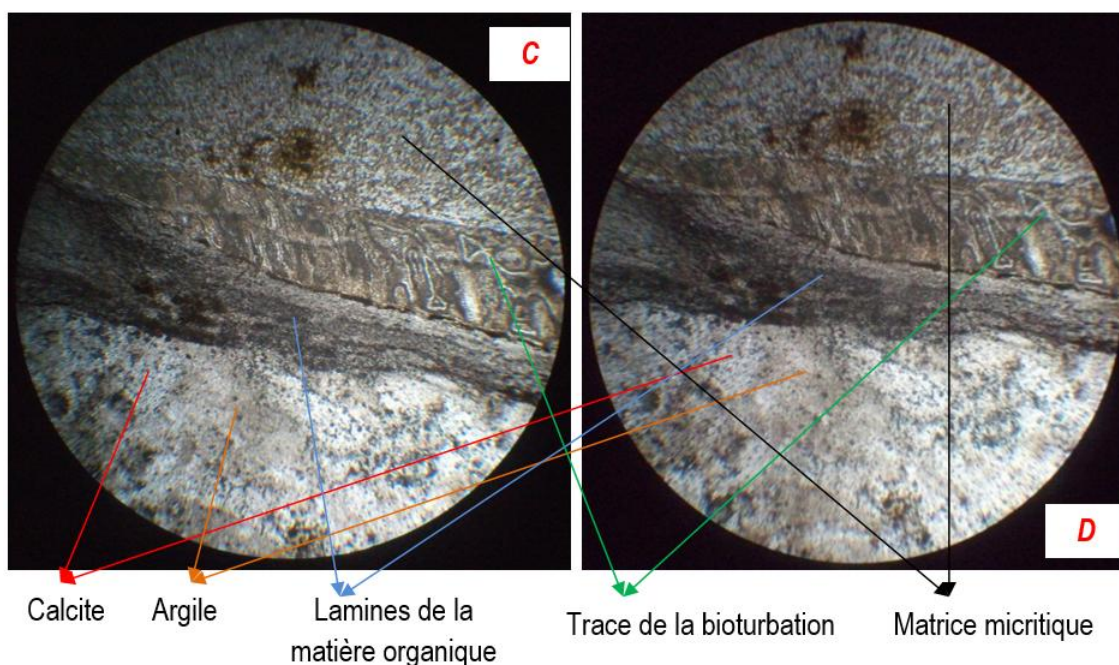


Fig. 7. c et d: Vue microscopique de l'échantillon AD17 en LPNA Belgique et LPA (d)

Au microscope, la roche présente une matrice micritique avec des traces de bioturbations et des lamines de la matière organique, de l'argile y compris de la calcite dispersée dans la matrice. La roche est une **biomicrite**.

4.5 ECHANTILLON ET AFFLEUREMENT AD18

4.5.1 DESCRIPTION MACROSCOPIQUE

Roche massive de coloration rosâtre a grains fins présentant des petits pores remplis par la calcite (Fig. 8 a et b).

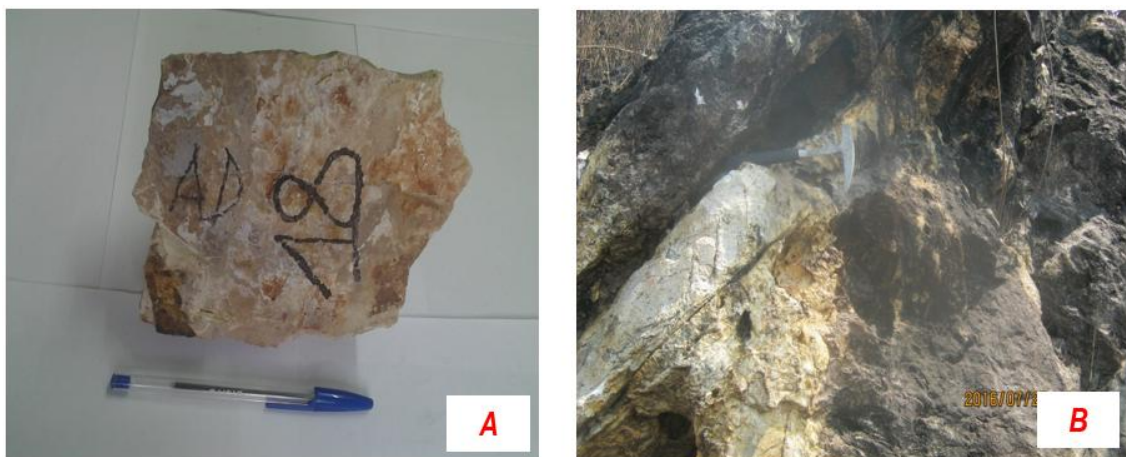


Fig. 8. a et b: Vue macroscopique de l'échantillon (a) et affleurement (b) AD18

4.5.2 DESCRIPTION MICROSCOPIQUE

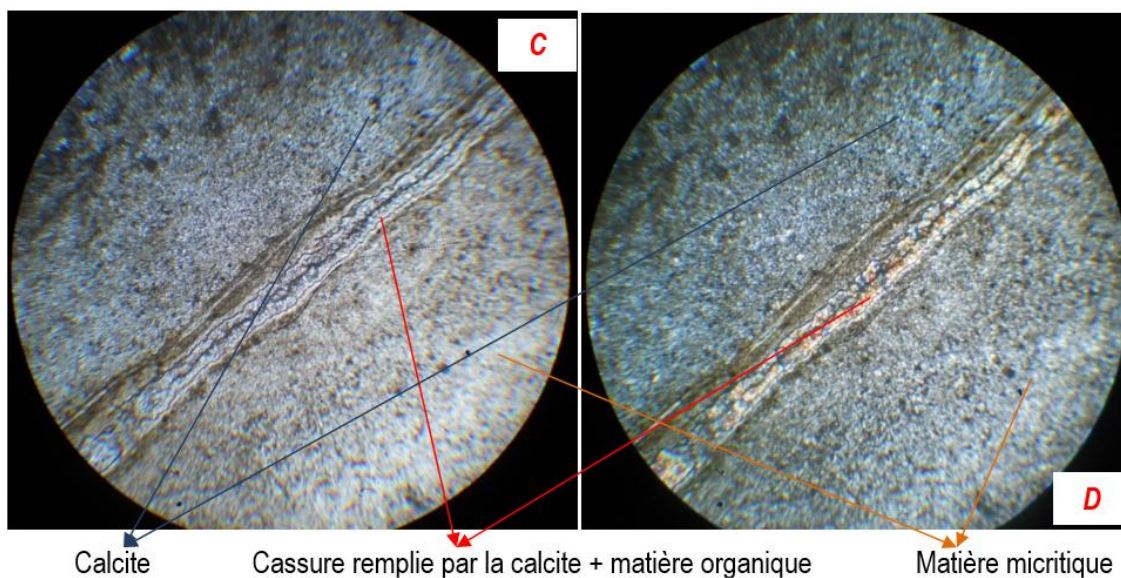


Fig. 8. c et d: Vue microscopique de l'échantillon AD18 en LPNA Belgique et LPA (d)

On est en présence d'une roche qui présente des grains de calcite dispersés dans une matrice micritique. Notons la présence d'une cassure remplie par la calcite et de la matière organique. La roche est une **intramicrite**.

4.6 ECHANTILLON ET AFFLEUREMENT AD36

4.6.1 DESCRIPTION MACROSCOPIQUE

Roche à grains très fins, de coloration mauve à rougeâtre due à l'altération et se présentant en banc (Fig. 9 a et b).



Fig. 9. a et b: Vue macroscopique de l'échantillon (a) et affleurement (b) AD36

4.6.2 DESCRIPTION MICROSCOPIQUE

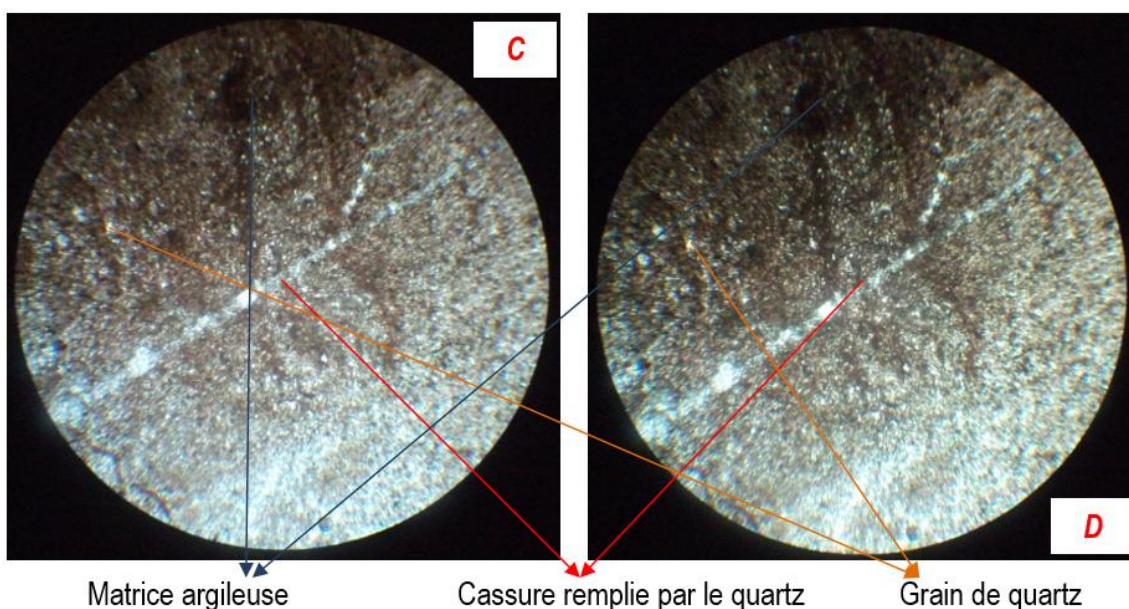


Fig. 9. c et d: Vue microscopique de l'échantillon AD36 en LPNA Belgique et LPA (d)

On a ici, des petits grains de quartz dispersés dans une matrice argileuse. On remarque la présence d'une cassure remplie par le quartz. Il s'agit d'un **shale**.

5 INTERPRETATION

Le présent point résume les résultats de l'étude pétrographique du point de vu macroscopique et microscopique.

Du point de vue lithologique, le terrain sous étude comprend les différentes roches ci-après:

- Les calcaires;
- Les dolomies;
- Les grès;
- Les shales.

En ce qui concerne les roches calcaires, nous avons distingué les principaux types ci-après selon la classification de FOLK (1962):

- Les intramicrites;
- Les intrasparites;
- Les biomicrites;
- Les biosparites;
- Les biopelsparites.

Après l'étude analytique de terrain, suivie des observations macroscopiques et microscopiques, il découle une esquisse géologique de la région étudiée (Fig. 10).

ESQUISSE GEOLOGIQUE DE NTONI ET SES ENVIRONS

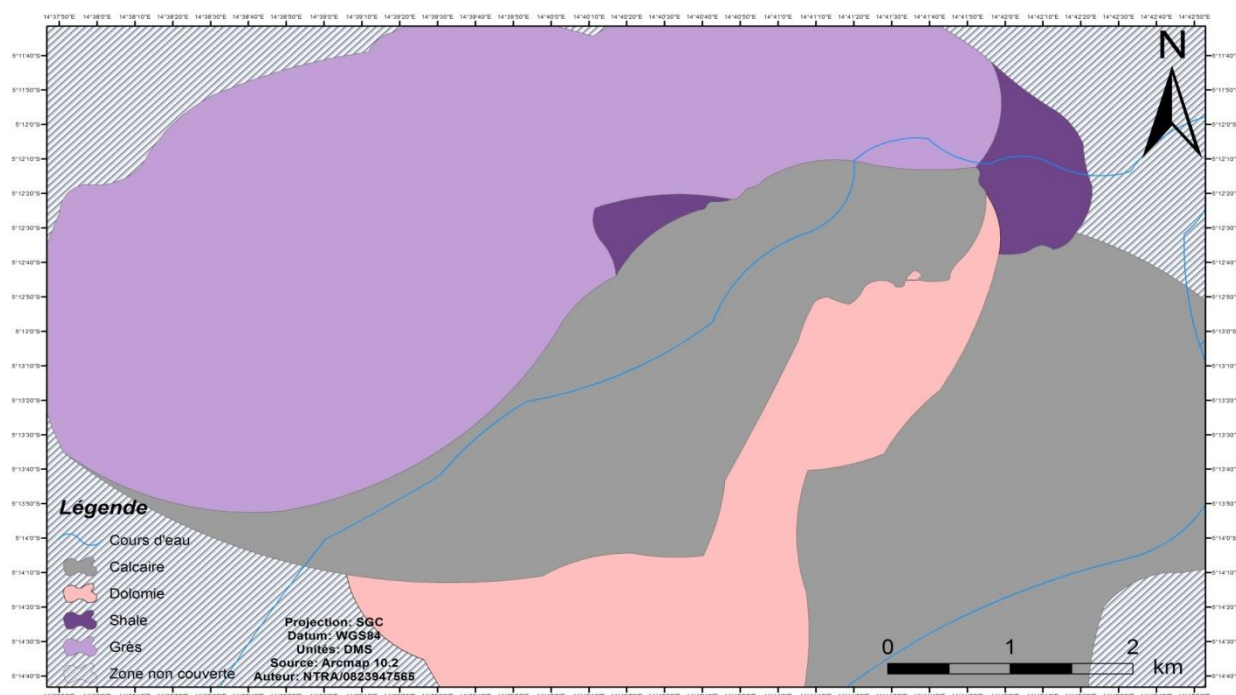


Fig. 10. Esquisse géologique de la région d'étude

6 CONCLUSION

L'étude cartographique et pétrographique de la région de Ntoni s'est révélée concluante en atteignant ses objectifs principaux de caractérisation et de cartographie des formations géologiques locales. Les analyses ont permis de préciser la nature lithologique des roches présentes, principalement des calcaires, dolomies, grès et shales, avec une distinction claire entre plusieurs faciès de calcaires selon la classification de Folk (biomicrites, intrasparites, intramicrites, biosparites et biopelsparites).

L'approche méthodologique rigoureuse, combinant observations de terrain, prélèvements géographiques précis et analyses microscopiques, a permis d'identifier les différentes lithofaciès et leur positionnement géologique, ainsi que d'élaborer une esquisse géologique actualisée de la zone. Cette dernière met en évidence la complexité lithostratigraphique propre au groupe Inkisi néoprotérozoïque, avec des roches gréseuses et argileuses d'âge varié dans un environnement à dominante marine et continental.

En synthèse, ce travail apporte une contribution significative à la compréhension géologique de la province du Kongo Central, fournissant des bases solides pour d'éventuelles études économiques, environnementales et d'aménagement du territoire, notamment en matière d'exploitation des ressources minérales comme les calcaires et grès. Il ouvre également la voie à des approfondissements stratigraphiques et structuraux indispensables pour affiner la cartographie régionale et améliorer la connaissance des formations sédimentaires et leur évolution géodynamique.

REFERENCES

- [1] Alvarez, J., et al. (1995). Géologie et stratigraphie du groupe Inkisi, Kongo Central, RDC. *Revue de Géologie d'Afrique*, Volume 12, pp. 45-62.
- [2] Baeyens, J. (1938). Étude des sols tropicaux et leur influence sur la géomorphologie du Kongo Central. *Annales de la Société Géographique de Belgique*, 74, 111-130.
- [3] BAEYENS J., (1938): Les sols de l'Afrique centrale, spécialement du Congo Belge, INEAC, T.I, Bas-Congo, Vol, Hors-Série.
- [4] Cahen, L., & Lepersonne, J. (1967). Essai de synthèse géologique de la région du Kongo Central. Institut Géologique du Congo, Rapport Technique n° 45, Kinshasa.
- [5] DELEVOY G. (1951): Le Congo forestier in Encyclopédie du Congo Belge, t.II, Ed Bieleveld, Bruxelles.
- [6] DEVROEY E. et VANDERLINDEN R. (1951): Le Bas Congo, artère vitale de notre colonie. 2^e éd. Goemare, Bruxelles.
- [7] LEPERSONNE J. (1974): Carte géologique à l'échelle 1 /200000. Notice explicative de la feuille Ngungu (Degré carré S6 /14=SB.9).Rép.Démocrat.Congo. Mines. Dir. Serv. Géol.
- [8] CRGM-MRAC (Alvarez et al.), 2013.Carte géologique à l'échelle du 1/500.000^e. Notice explicative de la carte géologique de la Province du Bas-Congo 51p.
- [9] TACK. L., (1973): Le massif de la Lufu et sa bordure (République du Zaïre). Note préliminaire. *Ann. Soc. Belge Géol.*, 96, 31-47.
- [10] TACK. L. 1979. Etude pétrographique du Mayumbien du Bas Congo, Ann. MRAC, Tervuren, Belgique.
- [11] FOLK, R.L (1962) – The petrography of carbonate rocks-classification and nomenclature. In: Ham, W.E. (Ed.), *Classification of Carbonate Rocks. A Symposium, American Association of Petroleum Geologists Memoir 1*, pp. 62-84.
- [12] ROBERT L., (1948): Le Congo physique 3^e édition, H. VAILLANT-CARMANNES, Liège, 449p.
- [13] Frimmel, H.E., et al. (2006). Neoproterozoic sedimentary successions and tectonic evolution in the Congo Basin. *Journal of African Earth Sciences*, 46 (2-4), 317-331.
- [14] Tack, L. (2001). Geodynamic evolution of the Central African Basement and sedimentary basins. *Geological Society, London, Special Publications*, 167, 189-213.
- [15] Robert, G., Devroye, J., & Vander Linden, J. (1948-1951). Climat et sols du Kongo Central: observations et études. *Mémoires de l'Institut Royal Colonial Belge, Série Sciences Naturelles*, No. 19, Bruxelles.
- [16] CRGM (Centre de Recherche en Géologie et Minière) (2019). Carte géologique du Kongo Central à l'échelle 1/100,000. Rapport interne publié à Kinshasa.

Techniques d'enseignement appliquées plus dans notre pratique professionnelle: Avantages et leurs obstacles

[Teaching techniques most applied in our professional practice: Advantages and their obstacles]

John KITUMAINI BIJACHI

Institut Supérieur Pédagogique d'Idjwi, RD Congo

Copyright © 2026 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This paper examines the teaching techniques most commonly applied in professional practice, with particular focus on the lecture method and practical work. The study highlights that the lecture method remains widely used due to its ability to convey a large amount of information efficiently to large groups and its pedagogical flexibility. However, this method has notable limitations, including learner passivity, limited consideration of individual differences, and weak development of practical skills.

Practical work plays a crucial role in the teaching-learning process by promoting the practical application of knowledge, the development of technical skills, learner autonomy, critical thinking, and creativity. It also enables teachers to better assess students' actual levels of understanding. Despite these advantages, practical activities face several challenges, such as unequal participation in group work, insufficient student engagement, and material constraints.

The study concludes that an effective teaching strategy requires a balanced integration of lecture-based instruction and practical activities, particularly in professional and technical education contexts.

KEYWORDS: teaching techniques, lecture method, practical work, learning process, professional training, pedagogy.

RESUME: Ce travail analyse les techniques d'enseignement les plus utilisées dans la pratique professionnelle, en mettant l'accent sur l'exposé magistral et les travaux pratiques. L'étude montre que l'exposé magistral demeure une méthode largement employée en raison de sa capacité à transmettre rapidement une grande quantité d'informations à un public nombreux, tout en offrant une certaine flexibilité pédagogique. Toutefois, cette méthode présente des limites, notamment la passivité des apprenants, la faible prise en compte des différences individuelles et les difficultés liées au développement des compétences pratiques.

Les travaux pratiques, quant à eux, occupent une place essentielle dans le processus d'enseignement-apprentissage, car ils favorisent l'application concrète des connaissances, le développement du savoir-faire, de l'autonomie, de l'esprit critique et de la créativité chez les apprenants. Ils permettent également à l'enseignant d'évaluer plus efficacement le niveau réel des étudiants. Néanmoins, leur mise en œuvre peut être confrontée à plusieurs obstacles, tels que le manque d'effort de certains apprenants, l'inégalité de participation dans les travaux de groupe et les contraintes matérielles.

En conclusion, l'étude souligne l'importance d'une combinaison équilibrée des méthodes expositives et pratiques, afin d'améliorer l'efficacité pédagogique et de répondre aux exigences de la formation professionnelle.

MOTS-CLEFS: techniques d'enseignement, exposé magistral, travaux pratiques, apprentissage, formation professionnelle, pédagogie.

1 INTRODUCTION

Les capteurs d'attention peuvent être une question intrigante à laquelle vous répondrez pendant le cours magistral, une histoire qui illustre la nouvelle matière, une démonstration d'un phénomène inhabituel, une référence à un événement actuel ou à un aspect de la culture populaire (p. ex., un film ou une chanson), un problème qui peut être résolu avec les connaissances tirées du cours magistral ou une forte généralisation qui va à l'encontre d'une croyance populaire. Mc. Keachie ajoute que l'introduction devrait porter sur une lacune au niveau de la structure cognitive actuelle des étudiants ou devrait remettre en question ou soulever une question concernant un aspect de la démarche d'organisation existante de la matière adoptée par les étudiants. Le but est de capter l'attention des étudiants en piquant leur curiosité, en offrant surprise ou suspense ou en reliant le contenu aux connaissances déjà acquises.

Quant aux travaux pratiques sont des exercices d'application que l'élève s'efforce de résoudre seul dans le but d'appliquer les notions acquises; de prolonger l'action des leçons par des efforts personnels et de préparer éventuellement une nouvelle leçon. Il présente beaucoup d'avantages chez l'élève comme chez le maître.

Pour l'étudiant, il lui permet de fixer les connaissances acquises, constater les erreurs et pouvoir les corriger, exiger de lui un effort personnel, favoriser l'habitude du travail soigné.

Quand l'enseignant, il permet de vérifier efficacement son enseignement et se rendre compte du niveau réel de sa classe.

Ce travail doit s'assigner les qualités suivantes:

- Adapté au niveau intellectuel des enfants.
- Il doit être en rapport avec la matière enseignée.
- Il doit être varié et motivé, propre à intéresser et à exciter la curiosité des étudiants.
- Il doit être pratique et fréquent mais pas trop long.

2 EXPOSE MAGISTRAL OU METHODES AFFIRMATIVES

L'exposé ou méthode affirmative est la méthode d'enseignement la plus traditionnelle, c'est celle avec laquelle la plupart des gens sont le plus habitués. Dans un cours magistral, le formateur parle pendant que les participants écoutent et absorbent l'information. Dans une forme un peu plus active, les participants prennent des notes. Les idées principales peuvent facilement être livrées dans un cours magistral. Le format du cours peut être renforcé par l'utilisation de citations, d'exemples, de statistiques et de comparaisons. Idéalement, les participants assistant à un cours devraient avoir de bonnes aptitudes à l'écoute et un certain niveau de compétence et d'expérience. Le formateur doit posséder de fortes habiletés pédagogiques et le pouvoir de retenir l'attention des participants. Ceci signifie que le formateur doit être crédible et maîtriser la matière enseignée afin d'intéresser les participants.

On observe généralement que la taille de l'auditoire a une influence sur le niveau de formalisme de l'activité. Plus les participants sont nombreux, plus l'activité a un caractère formel et moins les participants interviennent. Cette méthode est probablement celle qui est la plus centrée sur le formateur.

Le cours magistral ou exposé magistral est un excellent moyen pour énoncer des règles générales, pour présenter des notions de base, des méthodes, des procédures, etc. Après un cours bien réussi, un participant devrait pouvoir réitérer les principaux points enseignés en citant des exemples, et ce, dans l'ordre logique du déroulement du cours. Par ailleurs, le cours magistral néglige tous les autres aspects des règles de la formation. Les participants n'ont pas pris part à la formulation des objectifs de la formation, et ainsi n'ont pas été impliqués pour fixer les résultats escomptés. La rétroaction n'est pas possible lorsqu'il n'y a pas de débats ou une période de questions et réponses pendant le cours. L'implication des participants se résume à écouter et à prendre des notes. Les liens entre le cours et le travail se résument en l'utilisation d'exemples.

Malgré quelques faiblesses évidentes, le cours magistral a des attributs qui en font la méthode la plus populaire de toutes. C'est une méthode très polyvalente et flexible qui peut facilement être combinée avec d'autres approches: les discussions, les lectures complémentaires, la prise de notes, les démonstrations, les projections vidéo, les diapositives, etc. L'exposé magistral est souvent utilisé comme support, spécialement pour renforcer d'autres méthodes: les débats, les manuels d'instructions, l'enseignement programmé, les jeux de rôle ou les visites organisationnelles. Un autre élément important à noter est que le cours magistral permet de livrer une grande quantité d'informations rapidement, et à un coût raisonnable.

Les déficiences de cette méthode jaillissent en partie de ses forces. Le cours magistral couvre généralement beaucoup de points, de sorte que le formateur ne peut réussir à faire passer l'ensemble de ses informations aux participants dont la capacité d'absorption est dépassée. Les conférenciers ont tendance à vouloir être trop explicites en raison de l'efficacité de cette

méthode d'enseignement. Parce que l'exposé magistral ne tient pas compte des profils individuels des participants et que ceux-ci n'ont pas de contrôle sur l'enseignement et ne se sentent pas véritablement impliqués, le cours peut être ennuyant. Peu de canaux sensoriels sont interpellés par cette méthode. Les participants sont passifs. C'est souvent une méthode faible lorsqu'il faut développer de nouvelles habiletés chez les participants. De plus, il est presque impossible pour le formateur d'évaluer le progrès des participants durant la formation avec cette méthode.

On ajoute parfois un support audiovisuel à cette méthode, renforçant ainsi son efficacité. Le tableau ou le rétroprojecteur sont les outils les plus couramment utilisés. Comme les participants ne retiennent en moyenne que 20 % de ce qu'ils ont entendu, mais 50 % de ce qu'ils ont vu et entendu, le formateur a tout intérêt à solliciter le canal visuel des participants, en plus du canal auditif. Des documents de support ou des copies des acétates sont souvent souhaités par les participants. Les tableaux à feuilles volantes (" Flip Charte ") sont encore occasionnellement utilisés dans les cours magistraux mais ils ont été la plupart du temps remplacés par les acétates.

AVANTAGES

L'exposé magistral est une méthode d'enseignement qui présente les avantages suivants:

- Il est adapté aux groupes de moyenne ou de grande dimension; son coût est raisonnable;
- Les participants sont habitués à cette méthode;
- Il permet facilement la communication d'une information générale;
- Il permet de présenter efficacement et rapidement une grande quantité de matière;
- Il est facile à combiner avec d'autres méthodes;
- Il est facile à planifier;
- Il convient à une audience ayant de grandes capacités cognitives;
- Il permet au formateur de faire référence à des événements d'actualité;
- Il s'agit d'une méthode sécurisante pour le formateur, parce qu'il contrôle le contenu et le processus;
- Les participants accordent généralement une grande crédibilité aux informations transmises par le formateur.

DÉSAVANTAGES

L'exposé magistral comporte par contre quelques inconvénients:

- Il ne permet pas de tenir compte des différences individuelles des participants;
- Les participants sont passifs;
- Il ne fait pas appel à l'expérience et à l'expertise des participants;
- Il ne favorise pas les échanges;
- Il peut facilement devenir ennuyeux pour des auditeurs;
- Il ne convient pas lorsqu'il faut développer des habiletés;
- Il fait appel à un seul des canaux sensoriels des participants;
- Son efficacité est limitée quant au transfert des connaissances en milieu de travail;
- Il est difficile pour le formateur d'évaluer le progrès des participants pendant la formation;
- Son efficacité est liée aux habiletés de communication orale du formateur;
- Son efficacité est liée à la capacité de concentration des participants durant un exposé oral;
- Il est peu propice au développement de liens entre le formateur et les participants;
- Il ne favorise pas la responsabilisation des participants.

PRÉPARATION DE L'EXPOSÉ

Idéalement, l'évaluation des besoins de formation aura montré les lacunes dans les connaissances des participants, ce qui orientera le formateur dans la préparation de son exposé. Le formateur doit préparer un plan de cours et des notes détaillées. Quand c'est possible, le formateur peut tester son matériel auprès d'experts, de supérieurs des participants, ou encore auprès d'un petit groupe de participants.

Dans la planification de l'exposé, il convient de prévoir une période au tout début pour présenter les points qui seront traités, et une période à la toute fin pour résumer. Il est aussi souhaitable de résumer les points couverts à certains moments clés de l'exposé.

PRESTATION DEVANT LE GROUPE

Le formateur doit présenter un résumé du cours aux participants au tout début, afin qu'ils aient une vue d'ensemble du cours et de la structure de l'exposé.

Pendant que le cours progresse, le formateur doit observer le comportement des participants. Est-ce que les participants suivent le rythme, prennent des notes, semblent confus ou fatigués? S'interroger sur la technique aide à déterminer si la matière est bien comprise. Le formateur doit être prêt à modifier son enseignement en cours de route s'il a l'impression que les participants ne comprennent pas bien. Une atmosphère détendue ajoute au processus d'enseignement et une utilisation occasionnelle de l'humour est bienvenue pour détendre l'atmosphère. Le formateur doit aussi avoir à l'esprit que l'attention des participants diminue considérablement après vingt minutes.

Pour faciliter l'écoute active des participants, le formateur peut avoir recours aux techniques suivantes:

- Utilisation des gestes;
- Variation du ton de la voix;
- Utilisation des déplacements;
- Utilisation du regard;
- Utilisation de l'humour;
- Utilisation de supports audiovisuels.

À la fin de l'exposé, le formateur doit résumer son propos, afin de favoriser la rétention des points essentiels.

3 LES TRAVAUX PRATIQUES

D'après G. DEFOUR (1987, p.327), Si les travaux pratiques sont programmés et reconnus d'une certaine importance parce qu'ils confèrent d'abord la compétence technique indispensable à l'efficacité et au sérieux d'un agent actif. la vie d'une communauté est de fait confrontée à des problèmes complexes, chacun dans entre eux relevant d'une compétence spécifique (son domaine). Nous ne pouvons pas réunir en nous toutes ces spécialités, mais il est indispensable qu'un étudiant y soit bien introduit pour déceler les failles éventuelles et suggérer une solution d'urgence en attendant le passage des spécialistes. Appeler à planifier son action éducative, il lui faut aussi concevoir, intégrer donc une notion suffisante bien que simple, divers éléments en relation. En outre, cela l'introduction des travaux pratiques à un effet équilibrant pour la personnalité des professeurs et des étudiants: à manier uniquement des mots, on risque de se perdre dans les nuages... à ne faire travailler que la tête, on risque l'échauffement, l'accumulation des vapeurs et partant, des explosions. Ce double objectif nous permet de mieux cerner et apprécier l'apport des travaux pratiques:

- Apprendre à manier les outils et les instruments prudemment avec habileté, aisance et efficacité,
- Apprendre à aborder soi-même les matériaux, à le comprendre, à le sentir dans son droit fil, à le conduire sans le brusquer, à y imprimer sa marque, à l'orienter vers le mieux-être de la communauté.
- Les hommes et les choses dépendent l'un de l'autre (proverbe burundais).
- Maîtriser une technique de sorte qu'elle ait la place dans sa vie professionnelle d'un technicien d'enseignement.
- Conduire à l'exercice concret d'un métier dans toute sa complexité et dans toute sa richesse.
- Réaliser de l'utile et de la pratique avec les moyens disponibles en milieu scolaire.
- Gouter la joie et la fierté du travail simple, car pour réussir dans une activité, il n'y a pas de meilleur sortilège qu'une calabasse remplie des sueurs (proverbe mossi).
- Découvrir les contraintes de l'outil et des matériaux, ainsi que les orientations qui les imposent à la pensée logique et à l'imagination (l'intelligence s'acquiert que dans la pratique).
- Equilibre la personnalité de chacun et par le fait même, la vie tout entière de l'institut.
- Sentir qu'on se réalise, qu'on se crée du neuf, pouvoir créer sa propre créativité, goûter la joie de la découverte.
- Savoir s'imposer par la connaissance d'un savoir-faire, d'une réelle technicité... S'en voir valoriser aux yeux des tous et à ses propres yeux.

D'après J. THEUNISSEN (1986, p 82) les travaux pratiques sont des travaux accomplis par les étudiants en dehors des heures des leçons, imposé par l'enseignant et en rapport avec les leçons. Ils ont comme buts et avantages de contrôler les connaissances des apprenants et l'enseignement du professeur en se rendant compte des défiances individuelles des étudiants, l'enseignant doit individualiser le travail pratique par les fiches de récupération mais aussi il examinera dans le but d'améliorer sa manière de faire l'auditoire. La rédaction et la présentation des questions seront souvent l'objet de cet examen.

- Il précise également les connaissances acquises au cours des leçons
- Il habitue l'étudiant au travail individuel pendant la compréhension des textes, la rédaction de lettre et rechercher la documentation.
- Il forme l'intelligence en provoquant l'effort de l'intelligence, faire juger et raisonner.
- Il développe l'esprit d'initiative et l'imagination, la persévérance dans l'effort et l'habitude de l'ordre.

CONDITIONS DES TRAVAUX PRATIQUES

- Les travaux pratiques doivent être agréables, c'est-à-dire il faut qu'ils soient intéressants.
- Ils doivent être préparé, c'est-à-dire que les étudiants doivent savoir exactement ce qu'on attend d'eux, ils doivent connaître les moyens de résoudre problème qu'on leur pose ou les sources où ils puiseront ces moyens.
- Les travaux pratiques demandent un minimum d'effort, c'est-à-dire que les difficultés seront adaptées à la capacité des étudiants.
- Les travaux pratiques doivent avoir une durée longue pour être adapté à l'âge des étudiants et au temps qu'ils disposent mais aussi aux besoins des étudiants.

INCONVENIENTS DES TRAVAUX PRATIQUES

- Pour les travaux pratiques donnés en groupe, les meilleurs étudiants travaillent à la place des autres et la sanction est la même chez tout le monde.
- D'autre part, on constate que les étudiants ne fournissent pas de l'effort pour s'exercer
- Certains travaux pratiques mal donnés ne font qu'embrouiller les étudiants,
- Il ya un travail intense de la part des étudiants
- Certains étudiants ignorent l'importance des travaux pratiques et se permettent de chercher d'autres personnes averties à travailler à leur place.

4 CONCLUSION

L'école est un lieu plus indiqué et spécialisé pour l'éducation et l'instruction. Elle est donc chargée de former ceux qui sont confiées en leur transmettant un savoir, un savoir-être et un savoir-faire. Ce processus de transmission de savoir a fait l'objet d'étude au fil de temps. Cette attitude d'étude et d'analyse et de réflexion sur la transmission des connaissances a permis aux scientifiques des méthodes, des procédés et des techniques d'enseignement. En premier lieu, nous avons parlé des méthodes expositives ou affirmatives selon P GOGUELIN que nous utilisons plus dans notre vie pratique. En deuxième lieu, nous avons parlé de l'apport des travaux pratiques que nous utilisons plus dans la pratique de classe pour permettre de mettre l'enfant en contact avec le concret.

REFERENCES

- [1] Boisvert, Daniel, François Cossette et Michel Poisson.; *Animation de groupe*; Tome 1; Montréal; Les Éditions Agence D'ARC; 1991; pp. 208 - 375.
- [2] Chamberland, Gilles, Louise Lavoie et Danielle Marquis; *20 formules pédagogiques*; Ste-Foy; Les Presses de l'Université du Québec; 1995; pp. 37 – 43.
- [3] Eittington, Julius E.; *The Winning Trainer*; Third Edition; Houston, TX; Gulf Publishing Company; 1996; pp 374 – 401.
- [4] Van Wart, Montgomery, N. Joseph Cayer, et Steeve Cook; *Handbook of Training and Development for the Public Sector*; San Francisco, CA; Jossey-Bass; 1993; pp. 162 - 164.
- [5] Georges DEFOUR (1987) *pour une pédagogie du milieu intégral*, édition Bandari, Bukavu, Sud-Kivu.
- [6] J.THEUNISSEN (1986) l'éducation intellectuelle: *Méthodologie générale*, éd. CRP, Kinshasa, RDC.
- [7] KAYEMBE, B et ROGER, (1973) *pédagogie de groupe dans l'enseignement secondaire et formation des enseignants*, Paris, DUNOD.
- [8] DEBESSE, M (1971) *traité des sciences pédagogiques*, Paris, PUF.

Densification du bâti et organisation urbaine dans l'espace planifié de la commune de Matete à Kinshasa (RDC)

[Building densification and urban organization in the planned area of the Matete commune in Kinshasa (DRC)]

Alain Bosco Mansila Baketa¹, Shuku Onemba Nicolas², Jean Claude Mashini Dhi Mbita³, and Mavinga Mvumbi Sylvain⁴

¹Doctorant et chef de travaux à L'UPN et au Département de Géographie-Gestion de l'Environnement, ISP, Gombe, Kinshasa, RD Congo

²Prof au Département de Géographie, Environnement et Géomatique de l'université d'Ottawa-Canada, Chercheur en Sciences forestières, bioénergies de l'Université Laval, Canada, Professeur Associé à l'Institut de l'Environnement et Développement durable de l'Université Laval-Québec et Professeur au Département de Géographie-Gestion de l'Environnement de L'institut Supérieur pédagogique de la Gombe, Kinshasa, RD Congo

³Professeur Ordinaire, Département de Géographie-Sciences de l'Environnement, Université Pédagogique Nationale, Kinshasa, RD Congo

⁴Université Président Joseph Kasa-Vubu, Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement, Département de Gestion de Ressources Naturelles et Biodiversité, Professeur Docteur, Enseignant-Chercheur en Sciences de l'environnement, BP 314 Boma-RDC, Unité de Communication Environnementale, Département de Géographique et Gestion de l'Environnement, Institut Supérieur Pédagogique de la Gombe, RD Congo

Copyright © 2026 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: Built on the alluvial plain of Kinshasa, the planned city of Matete is bordered on its peripheral areas by green spaces and benefits from a diversity of housing types and facilities laid out on serviced grids, compared to other neighborhoods of the city. Demographic pressure, population densification, and the spread of self-built housing on the former grid-based urban fabric—largely driven by rural exodus, the departure of colonial settlers on the eve of independence, the decline of the National Housing Office (ONL), the anarchic occupation of land extending to the foothills of hilly zones in complicity with the customary authorities of the time, and finally the shift to the rent-to-own system during the Zairianization period—are among the main factors underlying the current transformation of this former turnkey housing area.

A local land-use and development plan has now become necessary in order to address the effects of this spontaneous growth generated by upward urbanization.

KEYWORDS: urban organization, built densification, planned housing, demographic pressure, development plan.

RESUME: Bâtie sur la plaine alluviale de Kinshasa, la cité planifiée de Matete est bordée dans sa partie périphérique par des espaces verts et bénéficie d'une diversité d'habitat et d'équipements sur des trames assainies comparativement aux autres quartiers de la ville. La pression démographique, la densification du peuplement et du bâti auto-construit sur l'ancien tissu en damier, provoquée en majeure partie par l'exode rural, le départ des colons à la veille de l'indépendance, le déclin de l'Office National du Logement, (ONL en sigle), l'occupation anarchique des terres jusqu'aux pieds des zones collinaires en complicité avec les autorités coutumières de l'époque et enfin le passage au régime de location-vente pendant la zairianisation, sont autant des facteurs à la base de la métamorphose actuelle de cet ancien habitat clefs à main.

Un plan local d'aménagement s'avère désormais nécessaire afin de palier à cet effet de spontanéisme créé par cette urbanisation ascendante.

MOTS-CLEFS: organisation urbaine, habitat planifié, densification du bâti, pression démographique, plan d'aménagement.

1 INTRODUCTION

Matete est l'une de 24 communes que constitue la ville de Kinshasa en RDC. Elle est constituée de deux types d'habitat principaux à savoir: l'habitat planifié d'origine coloniale dans sa partie centrale et l'habitat spontané ou d'auto-construction, de création plus récente, qui la ceinture dans son hinterland (Kadilekoloko et al, 2023). L'habitat planifié qui domine en superficie dans ladite commune a été le mode de production de logement pour les Africains le plus répandu à Kinshasa comme dans les grandes villes congolaises (Kazaku, K., 2024). Ce mode a été en vigueur à l'époque coloniale dans le cadre d'un urbanisme ségréatif et très volontariste appliqué jusqu'à nos jours.

La cité comptait divers quartiers populaires aménagés ou planifiés et relativement bien équipés: des blocs de logements en petits ensembles collectifs, soit à étage d'un seul niveau à destination résidentielle ou commerciale, soit pavillonnaire, tous très exigus, dans un lotissement en damier très morcelé avec voirie asphaltée très dense, doublés des réseaux d'assainissement à ciel ouvert ou souterrains très hiérarchisés, avec équipements résidentiels multiples (Des projets d'habitat planifié, 2015).

Malheureusement, du fait de l'effondrement de l'autorité de l'Etat en matière de gestion des villes et de la croissance démographique incontrôlée dans la ville de Kinshasa, les quartiers planifiés connaissent de nos jours, une pression démographique impressionnante et incontrôlée évoluant dans un espace habité aux dimensions restées jusque-là inchangées. (Michel, B. 2022). Cette explosion de la population ainsi que de ses densités spatiales engendrent de nouveaux problèmes d'urbanisme et d'environnement au sein des quartiers dits planifiés. L'ampleur de la dynamique et de la dégradation de l'habitat varie d'une unité spatiale à l'autre au sein d'un quartier et est fonction de plusieurs facteurs, notamment: le poids démographique, l'accessibilité par rapport aux points structurants d'attraction, la densité des réseaux d'équipements, la densité des activités, etc. (Azizou et al, 2021).

Nous examinerons, dans la présente étude, la dynamique urbaine ainsi exposée, fondée sur une organisation urbaine spécifique et marquée par une densification du bâti de plus en plus perceptible. Nous aboutirons du point de vue de l'aménagement du territoire à une proposition concrète de structuration urbaine fondée sur des spécificités du cadre urbain de l'espace planifié de Matete.

Après plus de 50 ans d'existence, la majorité des quartiers de Kinshasa érigés à l'époque coloniale ont connu une évolution souvent qualifiée de régressive (Gloire K., 2022). Construits sur un certain respect des normes urbanistiques pour les cités indigènes, ces quartiers respectaient un certain standing et offraient aux habitants des conditions de vie confortables. La croissance démographique exponentielle qui caractérise la ville de Kinshasa a eu des effets sur tous les plans, notamment dans l'organisation et le fonctionnement de la ville. Matete qui fut à l'origine bien structurée avec très peu de problèmes d'urbanisme, fut considérée comme l'une des communes les plus urbanisées de la ville. Avec tous ses réseaux (voirie, assainissement, adduction d'eau et électricité) ainsi que ses équipements d'infrastructure, l'entité administrative de Matete ne rencontrait pratiquement pas les problèmes que ses habitants vivent aujourd'hui. Nous citons notamment la densification du bâti parcellaire, la précarité des installations sanitaires, les problèmes d'aménagement relatifs à la voirie ainsi que le réseau d'assainissement, etc.

Malheureusement, avec le départ des colons, la pression démographique et la faiblesse de l'Etat congolais dans la gestion de l'espace, l'anarchie fut installée, entraînant une pression de l'habitat sur des espaces autrefois libres. Par ailleurs, à l'échelle de la commune, les terrains de jeux, les espaces verts sont littéralement envahis, vendus ou lotis avec la complicité des autorités municipales et celles des affaires foncières. Ce qui traduit une crise de gestion urbaine et le site de Matete, qui faisait partie de ces zones autrefois confortables, a connu une dynamique importante au point de perdre complètement sa physionomie d'antan.

Le plan de Kinshasa mettait en évidence l'organisation de l'espace kinois (Flouriot J., 1975). Une organisation qui montrait une affectation des sols en différentes zones à savoir: des zones d'habitation, des zones d'activités diverses, des espaces libres, de loisirs, des espaces verts, des espaces publics et à usage privés, etc. Pour Matete, on pouvait noter dans ce plan le développement des aspects relatifs à l'habitat (la croissance, la typologie et la dynamique), à la population (la répartition, la densité, les catégories socio-professionnelles, la structure et la dynamique), les activités, la voirie, le transport, les réseaux divers, les équipements de base, etc.

Matete, cité planifiée des années 1950 disposant de toutes les infrastructures et espaces verts disponibles, semble manifestement aujourd'hui défigurée avec ses parcelles surchargées de constructions multiformes, réduisant remarquablement l'espace vital des occupants. L'organisation urbaine de ce cadre spatial paraît aujourd'hui dépassée (Ndalibandu A., 2016).

La question ci-dessous sous-tend la recherche, il s'agit de:

Comment se présente l'organisation urbaine actuelle de Matete, au départ d'un tissu confus et densifié et quelles sont les pistes de solutions proposées afin de palier à cette crise urbaine et le modèle d'aménagement et de structuration spatiale proposé afin d'améliorer considérablement les conditions de vie de la population urbaine ?

L'habitat de Matete a connu une très forte croissance démographique qui s'est traduite par une occupation de plus en plus dense de tous ses espaces verts, la croissance des indices d'occupation du sol ainsi que la transformation de son habitat d'origine (Mansila A., 2015). Les principales conséquences de cette croissance sont nombreuses, il s'agit entre autres de la disparition des espaces verts, la surcharge des différents réseaux du quartier notamment celui d'adduction d'eau et d'électricité, d'assainissement ainsi que de la voirie, de même une dégradation généralisée à l'échelle du quartier et des parcelles (Muhoza et al, 2022).

L'enracinement des populations et l'accroissement de la taille de familles propriétaires seraient dus, d'une part, à l'arrivée massive de la population du milieu rural et, d'autre part, aux mouvements naturels de la population kinoise elle-même avec comme corollaire la consommation et l'occupation en tâche d'huile de tous les anciens espaces verts prévus dans le plan d'urbanisme de Matete en 1955. La taille très réduite des parcelles variant de 120 à 200 m² en moyenne dans les quartiers planifiés contre 300 à 400 m² dans les quartiers spontanés périphériques serait le fait sociologique que ces logements, prévus à l'avance pour la classe moyenne ouvrière par les colonisateurs, ne prévoyaient aucun autre type de logement.

L'exiguïté des logements habités de 30 à 36 m² en moyenne, destinés à l'origine soit aux célibataires soit aux jeunes mariés serait dû au fait qu'ils étaient conçus de l'extérieur et souvent par des étrangers qui n'ont pas tenu compte du mode de vie de la population locale. Les évolutions actuelles de l'habitat et de l'organisation urbaine conduiraient à un désordre urbain se caractérisant par une anarchie sans précédent où la population reste et demeure le seul maître dans ledit secteur et agirait sans avis préalable des services compétents en la matière. Devant cette situation, le vécu de la population locale ne semblerait nullement être perturbé par les évolutions actuelles.

PRÉSENTATION DE LA COMMUNE DE MATETE

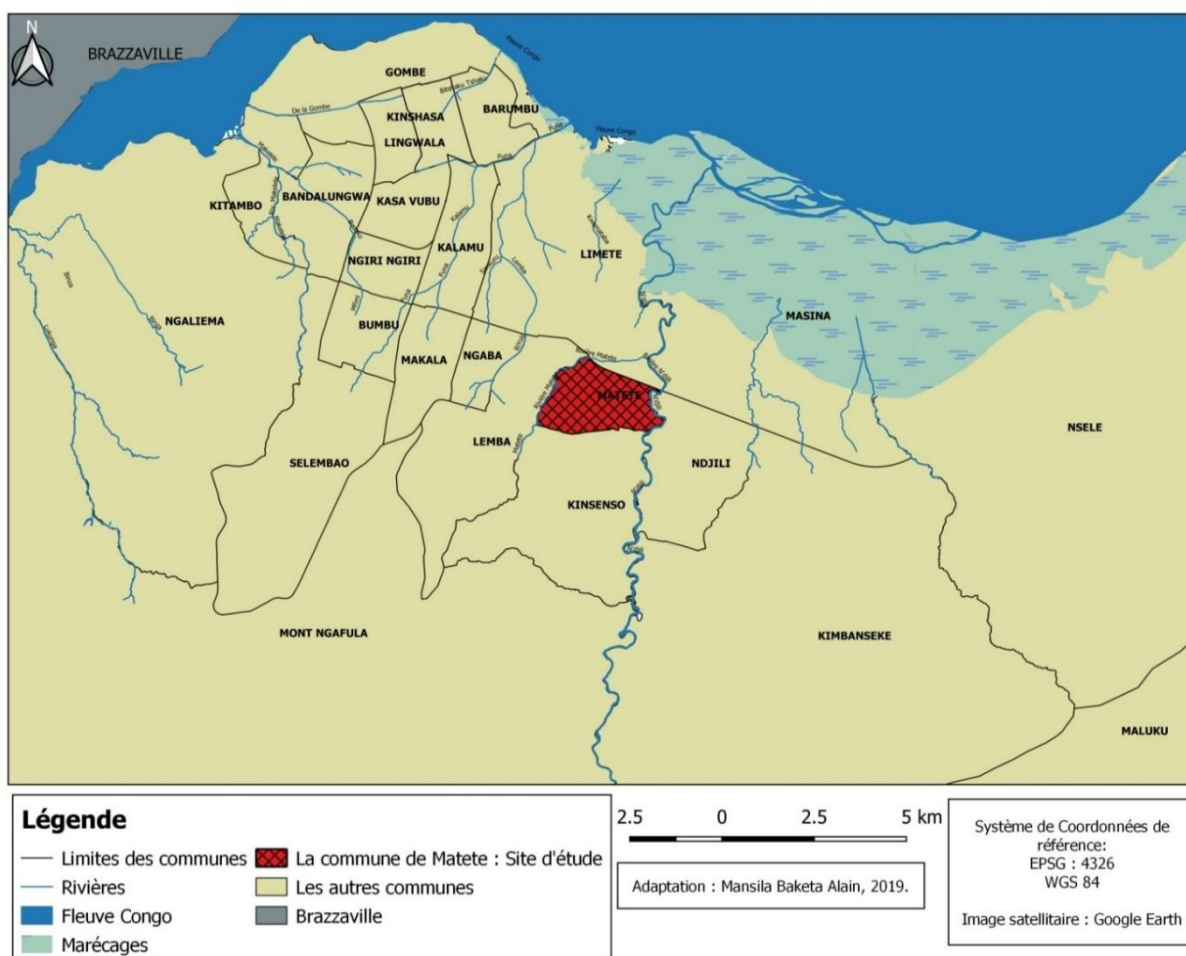


Fig. 1. Carte administrative de la commune de Matete

La commune de Matete possède un total de 14 quartiers et se subdivise en 55 localités dont 29 localités planifiées de création coloniale (242ha, soit 51,5%) et 26 localités spontanées plus récentes (238ha, soit 48,5%). Les quartiers avec habitat planifié sont localisés à l'Ouest et ceux avec habitat spontané se retrouvent à l'Est.

L'espace de la commune de Matete est localisé dans la partie méridionale de la plaine de Kinshasa à 320 m d'altitude moyenne. Il est d'inclinaison Ouest-Est plus remarquable dans sa partie orientale, entre le chemin de fer et la rivière N'djili où l'altitude culmine jusqu'à 280 m. A ce titre, Holenu Mangenda, H. (2020) affirme que les cités planifiées ont pu être édifiées sur des sites en pente naturelle afin de permettre un bon ruissellement de leurs eaux pluviales qui faciliteraient par conséquent l'évacuation des eaux vannes. Matete est un site qui fait partie des 24 communes de la ville de Kinshasa, situé dans la partie Sud-Est de l'agglomération avec une superficie de 4,88 km².

Géographiquement, elle est limitée respectivement (Fig.1): au Nord, par la commune de Limete, dont elle est séparée par le boulevard Lumumba, au Sud, par la commune de Kisenso, à l'Est: par la commune de N'djili, dont elle est séparée par la rivière N'djili et enfin à l'Ouest par la commune de Lemba, dont elle est séparée par la rivière Matete.

LES TRAITS PHYSIQUES

Le trait physique de Matete est dominé par les éléments marquants de la géographie du site. De par son aménagement, la commune de Matete se subdivise en deux espaces dont un espace planifié d'origine coloniale et un autre espace non planifié ou spontané, post colonial. Plus au sud s'étend la zone collinaire de la commune de Kisenso, dont les altitudes varient entre 340 et 440 m et qui domine en hauteur sur tous les points culminants de la commune (Mansila A. et al, 2015).

L'espace planifié, loti et construit entre 1955 et 1958 a bénéficié de la présence de plusieurs types d'équipements urbains. Ces équipements sont inexistant dans l'espace postcolonial. Son niveau d'aménagement ainsi que l'importance de son bâti ont été à la base de cette forte attraction démographique que l'on continue à ressentir jusqu'aujourd'hui dans ladite commune.

Deux rivières traversent la commune de Matete, la rivière Matete dans sa partie Nord-Ouest et la rivière N'djili dans sa partie Est. Partiellement aménagé, le site de Matete dans sa partie Est reçoit toutes sortes de déchets et d'ordures ménagères compliquant ainsi çà et là l'écoulement des eaux et provoquant des inondations désastreuses le long du lit et sur sa vallée qui supportent pourtant des constructions résidentielles.

En effet dans les quartiers planifiés, les densités du bâti et de l'aménagement de l'espace ont considérablement réduit les terres nues (Mansila A. et al, 2015). A contrario, les quartiers d'auto-construction périphériques bâtis sur des plaines et vallées inondables des rivières Matete et N'djili ont des sols nus et très humides. Ce qui explique la présence des éboulements importants, des érosions et des marécages, soit aux pieds des collines de Kisenso, soit le long des vallées des rivières, celle de la N'djili principalement. De ce fait, Mavinga (2025) fait savoir à la communauté scientifique que ces griefs renforcent la mal gouvernance environnementale et soumettent la gestion environnementale urbaine à l'épreuve d'une crise multidimensionnelle, savoir: dualité de droits foncier et essor d'occupations spontanées, étalement de l'espace urbain, fragilisation des espaces biophysiques, des atteintes environnementales multiples, etc.

L'urbanisation planifiée et l'auto-construction ont fait disparaître l'écosystème naturel de l'espace de Matete. La végétation naturelle a été repoussée loin des zones habitées du fait des nombreuses actions dévastatrices entreprises systématiquement par les citoyens à la recherche des bois de chauffage, à la conquête de terres à lotir et à aménager pour l'agriculture. Quelques touffes d'arbres et des bambous plantées persistent encore malgré tout, en amont de la vallée de la N'djili.

L'objectif de cette recherche demeure le droit de vivre dans un cadre de vie décent, élément indispensable du droit à des conditions de vie adéquates, est consacré dans des nombreux instruments internationaux relatifs aux droits de l'homme, notamment la déclaration universelle des droits de l'homme et le pacte relatif aux droits économiques, sociaux et culturels. Cela semble être le cadre idéal auquel chaque habitant aspire.

2 MÉTHODOLOGIE

Pour réaliser l'étude, le recours à la méthode qualitative a été nécessaire, elle a permis aux enquêteurs d'accéder aux données de type qualitatif sur le milieu d'étude, notamment des questions relatives à l'état du logement parcellaire principal, à la densification du bâti, à celle de la population, aux migrations successives et enfin à la qualité de vie dans la commune (modèle d'aménagement intra-parcellaire et dans le quartier)

Dans le cadre de cette étude, la méthode quantitative nous a permis d'élaborer un questionnaire d'enquête et quantifier les informations reçues après dépouillement. Ainsi pour pouvoir mieux interpréter les résultats de l'étude, le recours à ces méthodes a permis de mieux cerner le cadre spatial depuis ses origines, en expliquant les différents comportements qui ont présidé à son évolution actuelle. Outre la méthode, les techniques suivantes ont été associées:

D'abord, une pré-enquête a permis de sillonner la commune de Matete pendant le trimestre juin-septembre 2020 en vue d'y explorer et palper les différentes réalités en rapport avec notre travail par l'observation et la capture des quelques images; ensuite, une enquête par sondage: qui a permis de cibler les différents ménages (376 au total sur le 1880 que comptait notre terrain d'étude) auprès desquels nous devrions faire notre descente et à l'intérieur de chaque composante de cet espace, nous avons souscrit pour une échelle de sondage de 1/5; c'est à dire que nous devrions interroger des ménages par intervalle de 5 et enfin l'interviews auprès des responsables de ménage ou personnes cibles en vue de nous fournir les informations nécessaires à notre étude, ainsi que de nos divers entretiens avec les chefs de différents services administratifs de la commune.

A l'issue de ces enquêtes, la recherche a pu avoir accès aux données de type qualitatif sur le milieu d'étude entre autres des questions relatives à l'état du logement parcellaire principal, à la densification du bâti, à la densification de la population, aux migrations successives et enfin à la qualité de vie dans la commune. En voici quelques-unes:

En ce qui concerne l'état du logement parcellaire principal, près de 60% des logements pavillonnaires et à étage ont subi diverses modifications du fait de la pression démographique dans la cité afin de les rendre plus spacieux, plus aéré, moins encombrant et de les adapter aux tailles actuelles de ménages de plus en plus exigeantes. Les propriétaires des logements affirment que ces logements sont trop exigus, d'origine étrangère, inadaptés aux réalités locales africaines (près de 43%), et qu'il faudrait améliorer la superficie de chacune des pièces (près de 16%) dans le souci de les rendre plus moderne dans le cas où les propriétaires seraient plus fortunés.

Un total de 732 constructions supplémentaires aux logements planifiés a été érigées dans les 376 parcelles enquêtées, une moyenne générale de 3 constructions supplémentaires (appelées communément annexes) par parcelle se dégage et plus précisément 2 à 3 constructions dans près de 60% des parcelles et 4 à 6 constructions dans presque 27% des parcelles enquêtées. Ces constructions supplémentaires aux logements planifiés de l'Office des cités Africaines étaient généralement de petites dimensions spatiales du fait de l'exiguïté des superficies des parcelles du lotissement planifié variant rappelons-le de 94 à 241 m² inclus celle des logements planifiés.

La prolifération des constructions supplémentaires intra-parcellaires dans la cité planifiée de Matete a favorisé le développement de plusieurs fonctions résidentielles au sein de cet habitat dont la destination initiale était essentiellement le logement des citadins. Plusieurs autres fonctions accompagnent désormais cette fonction principale à l'origine: l'extension de la fonction logement (location, cuisine extérieure, etc.): pour près de 40% des constructions; l'aménagement des installations sanitaires (w.c. et douches): pour près de 33% des constructions; l'implantation des services commercialisés (maison de communication, salon de coiffure, dépôts divers, atelier de couture, boutique et magasin d'habillement, vivres frais, etc.): pour près de 20% des constructions; l'installation de la petite industrie et artisanat (garage, ajustage, menuiserie-ébénisterie, et autres notamment: quado, service de vente de pneu d'occasion, maison de vente de pièces de rechange): pour près de 7% des constructions.

Concernant l'enquête par questionnaire, la recherche a opté pour la technique de sondage dite systématique, qui consiste à attribuer à chaque élément de la population totale une probabilité donnée de pouvoir figurer dans l'échantillon. C'est-à dire que tous les éléments de la population totale doivent être représentés dans l'échantillon en proportion égale. Cette technique est plus facile à réaliser parce qu'elle se fait selon l'ordre des éléments déjà préétablis sur les terrains notamment par l'alignement en série de blocs respectifs. Elle consiste à utiliser un intervalle régulier selon une progression arithmétique.

A l'intérieur de chaque composante de l'espace planifié de Matete, une échelle de sondage de 1/5 a été retenue (1 bloc/5). En plus, au sein de chaque bloc retenu pour notre échantillon, le choix du logement à enquêter a également suivi la progression arithmétique des numéros des blocs variant de A à D. (Exemple: N°1/A, 6/B, 11/C, 16/D...).

Un échantillon de 376 blocs sur un total de 1857 a été couvert dans tout l'espace planifié de Matete dont 180 ménages dans les localités avec habitat pavillonnaire puis 196 ménages dans les localités avec habitat à étage. Un total de 29 localités a ainsi été sillonné par les enquêteurs à raison de 15 localités pour l'habitat de type pavillonnaire et de 14 localités pour l'habitat à étage.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 ORGANISATION SPATIALE

La commune de Matete stricto-sensu s'étend sur 480 hectares (Tab.1 et Fig. II). Les quatorze quartiers sont subdivisés en 55 localités dont 29 d'habitat planifiés de création coloniale et 26 plus récentes et d'auto construction. Les quartiers planifiés couvrent 242 hectares, soit 51,5% de la superficie totale et bénéficie d'une accessibilité géographique favorable dans la commune. Cette partie Sud de la plaine de Kinshasa de 320 m d'altitude en moyenne est légèrement inclinée vers l'Est où le chemin de fer qui le traverse se situe à près de 300 m d'altitude.

Tableau 1. Organisation spatiale de la commune de Matete

N°	Quartiers	Sup. (ha)	Localités planifiées (création coloniale)	Localités spontanées (récentes)
01.	GENERAL BASUKI	20	Bateke I, Singa I, Vitamine I	
02.	DONDO	20	Bahumbu I, Lokele I, Mpudi	
03.	LUBEFU	20	Anunga, Mongo	
04.	LUKUNGA	25	Mandina, Mboloko, Viaza	
05.	LOHAKA	20	Kinsimbu I	Kinsimbu II, Bahumbu II, Lokele II
06.	LUNIONZO	45	Kunda I, Ngilima I	Bateke II, Kunda II, Ngilima II
07.	LUMUMBA	40	Banunu I, Kwenge I	Banunu II, Kwenge II
08.	MALEMBA	105		Bobolo, Kiboko, Mabanza Tosalisana, Toyokana
09.	MAZIBA	65		Ekwete, Niongi, Mozindo Monzasay, Epalu, Monzibila
10.	MBOMB'IPOKU	25	Malandi I, Mutoto	Malandi II
11.	SANKURU	25	Bantandu I, Lokoro, Mai- Ndombe	Bantandu II
12.	SUMBUKA	25	Baboma, Kinzazi, Pululu I, Tomba I	Pululu II
13.	TOTAKA	25	Kinda I, Ngufu	Kinda II, Vitamine II, Singa II
14.	VIVI	20	Batende I, Kinsaku	Batende II
	Nombre de localités		29	26
	TOTAL	480 ha	242 ha (51,5%)	238 ha (48,5%)

Source: Bureau de la commune de Matete, rapport annuel 2018

Les quartiers d'auto-construction sont essentiellement périphériques: les uns occupent les versants et les vallées inondables des rivières Matete et N'djili ceinturant la plaine de Matete à l'Est, au Nord et au Nord-Ouest, les autres plus méridionales s'accrochent sur les pentes des versants des collines de Kisenso. Katalayi H. (2014) déclare à ce propos qu'il s'agit d'un simple prolongement des espaces planifiés par des populations démunies, non seulement en quête d'une parcelle d'habitation, mais aussi et surtout pour profiter de la commodité de ces dites cités. Ces espaces d'extension ont été bâtis de façon anarchique, sans respect des normes urbanistiques officielles. Nous pouvons présenter un bref regard de la dynamique de l'habitat dans la ville de Kinshasa avant de dégager un peu plus loin la situation spécifique de Matete.

3.2 TYPE DE CITÉS

3.2.1 LA CITÉ PLANIFIÉE DE MATETE

Le site planifié de Matete, appartenant à la catégorie des communes de la ville basse a été à l'origine une zone annexe dirigée par le chef coutumier de la famille Molo, de ce fait les premiers occupants de cette commune furent les Batéké. Les quartiers de Matete, lotis et construits durant 3 ans de 1955 à 1958 par l'Office des cités africaines (O.C.A.) qui deviendra Office nationale du logement (O.N.L.) plus tard en juin 1965. Sa principale mission était l'acquisition des terrains incultes et leur mise en valeur par la construction des quartiers planifiés. Matete fut un site possédant en son sein des quartiers d'habitat planifié extrêmement équipé: la voirie revêtue, la présence d'un réseau d'adduction d'eaux usées enfouies sous terre, d'un réseau d'évacuation d'eaux ménagers à ciel ouvert; bref, elle fut un site avec omniprésence d'équipements d'infrastructure. Ces constructions à fonds d'avance que le pouvoir colonial attribua aux travailleurs congolais étaient composées des logements jointifs en bande fait des bâtiments en bloc de quatre maisons à un ou deux niveaux (Junior, M. K, 2018).

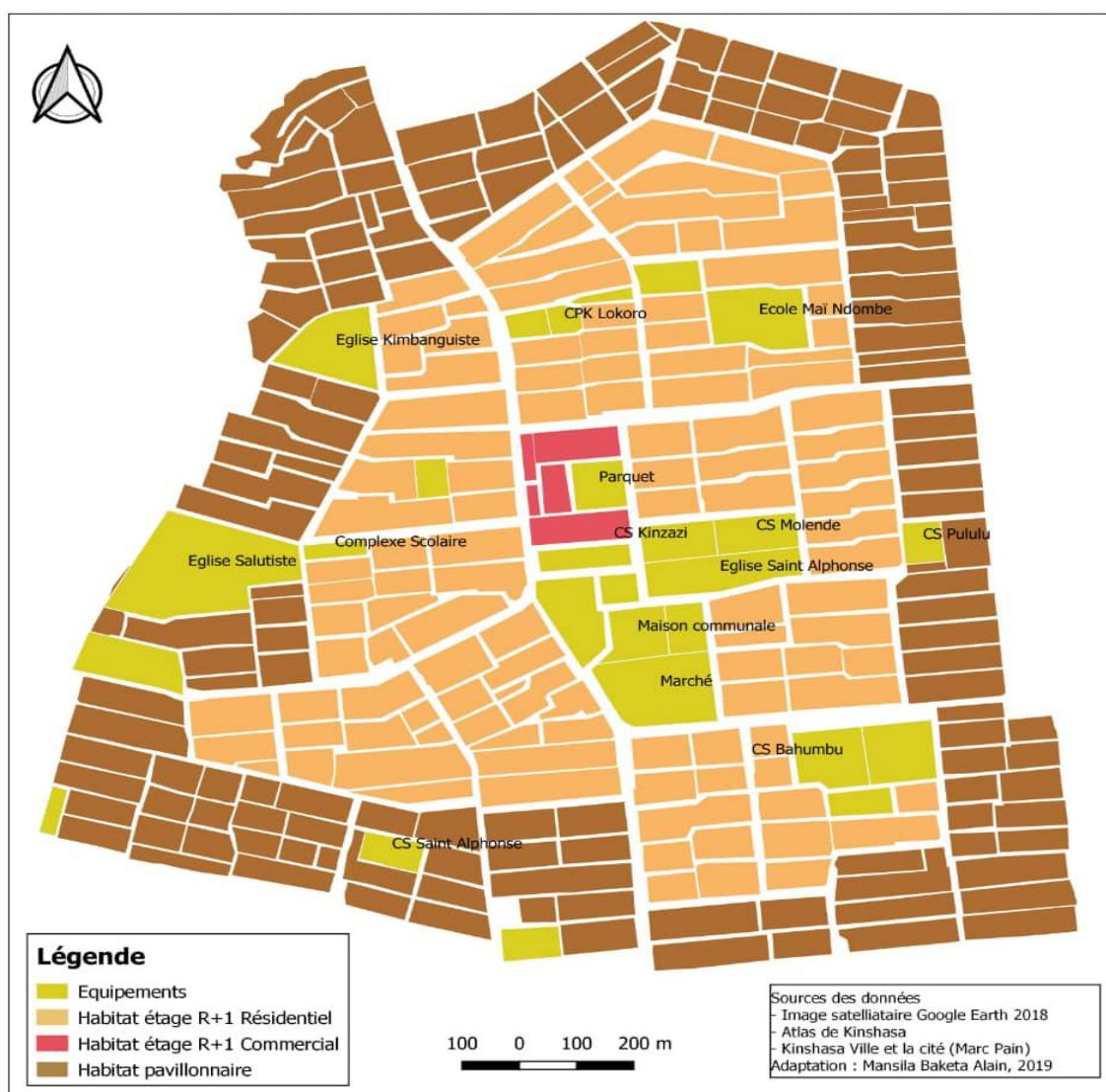


Fig. 2. Organisation spatiale de Matete planifié

Sur le plan spatial, l'Office des Cités Africaines a reparti les blocs de logements de la manière suivante: les blocs-logements pavillonnaires ont été construits à la périphérie de la cité pour pouvoir ceinturer les blocs-logements en étage exclusivement résidentiel. A leur tour, ceux-ci ont aussi ceinturé les blocs-logements de la localité Tomba qui a également prévu la fonction commerciale mêlée à celle du logement du fait de sa position plus centrale.

L'habitat planifié fut un mode de production de logement pour ouvriers et cadres moyens indigènes, il fut introduit dans plusieurs villes du Congo belge. Il concernait les logements des camps des travailleurs des cadres des entreprises privées comme l'Office de Transport au Congo (OTRACO) et ceux des camps militaires.

Matete a été construite pour accueillir les ouvriers travaillant à Limete industriel, sur le bord de la rivière qui porte le même nom (Katalayi H., 2014). Ses habitations sont soit en pavillon comme dans les localités de Kunda et de Bateke, soit à étage comme dans les localités d'Anunga, de Mongo, etc. Cette cité a une notoriété pour ses quincailleries, ses ateliers de montage de carrosseries et ses dépôts de matériaux de construction. Son principal marché est un important centre commercial de la ville qui dessert aussi les communes voisines de Ndjili, Lemba et de Kisenso.

Pour Mansila A. & al. (2015), l'Office des Cités Africaines, organisme planificateur a construit 1857 blocs de 4 à 8 logements chacun dont 914 blocs de logement d'habitat pavillonnaire et 943 blocs des logements avec étage. L'habitat pavillonnaire occupait la périphérie du secteur planifié tandis que l'habitat des petits ensembles collectifs (R+1, soit rez-de-chaussée + étage) occupait la partie centrale de la zone planifiée (Fig.n°2). Dans cet univers d'habitat planifié, les logements et les équipements résidentiels d'infrastructures (écoles, marchés, centre de santé, bâtiments administratifs de la police et judiciaire, espaces verts...) couvraient 226 hectares soit 91% de la superficie et la voirie toute asphaltée et doublée d'un réseau d'assainissement couvrait 21 hectares soit 9% de la superficie totale. Le site de Matete dans sa partie planifiée était un modèle d'aménagement disposant d'un important réseau des caniveaux et des collecteurs

des eaux usées et pluviales, des égouts et d'une voirie très performante comprenant 93 Km des routes dont 91 sont recouvertes de bitume soit 97,8 %.

D'après Katalayi H. (2014), Matete fait partie des cités planifiées nées de cette zone industrielle de Limete. Comparativement aux communes de Bandalungwa, Kalamu et Lemba, Matete est constituée de toutes les variantes de logements en bandes ou isolés construits pour les fonctionnaires. On y retrouve une population d'un niveau social supérieur à la moyenne, c'est-à-dire, les cadres moyens, des clercs et employés qualifiés, à l'exception de Matete plus ouvrière.

Tableau 2. Répartition de localités selon le type de logement dans le site planifié de Matete

Quartiers	Type de logement		
	Pavillonnaire	Étage (R+1)	
	Résidentiel	Résidentiel	Commercial
Général BASUKI	Bateke I, Singa I, Vitamine I		
DONDO	Lokele I	Bahumbu I, Mpudi I	
LUBEFU		Anunga, Mongo	
LUKUNGA	Viaza	Mandina, Mboloko	
LOHAKA	Kinsimbu I		
LUNIONZO	Kunda I, Ngilima I		
LUMUMBA	Banunu I, Kwenge I		
MBOMB'IPOKU	Malandi I	Mutoto	
SANKURU	Bantandu I	Lokoro, Mai-ndombe	
SUMBUKA	Pululu I	Baboma, Kinzazi	Tomba
TOTAKA	Kinda I	Ngufu	
VIVI	Batende I	Kinsaku	

Source: Enquêtes personnelles, juin-septembre 2020

Le tableau 2 et la figure II présentent la répartition de localités selon leur type de logements: 15 localités périphériques avec un habitat de type pavillonnaire et quatorze localités centraux avec un habitat de petits ensembles ou en étages. Toutes ces localités sont uniquement résidentielles, seule celle de Tomba qui a également prévu la fonction commerciale mêlée à celle du logement du fait de sa position centrale dans la commune et surtout de son extension dans la zone d'équipements publics: le marché, la maison communale, les bâtiments judiciaires, de la police, de la poste, du foyer social, le centre médical, le terrain de football ainsi que les écoles et la paroisse catholique, etc.

A l'intérieur de ces ilots furent construits plusieurs blocs de maisons subdivisés en parcelles-logements, construites dans des parcelles de dimensions vastes avoisinant les 120 à 200 m². Ce sont des logements jointifs en bandes à un ou deux niveaux.

Les blocs de deux ou quatre logements sont les plus fréquents, disposés selon un plan géométrique. L'habitat est de bonne qualité avec sols, huisseries en métal, charpente en bois et toitures en plaques de fibrociment, peintures intérieures et extérieures. Le quartier est équipé en eau et en électricité. La voirie est assainie. Trois types de logement peuvent être retenus. Dans des blocs de taille variable, plusieurs logements jointifs sont réunis. Le cas le plus fréquent rassemble quatre logements par bâtiment:

- **Un 1^{er} type pavillonnaire de fonction résidentielle:** les logements comportent chacun un séjour (3,5 x 3 m), une cuisine (3 x 2,2 m), deux chambres (3 x 2,6 m et 3,5 x 1,8 m), un coin WC-douche;
- **Un 2^{ème} type à étage de fonction résidentielle:** plus grand, comprend un étage réservé aux chambres. Le rez-de-chaussée est fait d'un salon (4,6 m x 3,2 m) et d'une cuisine (2,5m x 3,4m). L'étage comprend trois chambres dont la superficie varie de 5,5 m² à 11 m². On comprend qu'on ait parlé au sujet de ces genres de maisons, de « maisons de poupées »;
- **Un 3^{ème} type en étage de fonction commerciale:** le salon du rez-de-chaussée est remplacé par une boutique. Le salon lui-même est installé à l'étage et la dimension des chambres se trouve encore réduite. Ces logements sont réunis dans des blocs de 32 m de long et larges de 7,60 m.

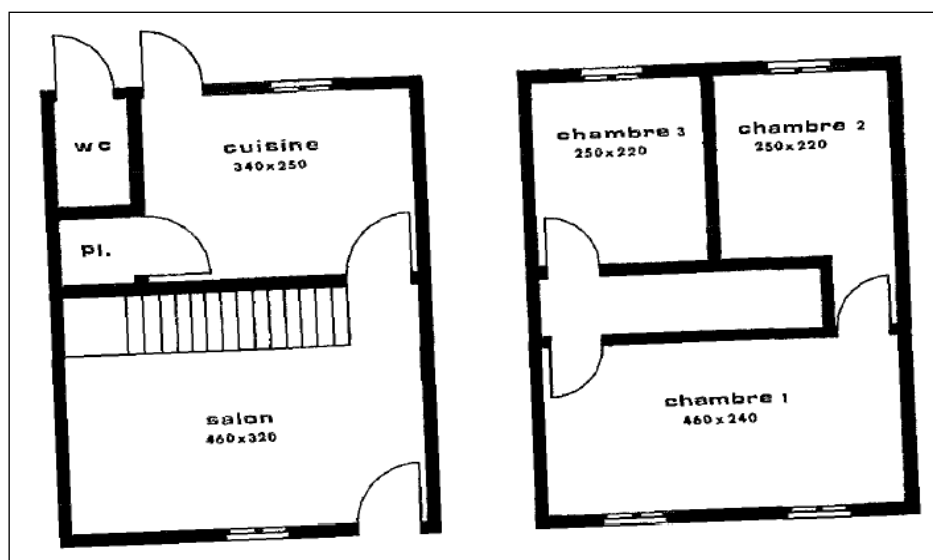


Fig. 3. Plan d'un logement (R+1) de fonction résidentielle dans une cité planifiée

Source: (PAIN M., 1984) Kinshasa, La ville et la cité, p.154

3.2.2 LES QUARTIERS D'HABITAT SPONTANÉ

La production de cet habitat auto construit à Matete date des premières décennies postcoloniales du fait de l'effondrement de l'autorité nationale ou municipale en matière de gestion des villes. Matete a donc subi cette forme d'urbanisation ascendante pauvre, car ses populations de revenus faibles ont pris en charge le lotissement, la construction des logements et l'aménagement des quartiers sur des sites périphériques impropres à l'urbanisation, notamment sur les pentes et des vallées marécageuses de rivières N'djili et Matete ainsi que le versant des collines de Kisenso qui surplombe la commune.

L'auto-construction est donc apparue comme un palliatif. A ce sujet, Trefon T. (2004) cité par Katalayi H. (2014) déclare que ces habitants essaient de donner des réponses à la faillite de l'Etat, en s'organisant soit pour construire un habitat, soit pour survivre malgré la profonde crise que traverse le pays. Les Kinois inventent des nouvelles formes d'organisation sociale afin de palier la situation sinistrée que leur a léguée l'Etat-nation postcolonial. Il s'agit d'un processus dynamique qui permet tout simplement aux autochtones de continuer à vivre et de se loger.

Dans l'espace de Matete, une ceinture d'auto construction s'étend sur 238 hectares représentant 48,5% de la superficie de toute la commune. Mais dans cet ensemble géographique, les localités du quartier spontané de Malemba et Maziba occupent le versant et la vallée de la N'djili au-delà du chemin de fer. Elles absorbent 170 hectares, soit plus de 71% du total.

3.3 LA VOIRIE DES QUARTIERS PLANIFIÉS

Isolé de la ville européenne par des zones neutres, le plan des premiers lotissements des travailleurs apparaissait parfaitement géométrique. Il dessinait un damier rigoureux. Le quartier était loti en carrés d'un hectare, divisés par le milieu par une rue de huit mètres de large, chaque hectare contenait 32 parcelles, les autorités procédaient au remplissage progressif des îlots, sans tenir vraiment compte des liaisons habitat-lieu de travail.

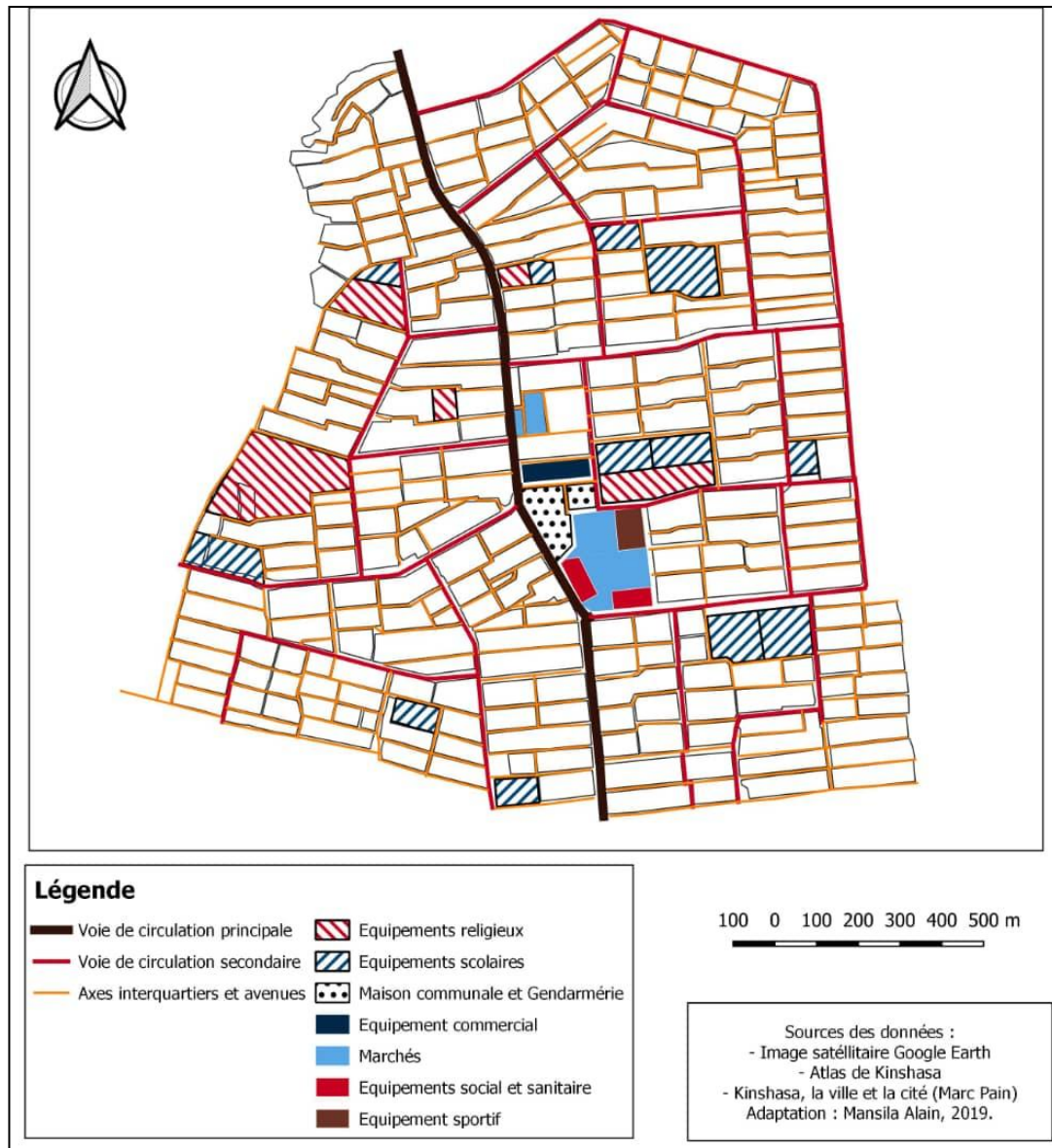


Fig. 4. Voirie et équipements dans l'espace planifié de Matete

Tracée selon le plan en damier à l'origine, puis selon le plan orthogonal avec l'arrivée des nouvelles cités, la voirie de l'espace planifié de Matete qui s'étendait sur un total de 46,460km fut une voirie de qualité qui desservait exclusivement ses différents quartiers. Actuellement, cette voirie se retrouve dans un état de délabrement très avancé vu qu'elle n'arrive plus à faire face aux effets entraînés par le poids démographique sans cesse croissant.

Plus tard, avec les nouvelles cités, le plan orthogonal s'imposera encore. Il apparaîtra cependant plus perfectionné car ces cités étaient découpées par des larges artères principales sur lesquelles débouchait le réseau de desserte locale. Des espaces étaient aussi réservés pour les équipements collectifs (Fig.VI).

Les plans des cités planifiées apportèrent un style nouveau. La trame de base qui était élaborée et agencée à partir des voies d'accès, d'axes de dessertes principaux et d'une voirie tertiaire ont été minutieusement étudiée pour rompre l'ennui des alignements réguliers pratiqués jusqu'alors. Les rues courbes apparaissent et tenant compte des déplacements piétonniers. Des îlots entiers furent réservés à des équipements et à des places centrales qui rassembleraient à leur tour les services généraux de la société.

A Matete, la cité était faite de l'imbrication de petits îlots qui portaient sur chacune de leurs façades, des groupes de logements jointifs individuels, bâtis suivant des normes identiques. Au cœur du site, on arrivait à une place très active, cernée des boutiques et des logements conçus pour leur fonction commerciale. Tout près, un îlot réunissait un complexe scolaire: école et centre d'orientation catholiques Saint-Alphonse.

La voirie des quartiers planifiés du site de Matete s'étendait sur 46,460 km de long. C'était une voirie de qualité, classée parmi les plus denses de l'agglomération kinoise et qui desservait exclusivement ces quartiers précités, construit par l'Office des Cités Africaines, O.C.A en sigle à l'époque coloniale. Néanmoins, cette voirie distingue quatre catégories d'axes de circulation (Tab.3).

Tableau 3. Différentes catégories des axes de circulation dans Matete

Axe	Zone de liaison	Nbre de tronçons	Kilométrage	%
Principal	Matete aux communes voisines	1 seul	1,850 km	4
Secondaires prioritaires	Les Principaux axes de la commune	19	5,130 km	11
Inter quartiers	Les différents quartiers	35	9,560 Km	20
Les rues de dessertes de 29 quartiers	Les différentes avenues	Plusieurs	29,920 Km	65

Source: Nsimba Mayambu, 1996, adapté par Mansila Alain, 2015

3.4 L'HABITAT PLANIFIÉ DE MATETE À L'ORIGINE



Fig. 5. Matete planifié à l'origine (1958)

Source: Image satellitaire Google Earth, 2019

Nouvellement érigée sur un plan orthogonal, Matete planifiée avec ses 1857 blocs de logements était découpée par des larges artères principales débouchant aux réseaux de voiries tertiaires minutieusement étudiées pour rompre l'ennui des alignements réguliers pratiqués jusqu'alors. La cité était faite de l'imbrication de petits îlots qui portaient des groupes de logements jointifs. Au cœur du quartier, on arrivait à une place très active, cernée des boutiques et des logements conçus pour leur fonction commerciale. Le logement principal était parfaitement aéré et il y'avait absence totale de constructions additives intra-parcellaires et la présence d'un vaste espace vert périphérique qui ceinturait la cité dans ses parties Est et Ouest bordant de part et d'autre la rivière Matete (Mbuite P., 2014).

Il s'agissait d'un habitat relativement très aéré, composé de petits logements à l'intérieur des parcelles de petites dimensions non clôturées. Celle-ci était relativement vaste dans les extrémités des blocs des logements de type commercial et pavillonnaire. Partout les indices d'occupation du sol demeuraient faibles variant entre 0,16 à 0,31. Cependant dans toutes les catégories des blocs, les mêmes indices étaient plus faibles dans les parcelles extrêmes que dans celles du milieu. Logement en général modestes destinés à l'origine aux célibataires ou aux familles de moins de deux enfants. Outre ses logements planifiés, cet espace planifié comptait encore plusieurs espaces verts (terrains vides non construits) qui représentaient des anciennes zones d'installations et des dépôts des matériels de construction. Plus tard, ces espaces seront aménagés somptueusement en espaces verts afin d'améliorer les conditions de l'environnement de cette partie planifiée (Nzolasani G., 2016).

3.5 L'HABITAT PLANIFIÉ DE MATETE AUJOURD'HUI FORTEMENT DENSIFIÉ

La cité planifiée de Matete semble complètement défigurée, les îlots d'habitat sont saturés par la présence de nombreuses constructions additives multiformes intra parcellaires. La croissance en tâche d'huile à l'intérieur du périmètre déjà aggloméré a permis le colmatage des espaces vides interstitiels. La croissance périphérique est à la base du dédoublement de certains quartiers avec comme corollaire une occupation anarchique des terrains impropres au développement de l'habitat. Plusieurs facteurs ont fortement contribué la forte dégradation de la dite cité, nous citons: l'insuffisance des actions de réhabilitation, la densification du bâti intra parcellaire, et enfin la croissance des indices d'occupation du sol.

4 CONCLUSION

Le grand problème de Kinshasa en général et des cités planifiées en particulier, dont celles de Matete à l'instar d'autres villes africaines nées à l'époque coloniale, serait leur approche urbanistique qui fut complètement extravertie. En effet les urbanistes et les architectes concurent respectivement des quartiers urbains pour les Européens et Africains sans prendre en compte les desiderata de la population concernée (Luzolo N., 2017) cité par Kininga T. (2019).

Matete, comme les autres cités planifiées de l'époque qui faisait la fierté de la ville de Kinshasa d'antan n'est aujourd'hui que l'ombre d'elle-même. Elle devait abriter à l'origine une population en grande partie recrutée du monde rural, jeune, célibataire ou nouvellement mariée, afin de travailler dans les différents services de la ville notamment les installations industrielles de Limete pour la plupart. La cité fut un nouveau style d'habitat où tout était prévu: l'eau, l'électricité, la voirie et le réseau divers avec le genre de maisons construites de manière optimale et intégratrice dans le tissu urbain. Malheureusement, près d'un demi-siècle après, le constat qui se dégage de cette initiative de l'Etat est perçu comme un échec, car l'organisme planificateur n'a pas pu tenir compte de l'évolution démographique qu'allait subir cette population résidante, confinée dans les minuscules habitations et leurs parcelles étroites, éléments essentiels qui devraient déterminer la qualité de la vie de cet espace planifié.

L'étude a retracé l'origine des cités dites planifiées dans la ville de Kinshasa, les avantages et inconvénients qu'elles pouvaient présenter sur la population, ainsi que leur évolution démographique impressionnante qui s'est étalée sur une période relativement longue, mais de manière inégale. Enfin nous avons pu démontrer après enquêtes de terrain qu'une croissance démographique incontrôlée sur un site aux dimensions inchangées a comme résultat une dégradation rapide et très avancée des infrastructures urbaines.

La cité planifiée de Matete n'échappe pas à cette règle de dégradation, car près d'un demi-siècle après sa construction, elle n'arrive plus à remplir ses fonctions urbaines. Elle est incapable de loger correctement ses habitants et de lui offrir des espaces récréatifs confortables. Aucune politique n'est menée afin de freiner cette tendance démographique galopante. D'où la nécessité de réaménager l'espace planifié de Matete afin que sa population vive dans un cadre de vie décent, élément indispensable du droit à des conditions de vie adéquates comme indiqué dans l'objectif principal de notre étude.

RECOMMANDATIONS

L'étude s'appuie aussi sur les principales orientations prônées par le Sosak dont la finalité est de pouvoir améliorer les conditions de vie des kinois, encourager et faciliter le développement futur de la ville de manière plus harmonieuse et planifiée, améliorer l'image de la ville et enfin réconcilier la ville avec son environnement naturel.

UNE STRUCTURATION PAR AXES ET AIRES PRIORITAIRES

Ainsi, l'étude a pu répartir les grands axes prioritaires de l'aménagement local de Matete en trois aires distinctes notamment: l'aire d'habitat auto-construit périphérique, l'aire d'habitat planifié et enfin le réseau de voirie et d'assainissement.

a) Dans l'aire d'habitat auto-construit périphérique

Cette première aire est constituée par toute la partie périphérique qui ceinture l'espace planifié de Matete. Elle est actuellement occupée par des habitats dits spontanés qui sont des prolongements des rues des habitats planifiés. Elle était une zone no-aedificandi qui devrait impérativement être restructurée et assainie. La restructuration consistera en la correction de la voirie, l'introduction des équipements résidentiels même modeste, la sensibilisation de la population sur les dangers de construire sur des terrains marécageux et d'inondations permanentes à l'Ouest et sur les emprises de la voie ferrée à l'Est et enfin la préservation des activités agricoles dans toute la partie périphérique no-aedificandi de la cité et dans les lits des cours d'eau.

b) Dans l'aire d'habitat planifié

La deuxième aire d'habitat représentée par des logements pavillonnaires et par des petits ensembles collectifs à étage (R+1) tous résidentiels sauf celui de Tomba à la fois résidentielle et commerciale, dans la partie centrale. Il devient pratiquement rare de retrouver un seul ménage dans une parcelle dans la cité, car plus ou moins 7 cas enquêtés /10 affirment posséder dans leur parcelle plus d'un seul ménage.

Cette aire doit globalement bénéficier des actions de réhabilitation à travers un plan local d'aménagement. Parmi celles-ci on peut citer la réfection des logements principaux (toiture, plafond, carreaux, peinture...), la réhabilitation des constructions anarchiques récentes intra-parcellaires, la réfection des installations sanitaires défectueuses, la réhabilitation des espaces à caractère publique issu du spontanéisme ayant tendance à enlaidir l'esthétique de l'ancien quartier.

c) Des réseaux de voirie et d'assainissement

Aménagé et équipé à l'époque coloniale, le site planifié de Matete fut un véritable modèle d'aménagement disposant à la fois d'un important réseau de voirie revêtue et d'assainissement à ciel ouvert. Mais après plus d'un demi-siècle d'existence, le constat selon la population lors de nos enquêtes est déplorable. Ainsi pour palier à cette déféctuosité, le plan local d'aménagement du SOSAK ainsi que les résultats issus de nos enquêtes nous permettent de proposer pour cette aire: l'identification des axes lourds sur lesquels seront implantés deux modes de transport lourds à savoir: le train urbain et le transport en site renforcé, la création des voies rapides et sécurisées afin d'améliorer les temps de déplacement etc.

LA PROPOSITION D'AMÉNAGEMENT

A défaut de présenter un plan local d'aménagement proprement dit pour l'espace planifié de Matete, nous formulons une proposition d'aménagement. Il s'agit en somme d'une structuration qui touche sur trois volets: la voirie, l'espace périphérique et l'habitat. Pour permettre une meilleure commodité urbaine, la partie périphérique de Matete doit impérativement être restructurée et assainie. Les espaces résidentiels et d'équipements qui constituent la 2^{ème} aire doivent subir une réhabilitation profonde suite aux effets du vieillissement des bâtiments et des infrastructures. La voirie devrait subir un réaménagement complet afin de s'adapter à la nouvelle taille de la population résidente.

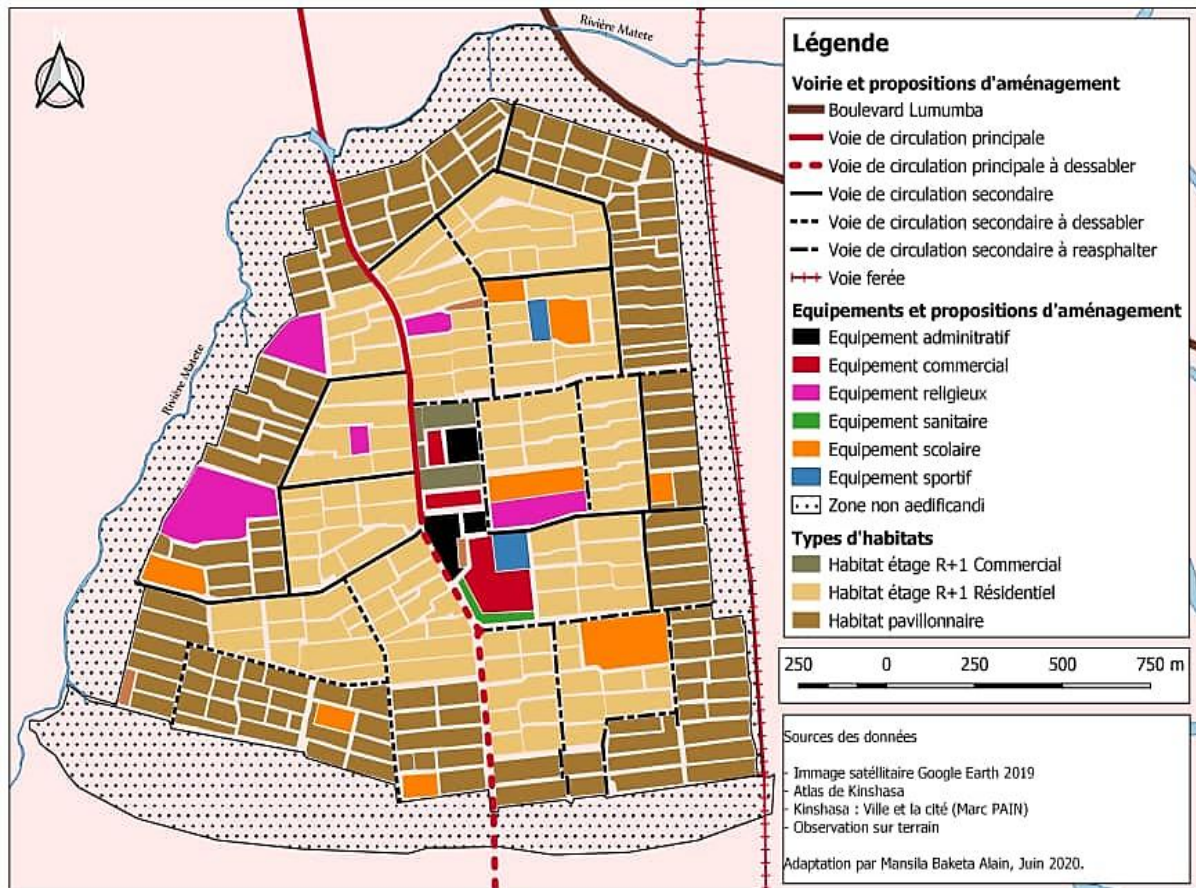


Fig. 6. Proposition d'aménagement dans l'espace planifié de Matete

REFERENCES

- [1] Azizou, e. H. I., Gbemavo, d. S. J. C., Hounkpevi, a., Mensah, g. A., & Sinsin, b. (2021). Pressions anthropiques et dynamique des habitats naturels de la Réserve Transfrontalière de Biosphère du W-Bénin. *Annales de l'Université de Parakou-Série Sciences Naturelles et Agronomie*, 11 (2), 1-14.
- [2] Des projets, a. D. E., d'habitat planifié, s. L. E., la, c. & du Sénégal, b. D. L. H. (2015). Cesag-bibliothèque.
- [3] Gloire, K. N. (2022). Analyse de la dynamique des espaces industriels de Kinshasa. Prospective des espaces industriels de Masina et Kinkole à Kinshasa-Est (Doctoral dissertation, thèse de doctorat en Art de bâtir et urbanisme, Presse Universitaire de Louvain, Louvain-la-Neuve).
- [4] Holenu Mangenda, H. (2020). Kinshasa: urbanisation et enjeux écologiques durables.
- [5] Junior, M.K. (2017-2020). La communication environnementale de la régie d'assainissement de kinshasa, Raskin analyse ethnographique de la campagne de lutte contre l'insalubrité à Matete.
- [6] Kadilekoloko, p. M., Simbu, a. V., Mbela, g. K., & Mangenda, h. H. (2023). Analyse comportementale de la population de commune de Matete à kinshasa en rapport avec la gestion des déchets ménagers. *Revue internationale du chercheur*, 4 (2).
- [7] KATALAYI MUTOMBO, H. (2014). Urbanisation et fabrique urbaine à Kinshasa, défis et opportunités d'aménagement, Thèse de doctorat, Université Michel de Montaigne, Bordeaux III Montaigne, 533p.
- [8] Kazaku, K. (2024). Autopromotion de l'habitat, cause principale de la destruction de l'environnement dans la ville de Kinshasa, RDC (1974-2024).
- [9] MANSILA, A., MANSILA FU-KIAU S., et MATEZO BAKUNDA H., (2015). « Pression démographique et dégradation de l'habitat et de l'environnement: Cas de l'ancien quartier planifié de Sumbuka dans la Commune de Matete », *Revue du CRIDUPN*, Pupn, N° 064a, Juillet-Septembre 2015, pp 47-58.
- [10] MAVINGA, M., S. (2025), Les inondations pluviales à Boma et Kinshasa, aléas naturels dus aux vulnérabilités environnementales, disponible sur le site: <http://ijias.issr-journals.org>.
- [11] MBUIE, P. (2014). La densification des tissus urbanisés du quartier Lunionzo à Matete, TFC en Urbanisme, ISAU, Kinshasa.
- [12] Michel, B. (2022). Les quartiers culturels et créatifs: Ambivalences de l'art et de la culture dans la ville post-industrielle. Iggybook.
- [13] MPALENG ANKONG, B. (2018). L'environnement pathologique et les problèmes d'urbanismes dans la ville de Kinshasa, cas du quartier Lunionzo et Camp Kabila à l'espace Lemba-Matete, Mémoire en urbanisme, ISAU, Kinshasa 89 p.

- [14] MPEMBELE NSIMBA, G. (2018). La croissance du marché Matete et ses conséquences sur l'Environnement, Mémoire en Géographie et Gestion de l'Environnement, ISP/Gombe, Kinshasa, 117 p.
- [15] Muhoza, B. K., De Herdt, T., & Marivoet, W. (2022). Données de population sur la République démocratique du Congo: peut-on réduire les marges d'imprécision? *Cahiers Africains. Conjonctures de l'Afrique Centrale. Paris: Le Harmattan*, 65-97.
- [16] Ndalibandu, a. N. S. (2016). La tradition culturelle africaine à l'ère de la postmodernité: déclin ou déclic? *Dieu et l'Afrique: Une approche prophétique, émancipatrice et pluridisciplinaire*, 169.
- [17] NSHIMBA LUBILANJI, L. (2014). Introduction aux méthodes de recherche en Géographie humaine, Ed. Gravitass, 182 p.
- [18] NSIMBA MAYAMBU Astrid. (1996). La voirie, l'accessibilité et les points structurants dans la commune de Matete, TFC, Isp/Gombe, 1996.
- [19] SOLOTSHI MUYUNGA, P. (2017). Méthodes des recherches en Sciences géographiques, Kinshasa, 179 p.

Comportements des parents face aux adolescents ivrognes au SUD-KIVU: Cas de la ville de Bukavu (RDC)

[Parents' behaviors toward drunken adolescents in South Kivu: Case of the city of Bukavu (DRC)]

John KITUMAINI BIJACHI

Institut Supérieur Pédagogique d'Idjwi, RD Congo

Copyright © 2026 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 study examines parental behaviors toward adolescent drunkenness in South Kivu Province, with a focus on the city of Bukavu (Democratic Republic of the Congo). Adolescence is a transitional stage characterized by significant biological, psychological, and social changes, which often expose young people to risky behaviors such as excessive alcohol consumption. This phenomenon affects not only adolescents but also family stability and social cohesion.

The main objective of this research is to identify parental attitudes and responses to adolescent drunkenness, analyze the consequences of these behaviors on adolescents' development, and propose educational strategies adapted to the local socio-cultural context. The study employs a descriptive and analytical methodology, using documentary analysis, interviews, questionnaires, and field observations. An occasional sample of 1,200 respondents from different social categories was selected.

The findings reveal that although most parents possess general knowledge about adolescence, their reactions to drunkenness range from tolerance and neglect to imitation of parental drinking behaviors and the use of coercive measures. These parental attitudes contribute to negative outcomes such as persistent alcohol abuse, school dropout, juvenile delinquency, early sexual activity, and strained parent-child relationships. The study concludes by emphasizing the need to strengthen parental education, promote family dialogue, and implement community-based awareness programs to prevent and reduce adolescent drunkenness.

KEYWORDS: adolescence, drunkenness, alcohol consumption, parental behaviors, family education, juvenile deviance, South Kivu, Bukavu, Democratic Republic of the Congo.

RESUME: Cette étude analyse les comportements des parents face à l'ivrognerie des adolescents dans la province du Sud-Kivu, plus précisément dans la ville de Bukavu (République Démocratique du Congo). L'adolescence constitue une phase de transition marquée par d'importantes transformations biologiques, psychologiques et sociales, exposant les jeunes à des comportements à risque tels que la consommation excessive d'alcool. Ce phénomène affecte non seulement les adolescents, mais également l'équilibre familial et social. L'objectif principal de cette recherche est d'identifier les attitudes et réactions des parents face aux adolescents ivrognes, d'analyser les conséquences de ces comportements parentaux sur le développement des adolescents, et de proposer des stratégies éducatives adaptées au contexte local. L'étude adopte une méthodologie descriptive et analytique, combinant l'analyse documentaire, les entretiens, les interviews et l'enquête par questionnaire. Un échantillon occasionnel de 1200 enquêtés a été constitué.

Les résultats montrent que, bien que la majorité des parents aient une connaissance générale de l'adolescence, leurs réactions face à l'ivrognerie varient entre la tolérance, la négligence, l'imitation des comportements parentaux et l'application de mesures coercitives. Ces attitudes contribuent à des effets négatifs tels que la persistance de l'ivrognerie, l'échec scolaire, la délinquance juvénile et la détérioration des relations parents-enfants. L'étude recommande un renforcement de l'éducation parentale, du dialogue familial et des actions de sensibilisation communautaire.

MOTS-CLEFS: adolescence, ivrognerie, consommation d'alcool, comportements parentaux, éducation familiale, déviance juvénile, Sud-Kivu, Bukavu, République Démocratique du Congo.

1 INTRODUCTION GENERALE

1.1 PROBLEMATIQUE

L'adolescence est une période du développement de l'être humain qui émaillée par de nombreux problèmes. Ceux-ci constituent un bouleversement qui se fait remarquer à tous les niveaux: Physique, intellectuel, relationnel, moral;...C'est pourquoi tous les éducateurs en général et les parents en particulier doivent être informés et sensibilisés sur les différentes manifestations qui caractérisent cette période. C'est dans cet ordre d'idée que Franck BAZIRA N. affirme: « qu'il est fréquent que les jeunes adolescents transgressent des lois ou des règles établies. Que l'on pense seulement à la consommation d'alcool avant l'âge permis, aux figes ou au vagabondage. D'ailleurs, 90% des jeunes admettent avoir commis une infraction, mais seulement 8,7 % des adolescents posent des gestes graves de délinquance comme le vol qualifié ou le vol sur la personne », (2009, p.81). En effet, l'adolescence est une période qualifiée de « bouleversement », de « tumulte », « intense », mouvementé » ou « difficile ». Elle est caractérisée par le réveil de l'intensification des pulsions, des émotions et des fantasmes sexuels et agressifs. Face à ces changements qui s'observent auprès de lui, l'adolescent se sent incompris et étouffé par l'adulte qui le considère comme déviant, insolent ou désobéissant. Est dans ce sens que les études affirment le fait que certains adolescents traversent affectivement une période de tumulte émotionnelle, mais qu'il ne s'agit pas d'un phénomène universel. Chez certains, le passage de l'adolescence est marqué par des sentiments à l'égard des parents, d'évitement de responsabilité et d'angoisse sociale. Chez d'autres, toutefois, la réaction aux transformations physique et au changement de rôle social associé à l'adolescence est beaucoup spéculaire comme c'est le cas des lois de toutes les périodes de développementales individus diffèrent les uns des autres par leurs stratégies d'adaptation; J.J.KAPENGA KASONGO (2009, p.75).

Etant donné les transformations observables chez les adolescents qui leurs poussent à s'affranchir de leurs familles, ceux-ci sont souvent à conflit avec leurs parents. En d'autres termes, en dépit d'une relation affectueuse, la plupart des adolescents se disputent souvent avec leurs parents. A l'inverse, certains parents ont des réactions arbitraires ou coercitives à l'égard des besoins changeants de leurs enfants, alimentant ainsi des conflits. Ainsi, le degré de conflit entre les adolescents et les parents peut varier. Les adolescents qui ont accepté un grand nombre de valeurs traditionnelles de la famille, l'obéissance et la coopération, par exemple manifestent une plus grande acceptation de l'autorité parentale que ceux qui ont rejeté ces valeurs, J.J KAPENGA KASONGO (2009, p.77). Notons que l'adolescence comme période de « trouble », de « turbulence » et de « stress » est caractérisée par un grand nombre important de comportement notamment: **le vol, la fige le viol, la sexualité précoce, l'école bouissonnière, la prise de drogue, l'ivrognerie...**souvent appris dans le groupe des pairs (gang). C'est pourquoi les parents doivent être informés et vigilants face à tous ces comportement en général et à l'ivrognerie en particulier. C'est sur cet aspect que se focalise notre étude intitulée: « comportement des parents face aux adolescents ivrognes dans la Province du Sud-Kivu, ville de Bukavu »

En référence à cette situation ci-évoquée, en vue d'atteindre l'objectif assigné à notre recherche, nous nous sommes posé quelques questions suivantes:

- Les parents de la Province du Sud-Kivu en général et ceux de la ville de Bukavu en particulier sont-ils informés sur les transformations qui se réalisent à l'adolescence !
- Ces parents appliquent-ils des réactions proportionnées ou des mesures coercitives à l'égard des adolescents ivrognes !
- Y-a-il des conséquences négatives des comportements des parents face à ces multiples préoccupations, nous allons tenter d'y répondre progressivement à travers les hypothèses de notre travail abordé ci-dessous.

1.2 HYPOTHESES

Selon C. BERNARD cité par BAMWISHO MIHIA (1975, p.29 « l'hypothèse est l'interprétation anticipée des phénomènes de la nature ».

Selon G DE LANDSHEERE (1976, p.22), « l'hypothèse est une affirmation provisoire concernant la relation entre deux ou plusieurs variables, le but de la recherche est de confirmer, infirmer ou de nuancer cette affirmation »

Quant à nous, nous savons qu'une hypothèse est l'ensemble des réponses que l'on donne aux questions posées et qui mérite d'être vérifiée

Au vu de diverses questions posées ci-dessus nous avons formulé des hypothèses de la manière suivante:

- Les parents de la province du Sud-Kivu en général et ceux de la ville de Bukavu en particulier ne seraient pas informés sur les différentes transformations (comportements) chez des adolescents,
- Les parents de la ville de Bukavu appliqueraient des réactions non proportionnés et des mesures coercitives à l'endroit des adolescents ivrognes,
- Les conséquences négatives des comportements des parents à l'égard des adolescents ivrognes seraient la persistance de ceux –ci dans le vol, la sexualité précoce, la prise de drogue, le viol, la fige, le banditisme, l'abandon scolaire, le mariage précoce, etc.

1.3 OBJECTIF

La présidente recherche s'assigne comme objectif de découvrir les comportements des parents face aux adolescents ivrognes dans la province du Sud-Kivu, ville de Bukavu. En plus nous nous proposons de déceler les conséquences négatives de ces comportements sur les adolescents ivrognes ainsi que de proposer des pistes de solution en vue de remédier cette situation.

2 ELEMENTS THEORIQUES

2.1 COMPORTEMENT

Le comportement est compris comme l'objet d'étude de la psychologie objective il a été défini par plusieurs auteurs suivant la genèse de cette branche le comportement est une manière d'agir ou la conduite de l'homme dans son milieu.

Selon J. PIAGET cité par FRANCOIS (1988, p.11), le comportement est un ensemble des conduites et leur prise de conscience

Généralement le comportement est un ensemble des réactions objectivement observables qu'un organisme pourvu d'un système nerveux exécute en riposte aux stimulus, eux aussi objectivement provenant dans le milieu où il vit le comportement est aussi défini comme une réaction totale d'un être vivant, par laquelle il répond à une situation vécue, en fonction des stimulations du milieu et les tensions internes de l'organisme et dont les moments successifs sont orientés dans une direction ayant une signification pour les vivants

Disons alors que le comportement est l'état des stimuli et de l'organisme, il est synonyme de réaction ou de conduite.

2.2 PARENT

Le parent est une personne attachée à une autre par le sang, par le mariage, par l'alliance se dit aussi par des personnes qui ont des affinités ou rapports des traits communs avec quelqu'un d'autres.

Selon GULFORD (1985, p.78), le parent est une personne ferme garant pour l'enfant d'un avenir autonome, il est une personne ferme (stable) sécurisante, organisée, ponctuelle, disponible et totalement indépendante.

Par contre dit-on que la famille est considérée, comme une institution sociale, une unité d'organisation au sein de la société globale Elle est l'origine de tout processus de transformation et de production sociale Elle est souvent de tout processus de transformation et de production sociale Elle est souvent représentée par les parents, les enfants et d'autres personnes liées à ces derniers dont ces premiers sont considérées comme responsables (THERY 1975, p.8) l'adolescence est un terme qui paraît le plus général et désigne d'habitude, l'ensemble de transformation corporelles, et psychologique qui se produisent entre l'enfance et l'âge adulte.

L'adolescence est la période de l'âge évolutif qui coïncide avec la maturation biologique et psychologique de la personne.

Elle débute à la puberté et se prolonge plus ou moins pour s'achever dans la jeunesse qui accomplit à son tour la maturation culturelle et sociale.

L'adolescence est une période transitoire entre la grande enfance et l'âge adulte Elle se caractérise par les transformations importantes d'ordre à la fois physique, psychologique, intellectuelle et social, Franck BAZIRA N (2009, p.8).

Selon J.J. KAPENGA (2009, p-p.48-49), l'adolescent étant une tranche de vie qui se présente comme une réalité totale et complexe qui se rattache à l'enfance, le précédent est l'âge adulte qui le suit.

D'après ARISTOTE cité par J MELGASA (2000, p18), l'adolescence est une période de la vie de l'homme dans laquelle l'être humain est rempli des passions et des désirs sexuels, elle est considérée encore comme une période d'attente à la production.

Selon H STANLEY, cité par MELGASA (2000, p 17), l'adolescence est une période qui marque un point entre des années d'enfance et la phase des sages adultes Elle est une période de turbulence, de passion, de souffrance et de rébellion contre le monde adulte.

Pour ERIKE cité par P MANNON (1984, p19), l'adolescence est une période dans laquelle les jeunes tentent de répondre aux questions suivantes:

- Qui suis-je !
- Est-ce que j'accepte ou non les idées de la génération antérieure ?
- Sur quoi vais-je me consacrer ?

Quant à nous, est adolescent tout individu qui a un âge situé entre la 3^{ème} enfance et l'âge adulte (jeunesse). Il sied de signaler que le terme adolescent est rattaché à d'autres concepts tels que: l'enfant, la puberté, le jeune, l'adulte,...

2.3 ENFANT

Selon R.LAFON (1969, p.364), un enfant est un être humain qui est dans la période de l'enfance. Pour l'UNICEF (2004, p.41), l'enfant est défini comme toute personne âgée de moins de 18 ans.

Selon H.PIERON, l'enfance est une période de développement de l'espèce humaine. Elle est une période de la vie depuis la naissance jusqu'à la douzième année environ, cité par Frank BAZIRA N (2009, P.8).

Selon Abdul BAHA cité par l'Institut RUHI (2006, p.7), l'enfance est une période dans laquelle l'individu traverse différents stades de croissance physique jusqu'à ce que son corps ait atteint l'âge de la maturité. Parvenir au stade de préadolescence ou pubertaire, il acquiert la capacité de manifester les perfections spirituelles et intellectuelles, la lumière de la compréhension de l'intelligence et du savoir lui sont désormais perceptibles et le pouvoir de son âme se manifeste.

Quant à nous, l'enfant est une période de croissance qui va de la connaissance jusqu'au début de l'adolescence. Est enfant, tout être humain compris dans cet intervalle. Ainsi, l'enfance se subdivise en 3 périodes:

- La 1ere enfance (de 0 à +3 ans) ou petite enfance.
- La 2eme Enfance (de 0 à +6,7 ans) ou moyenne enfance.
- La 3eme enfance (de 7 a+ 12ans) ou grande enfance.

2.4 LA PUBERTÉ

La puberté signifie le pubis comme endroit ou devient le commencement de la puberté. Des pilosités pubiennes annoncent les modifications qui accompagnent cette étape du développement humain qui est aux environs de 12 à 15 ans.

Selon P AUGÉ (1966, p.350), les pubertés la période de la vie d'un être humain, entre l'enfance et l'adolescence, marquée par le début de l'activité des glandes reproductrices et la manifestation des caractères sexuelles secondaires.

Elle est l'ensemble de transformation morphologique et fonctionnelle traduisant le passage progressif de la troisième enfance.

Pendant cette période, les garçon et les filles se sentent souvent maladroits et des rythmes différents Les premières parties du corps qui grandissent bien avant sont les mains et les pieds, les jambes, les hanches et de la poitrine Il arrive que certains pubertés qui grandissent très rapidement soit à l'aise dans leur nouvelles peau et perdent souvent leur équilibre, elle est une période dans laquelle les filles et les garçons subissent un changement psychologique, physique très remarquable.

2.5 JEUNE

Selon M DEBESSE (1975, p.8), la jeunesse est l'aspect social de l'adolescence, elle se définit par opposition à la génération parvenue à la pleine maturité Elle est une période de la vie comprise entre l'enfant et l'âge mur.

Pour J. J KAPENGA KASONGO, la jeunesse est une période récente de développement pendant laquelle l'individu est également sur adulte sans toutefois adopter les fonctionnements et les rôles des adultes (2009, p.26).

Quant à nous, le jeune est un individu se trouvant dans la période de développement comprise entre 18 à plus au moins 22 ans.

2.6 ADULTE

F BRESSON et G DURUP (1951, p9), définissent un adulte comme étant un état de l'organisme humain quand le développement se trouve achevé avant que soit manifeste l'évolution sénile du vieillard.

Pour nous, est adulte celui qui a un âge de 20 ans jusqu'à la vieillesse (plus de 60 ans).

L'âge adulte au sens commun renvoie pour l'essentiel à 3 caractéristiques convergentes;

- La maturité acquise et vécue,
- La normalité qui serve de continuelle référence,
- Le modèle auquel s'identifie jeunes et vieux,

Les jeunes l'envisage sur un mode anticipateur (quand je serai...) et les vieux un mode nostalgique quand j'étais...), J.J.KAPENGA KASONGO (2009, p.13).

2.7 IVRONGNE

L'ivrogne est un terme qui explique le plus souvent les habitudes de l'ivresse ou de s'enivrer.

Alors, disons que l'ivresse est un état d'une personne ivre; cette dernière est celle qui a un cerveau troublé par l'action de l'alcool, SUPER MAJOR (1995, p.593).

Quant à nous, l'adolescent ivrogne est tout individu souvent ivre et qui a l'âge situé entre la 3^e enfance et l'âge adulte.

2.8 GÉNÉRALITÉS SUR L'ADOLESCENCE

2.8.1 DÉVELOPPEMENT PHYSIQUE ET SEXUEL

Certaines personnes confondent les termes adolescence et puberté. L'adolescence est une période caractérisée par des changements physiques, psychologiques et sociaux; cette période débute à la puberté et se termine à l'âge adulte. La puberté par contre est la période plus brève d'adolescence pendant laquelle l'individu atteint la maturité sexuelle. La puberté dure de deux à quatre ans et elle caractérise par des changements physiques, ceux –ci entraînent bien sûr; des changements psychologiques.

Les signes extérieurs de la puberté, c'est-à-dire le développement des organes sexuels et la maturation physique, ne sont toutefois pas les premiers changements physiques qui surviennent à l'adolescence.

Bien avant que ces signes extérieurs ne deviennent visibles, le corps change surtout dans sa composition hormonale, afin de préparer la voie à la maturité sexuelle et à la capacité de reproduction.

Ilya deux périodes chez l'être humain, ou on constate une croissance très rapide: la première année de vie et au cours de l'adolescence. L'accélération de la croissance à l'adolescence appelée aussi poussée de croissance, dure habituellement de deux à trois ans.

Le changement de taille, de poids et de proportion corporelle, ainsi que le développement des caractères sexuels secondaires notamment les poils, les seins et la nuance, représentent les transformations physiques les plus évidentes. Ce changement s'observe différemment chez les filles et chez les garçons.

- A. Chez les filles: la poussée de croissance débute habituellement entre 9 et 11 ans et atteint son apogée à 12 ans et demi en moyenne. La croissance ralentie alors et cesse complètement entre 15 et 18 ans.
- B. Chez les garçons: la poussée de croissance débute habituellement 2 ans plus tard que chez les filles, soit entre 11 et 14 ans, et atteint son apogée à 15 ans. elle dure plus longtemps car elle se produit à in rythme plus lent jusqu'à l'âge de 20 ans.
- C. La puberté

CARACTÈRES SEXUELS PRIMAIRES

Les caractères sexuels primaires concernant les organes nécessaires à la reproduction. Au cours de la puberté, l'utérus les trompes de Fallope et vagin se développent rapidement chez les filles. C'est le cas même s'ils commencent à fonctionner pendant la puberté. Les testicules apparaissent à la naissance, mais ils ne font que 10% environ de leur taille adulte. Ils grossissent rapidement au cours de deux premières années de la puberté, mais leur croissance ralentit par la suite et ils atteignent leur maturité vers l'âge de 2 ans. Peu de temps après le début du développement des testicules, le pénis commence à s'allonger lors que le canal déférent et la prostate se développent.

L'âge de la puberté n'est pas identique chez les filles et les garçons. L'arrivée de la puberté chez les garçons donne lieu à une plus grande variation que chez les filles. Les filles atteignent généralement maturité sexuelle et physique deux ans environ avant les garçons.

CARACTÈRES SEXUELS SECONDAIRES

Les caractères sexuels secondaires ne sont pas directement liés à la reproduction. Les premiers poils au visage (barbe) et aux aisselles apparaissent; comme dans le cas des poils pubiens. Peu de garçons ont besoin de se raser avant l'âge de 16 ou 17 ans. Les poils apparaissent également sur les bras, les jambes et les épaules et éventuellement sur la poitrine. Le poil continue de pousser pendant un certain temps, et souvent visible reste sans doute la nuance. Dès l'âge de 13 ans, la voix du garçon commence à changer de timbre et devient plus rauque. Le changement est provoqué par l'élargissement du larynx et l'allongement des vocales. La nuance se termine généralement à 17 ou 18 ans.chez les filles, la séquence de développement des caractères sexuels secondaires est également identique à celle des garçons, sauf en ce qui concerne le développement des seins. Le bourgeonnement des seins constitue la première indication de l'approche de la maturité sexuelle chez les filles.

MATURITÉ PRÉCOCE ET TARDIVE

Les jeunes sont confrontés à de nombreuses adaptations au cours de l'adolescence. L'intégration des transformations physiques à l'édification de l'image de soi figure parmi les plus importantes. A cet âge, les jeunes se préoccupent beaucoup de leur apparence physique et bon nombre d'entre eux en sont très insatisfaits. L'identité est étroitement liée à l'image physique. L'image de soi des adolescents est très affectée par cette poussée de croissance qui transforme leur corps du jour au lendemain.

De plus, l'âge et le rythme de développement ont également des répercussions sur l'image de soi.

Les études ont démontré que les garçons dont la maturité est précoce tirent un avantage certain dans plusieurs domaines comparativement à ceux dont la maturité est tardive. Ils ont tendance à exceller dans les sports; à jouir d'une plus grande popularité et à devenir des meneurs dans les associations étudiantes et dans les activités parascolaires.

La maturité précoce semble également rendre les garçons surs d'eux détendus et faciles à vivre. On constate aussi qu'ils s'intéressent davantage aux filles. A l'âge adulte les garçons dont la maturité est ces garçons réussissent mieux sur le plan professionnel et semble adopter une idéologie et un mode de vie plus conventionnels.

Les garçons dont la maturité est tardive, sont plus petits et moins développés que la plupart des autres garçons de leur âge. S ne manifestent pas beaucoup d'intérêt pour les filles et quand c'est le cas leur manque de la maturité, leur est plutôt défavorable. Ce sont des garçons plus susceptibles d'être impulsifs, agités et plus surs d'eux. A l'âge adulte cependant, la plupart de ces inconvénients disparaissent ou sont neutralisée par d'autres traits.

ATTITUDES ET LES COMPORTEMENTS SEXUELS

Outre les transformations physiques, la sexualité suscite beaucoup d'intérêt à l'adolescence. au début de cette période, l'exploration sexuelle est hésitante et généralement égocentrique chez beaucoup d'adolescents. C'est le cas des jeunes de 12 et 13 ans qui se préoccupent habituellement d'avantage de satisfaire leurs besoins personnels que ceux d'autrui.

L'autostimulation des organes géniteur c'est-à-dire la masturbation, est une activité courante à l'adolescence. En général, les garçons se masturbent davantage que les filles et fantasmes davantage en se masturbant. Plus tard au cours de l'adolescence, par contre les relations sexuelles se fondent plus souvent sur la mutualité c'est-à-dire le souci de satisfaire ses besoins et ceux de l'autre.

2.8.2 DÉVELOPPEMENT COGNITIF

L'adolescence est aussi une période de changement sur le plan intellectuel. Dès qu'ils atteignent la puberté, les adolescents ne ressemblent plus à des enfants et ne se considèrent plus comme tels. Leurs visions de l'univers est plus vaste, ils ont acquis de nouvelles compétences grâce à la maison et à l'entourage immédiat. Mais la différence entre l'enfant et l'adolescent ne se résume pas à un changement quantitatif. C'est aussi en changement qualitatif. Les adolescents sont en effet capables de manipuler la pensée abstraite et hypothétique; ils pensent en fonction du futur et non pas simplement de présent.

2.8.2.1 THÉORIE DE PIAGET

Les stades des opérations formelles

Selon la théorie de Piaget quatrième et dernier stade du développement cognitif. A ce stade, l'individu peut réfléchir à un problème dans l'abstrait, élaborer des hypothèses et réfléchir à des propositions qui contredisent les faits.

2.8.2.2 AU –DELÀ DE LA THÉORIE DE PIAGET

Plusieurs chercheurs considèrent les travaux de Piaget et In Helder comme un premier pas seulement dans l'étude du stade des opérations formelles. Piaget utilisait des problèmes scientifiques, comme le pendule, pour évaluer la pensée et le raisonnement abstrait, il savait que la résolution de problèmes différents faisait appel à des stades différents de pensées. Cependant les cultures qui ne reposent pas principalement sur la science peuvent quand même offrir des possibilités de développer la pensée formelle.

2.8.2.3 L'ÉGOCENTRISME ADOLESCENT

La nouveauté attire l'attention. Compte tenu de changements physiques et cognitifs qui surviennent à l'adolescence. Il n'est pas étonnant que les adolescents soient surtout centrés sur eux-mêmes; cette préoccupation personnelle est un exemple de l'égocentrisme adolescent. Piaget a établi une distinction entre l'égocentrisme que l'on trouve chez les enfants et celui des adolescents. Dans la petite enfance, l'égocentrisme se traduit par l'incapacité des enfants de distinguer la réalité physique de leur point de vue personnel et des expériences immédiates.

A la différence des enfants plus jeunes, l'adolescence est constamment en train de s'évaluer en fonction des réactions des autres. Les adolescents vivent en quelque sorte dans une « bulle » imaginaire devant lequel ils s'exécutent. L'auditoire imaginaire c'est un terme utilisé pour décrire la tendance des adolescents à croire qu'ils sont le centre d'intérêt d'autrui (Elkins). En plus de l'auditoire imaginaire beaucoup d'adolescents pratiquent ce qu'Elkins qualifie de fabulation personnelle. Il s'agit d'un récit personnel imaginaire et continu, souvent rempli d'exagération, dans lequel l'adolescent joue le rôle principal.

2.8.2.4 LE RAISONNEMENT MORAL

Les enfants de quatre à dix ans se situent au niveau de la morale reconventionnelle, alors que la moralité est assujettie à la récompense ou à la punition anticipée. C'est au début de l'adolescence qu'apparaît le deuxième niveau, celui de la morale conventionnelle. A ce niveau, l'individu est capable de dépasser les conséquences personnelles immédiates de ses actes et de tenir compte de répercussions sur les autres et la société. La majorité des adolescents et des adultes raisonnent habituellement au niveau de la morale conventionnelle mais le développement considérable de la capacité de réfléchir dans l'abstrait et de concevoir d'autres choix, qui survient au cours de la seconde moitié de l'adolescence, permet à beaucoup d'individu de nuancer encore davantage, leurs jugements moraux. Cette période coïncide avec la possibilité croissante de conflits entre les règles sociales acceptables d'une part, et entre les droits individuels et les lois d'autres parts. Si l'adolescence ou l'adulte reconnaît l'insuffisance de la morale conventionnelle, il atteindra le niveau suivant le développement moral, le niveau de la morale post conventionnelle. Au niveau de la morale post conventionnelle, l'individu définit ses valeurs et ses principes d'après son évaluation personnelle, au lieu de se conformer aux pressions et aux attentes de la société. Il porte donc des jugements moraux indépendamment de l'autorité du groupe ou des individus qui dictent les règles et c'est lui qui contrôle ses décisions personnelles. Ainsi l'adolescent ou l'adulte peut choisir des règles ou des lois qu'il trouve fondées.

2.8.3 PERSONNALITÉ ET DÉVELOPPEMENT SOCIAL

L'adolescence est une période de grands questionnements. Les sentiments d'urgence rencontrée chez la plupart des adolescents reflètent, en partie, les transformations rapides et multiples sur les plans physiques, cognitifs et affectifs qui marquent cette période de développement. Il traduit aussi la quête d'une solution, ultime et définitive aux problèmes pressants de l'identité personnelle.

2.8.3.1 LA CRISE À L'ADOLESCENCE

Quand on demande aux gens de décrire la période de l'adolescence des qualifications tels que « bouleversement » « tumultueux », « intense », « mouvement » ou « difficile » reviennent inévitablement. La conception de l'adolescence tant que période de tumulte psychologique et de stress fait partie de nombreuses du développement notamment les théories psychanalytiques. C'est le cas d'Anna Freud qui présente une image de l'adolescence caractérisée par le réveil et l'intensification des pulsions, des émotions et des fantasmes sexuels et agressifs. « L'intensification des pulsions, dit-elle, entraîne un bouleversement émotionnel considérable, alors que l'adolescents s'efforce de contrôler les impulsions et les désirs qui tentent de s'exprimer ».

Peter Bloet Erick Erickson dressent un portrait semblable de la crise normale de l'adolescent. D'autres théories croient cependant que le tumulte psychologique dont on vient de parler n'est pas un phénomène typique chez la plupart des adolescents et que le cours du développement pendant cette période est plus souvent caractérisé par la continuation des modes antérieurs d'adaptation plutôt que par l'apparition spectaculaires de nouveaux modes d'adaptation.

Dans l'ensemble, les études confirment le fait que certains adolescents traversent affectivement une période de tumulte émotionnel, mais qu'il ne s'agit pas d'un phénomène universel. Chez certains, le passage de l'adolescence est marqué par des sentiments de doute personnel de ressentiment à l'égard des parents, d'évitement des responsabilités et d'angoisse sociale. Chez d'autres, toutefois, la réaction aux transformations physique et aux changements de rôle sociale associée à l'adolescence est beaucoup moins spectaculaire comme c'est le cas des lois de toutes les périodes de développement, les individus diffèrent les uns des autres par leurs stratégies d'adaptation. Mais tous auront une série de tâches développementales à accomplir au cours de l'adolescence pour accéder à l'âge adulte.

2.8.3.2 IDENTITÉ DE L'ADOLESCENCE

- L'identité ou la diffusion de rôle, selon Erikson pendant ces perceptions et de sentiments personnels à l'égard période, la tâche principale de l'individu consiste en la construction d'une identité du moi, autrement dit en la formation de perceptions et de sentiments personnels à l'égard de soi. L'identité du moi comprend trois composantes principales: un sentiment d'unités de perception de soi, un sentiment de continuité temporelle de la définition de soi et un sentiment de mutualité entre les perceptions de soi et celles des autres à son égard. Quand l'adolescent ne réussit pas à établir une telle identité, il y a un danger de diffusion de rôle, c'est-à-dire un sentiment d'absence de définition personnelle, d'engagement et d'unité.

Au cours des premières étapes de l'adolescence, on constate une intensification de la conscience de soi, le moi devient un objet d'étude et d'intérêt. Ce changement d'orientation dirige vers le moi est principalement attribuable aux changements physique relatifs à la puberté de même qu'aux pressions exercées par la société sur les adoptions pour qu'ils fassent des choix de rôle.

L'établissement de l'identité personnelle est un processus qui peut se poursuivre pendant une dizaine d'années, l'adolescent prend possession d'une image de moi à la manière d'un costume, l'enfile pour mesurer son confort, l'essai dans son entourage et auprès de ses amis et l'abandonne ensuite pour en adopter une autre. Chaque identification devient partie intégrante de l'image globale de soi. Il faut incorporer toutes les identifications pour former une image de soi cohérente et unique.

- L'identité ethnique et raciale

Elle s'applique au sentiment d'appartenance d'un groupe ethnique ou racial qui devient partie intégrante de son identité personnelle. L'éveil de l'identification ethnique ou raciale peut survenir à tout âge mais il se produit très souvent à l'adolescence.

La construction d'une identité ethnique ou raciale est un processus complexe et difficile chez les membres d'un groupe minoritaire. Les adolescents de groupe minoritaire doivent développer une image de soi qui intègre à la fois la culture dominante et leur appartenance à un groupe ethnique ou racial.

C'est une tâche difficile à réaliser pour les adolescents, alors que la discrimination raciale et ethnique a engagé un climat de méfiance et de ressentiment ainsi que de nombreux stéréotypes négatifs. Souvent, les adolescents doivent choisir de s'identifier soit à la culture dominante en niant leur spécificité, soit à leur groupe ethnique ou racial en acceptant les caractères négatifs qu'on lui attribue.

Les parents constituent un lien crucial pour la socialisation ethnique et raciale. Ils procurent à leurs enfants les conseils nécessaires pour leur permettre d'affirmer leur différence. L'identité ethnique ou raciale comprend l'apprentissage de son héritage et de ses traditions, c'est aussi l'apprentissage des restrictions et des compétences nécessaires pour faire face aux stéréotypes et à la discrimination.

2.8.3.3 RELATIONS FAMILIALES

Le développement d'une identité distincte de celle des parents est l'une des tâches importantes à accomplir au cours de l'adolescence. De fait beaucoup d'adolescents (et certains adultes) n'aiment pas l'idée qu'ils ressemblent à leurs parents de quelques façon. Pourtant la formation d'une identité personnelle subite, à bien des égards l'influence de parents. Si les adolescents se distinguent en général de leur parent par des aspects comme la coupe de cheveux, l'habillement, les goûts musicaux et l'heure du couvre-feu, ils sont quand même plus portés à adopter le point de vue et les valeurs de leurs parents sur les plans social, normal et politique. Au cours de l'adolescence, les parents continuent d'exercer une grande influence même si les adolescents se tournent davantage vers le groupe de pairs.

a) Le conflit parents adolescent

Même si les médias ont beaucoup exagéré le fossé des générations il existe tout de même des conflits entre les adolescents et leurs parents qui peuvent provoquer leur mécontentement de l'un comme de l'autre. En dépit d'une relation affectueuse, la plupart des adolescents se disputent souvent avec leurs parents.

Le degré de conflit entre les adolescents et les parents peut varier. Les adolescents qui ont accepté un grand nombre des valeurs traditionnelles de la famille, l'obéissance et la coopération, par exemple manifestent une plus grande acceptation de l'autorité parentale que ceux qui ont rejeté ces valeurs.

Les difficultés de l'adolescent à l'école, dans ses rapports sociaux et dans d'autres domaines, semblent apparaître plus souvent dans les familles caractérisées par « l'hostilité, le rejet ou la négligence de la part des parents ».

Certains adolescents contestent trop ouvertement l'autorité parentale.

A l'inverse, certains parents ont des réactions arbitraires ou coercitive à l'égard des besoins changeants de leurs enfants, aliment ainsi des conflits, les pressions de l'extérieur, notamment l'école, le groupe de pairs et la société, peuvent aggraver la situation conflictuelle entre les parents et les adolescents. Le développement de la sexualité à l'adolescence peut aussi accroître les problèmes d'ordre familial. Des difficultés surviennent inévitablement puisque la maturité sexuelle de l'adolescent se produit alors qu'il habite encore avec ses parents. Dans certaines cultures l'apparition de la maturité physique signale le moment du départ des adolescents du foyer familial pour mener leur vie. Cependant il serait difficile pour les adolescents d'atteindre cette indépendance financière dans les sociétés industrialisées.

b) La quête de l'autonomie

Devenir autonome est un processus graduel. L'adolescent ne se réveille pas un bon matin en déclarant qu'il est maintenant autonome indépendant. La quête de l'autonomie se fait plutôt par étapes. Il arrive souvent que les adolescents ne soient même pas conscients du processus de séparation entrepris à l'égard de leurs parents jusqu'à ce qu'ils soient devenus responsables d'eux-mêmes. De même, certains adolescents ou jeunes adultes peuvent se considérer comme autonomes et découvrir qu'ils ne le sont pas autant qu'ils le pensent quand ils quittent le foyer familial. Les parents dont le rôle parental est l'unique centre d'intérêt de leur vie éprouvent parfois des difficultés à renoncer aux contrôles qu'ils exercent sur l'adolescent.

2.8.3.4 GROUPE DE PAIRS

Au moment même où les adolescents se détachent des liens familiaux et entreprennent leur quête d'autonomie, ils développent une identification avec le groupe des pairs, formant ainsi un sentiment d'appartenance à une génération.

a) Organisation du groupe des pairs

Au cours de la période pré-pubertaire, les enfants se regroupent avec d'autres enfants du même sexe. Un an plus tard environ, à mesure qu'augmente l'intérêt envers le sexe opposé, ces groupes ou gangs établissent habituellement des informels avec des gangs de l'autre sexe. Ce sont les meneurs des gangs qui imitent les premières amourettes. Gang c'est-à-dire petit groupe informel d'individus de classe sociale, d'éducation, d'âge et d'intérêt similaires qui passent beaucoup de temps ensemble. Autour du gang se profile un groupe élargi, dont les structures sont plus flexibles. Ce groupe élargi est maintenu par son orientation vers l'avenir, le milieu social de ses membres et leur type de personnalité.

b) Amitiés Adolescents

En plus de l'appartenance à un groupe élargi et à un gang les adolescents comptent habituellement un ou deux amis intimes. Les amis intimes. Les amitiés reposent sur des sentiments plus profonds et intenses que les liens de gang. Le lien d'amitié est plus ouvert et honnête; on y sent moins le besoin d'approbation sociale. L'individu hésite à manifester ses doutes, ses angoisses et ses ressentiments. Les amitiés reposent habituellement sur des antécédents sociaux, des intérêts et des traits de personnalité analogues. On voit plus rarement une amitié entre deux personnes ayant des personnalités très différentes. L'intimité à l'adolescence est liée en partie à la capacité naissante de l'individu de s'engager dans un rapport de réciprocité; c'est-à-dire la capacité de tenir compte de son point de vue et de celui de l'autre en même temps, qui apparaît généralement à l'adolescence. Contrairement à la croyance populaire, les adolescents ne font généralement pas preuve d'instabilité dans leurs relations sociales, autrement dit, ils ne changent pas d'amis pour un caprice.

c) Conformité

Il semble que le désir d'être accepté par ses pairs et de faire des amis favorise une plus grande conformité à l'adolescence. Proprement parler, la conformité consiste simplement à adopter les normes de sa famille, de la société ou du groupe des pairs. Ce n'est pas aussi facile qu'on le pense; puisque ces nombreuses normes s'opposent parfois les unes aux autres. Enfin de compte l'individu doit faire un choix et n'adopter que celles qui lui conviennent personnellement. Les enfants ont appris la plupart des normes de la société vers l'âge de 11 ou 12 ans. À l'adolescence, ils commencent à évaluer ces normes en fonction de leurs besoins personnels et de l'évolution de leur système de valeurs.

2.8.3.5 CHOIX D'UNE PROFESSION

C'est sans doute l'une des tâches les plus difficiles et frustrantes pour les adolescents des pays industrialisés. Dans un passé encore récent, et dans certaines cultures encore aujourd'hui, le choix d'une carrière dépendait du rang social. Le fils d'un artisan n'avait d'autre choix que d'apprendre le métier de son père. Aujourd'hui, les hommes et les femmes ont du moins potentiellement, une liberté beaucoup plus grande dans le choix d'une carrière. Les adolescents provenant d'un milieu socio-économique défavorisé ne connaissent peut-être pas toutes les possibilités des carrières qui s'offrent à eux, parce qu'ils n'ont pas pu compter sur des modèles positifs dans leur milieu. Par conséquent, ils limitent peut-être involontairement leurs aspirations.

2.8.3.6 PROBLÈMES DE COMPORTEMENT

À l'exception du décrochage scolaire, la plupart des comportements antisociaux et des problèmes de santé mentale manifestés par des adolescents n'appartiennent pas en exclusivité à ce groupe d'âge. Des problèmes comme l'abus de drogues, l'alcoolisme, la dépression, la schizophrénie et l'obésité touchent en effet tous les groupes d'âge, J.J KAPENGA KASONGO (2009; p.57-60);

3 RESULTATS

C'est dans cette partie ou nous allons essayer de donner la signification aux réactions de nos enquêtés à travers l'analyse et l'interprétation des résultats.

Pour rappel, l'objet du présent travail est de découvrir les comportements des parents à l'égard des adolescents ivrognes dans la province du Sud-Kivu, ville de Bukavu. En plus nous nous proposons de déceler les conséquences négatives de ces comportements sur les adolescents ivrognes ainsi que de proposer des pistes des solutions en vue de remédier à cette situation. Pour arriver à appréhender les réactions de nos enquêtés continues sur les protocoles, notre instrument des récoltes des données, les items ont été groupés en thèmes.

3.1 ANALYSES DESCRIPTIVES

Comme ci-haut signalé, les 8^{es} items de notre questionnaire sont regroupés autour de 3 thèmes principaux:

- Information des parents sur la période d'adolescence;
- Comportements spécifiques d'adolescence;
- Conséquences négatives des comportements des parents sur les adolescents ivrognes.

C'est dans cet ordre que nous présentons, analysons et interprétons des résultats dans cette étude.

3.2 PRÉSENTATION ET ANALYSE DES RÉSULTATS GLOBAUX

Dans ce travail, nous n'avons pas tenu compte dans la présentation et l'analyse des différentes variables telles que l'âge, sexe, l'Etat civil, la profession et le niveau d'études des enquêtés.

3.2.1 INFORMATIONS DES PARENTS SUR LA PÉRIODE DE L'ADOLESCENCE

Ce thème a été exploité par l'item 1. Il se formule de la manière suivante:

Item 1: Dans quelle tranche d'âge se situe la période d'adolescence ? Les réactions de nos enquêtés face à cet item sont consignées dans le tableau ci-après.

Tableau 1. Réactions des enquêtés à l'Item 1

N°1	Tranches d'âges	f	%
	10-15 ans	20	1,7
	11-18 ans	100	8,3
	12-18 ans	500	41,7
	12-17 ans	30	2,5
	11-19 ans	50	4,2
	13-18 ans	100	8,3
	12-20 ans	100	8,3
	12-22 ans	300	25
Total		1200	100

Ce tableau enregistre 500 sujets, soit 41,7% qui situent la période d'adolescence entre 12 à 18 ans, 300 sujets, soit 25% de la place dans l'intervalle de 12 à 22 ans, 100 sujets soit 8,3% mettent cette période successivement dans les tranches de 11 à 18 ans et de 12 à 20 ans. Les autres fréquences paraissent négligeables.

3.2.2 COMPORTEMENTS SPÉCIFIQUES DE L'ADOLESCENCE

Nos enquêtes ont prouvées un ensemble des comportements qui caractérisent cette période à travers les items 2, 3 et 8. Ils sont successivement libellés comme suit:

Item 2: Quels sont les comportements qui caractérisent l'adolescence ?...

Item 3: Y a-t-il une différence entre l'enfant et l'adolescent du point de vue comportement ?...

Item 8: Avez-vous d'autres informations à nous fournir concernant les comportements des parents face aux adolescents ivrognes dans la ville de Bukavu ?

a) Oui, b) non, si oui lesquelles ?...

Tableau 2. Réactions des enquêtes à l'Item 2

Comportement de l'adolescence	F	%
Agitation et égoïsme, révolte,	30	2,5
Impolitesse, orgueil et débauche (sexuelle)	300	25
(Sexualité)	400	33,3
Vie en groupe, concurrence	200	16,7
Turbulence, angoisse et curiosité	100	8,3
Opposition et discussions	40	3,3
Conflit avec l'entourage	30	2,5
Discussions avec l'entourage	100	8,3
Total	1200	100

En analysant ce tableau, 400 sujets soit 33,3% ont donné comme comportement de l'adolescent, la sexualité (débauche); suivis de 300 sujets soit à 25% qui avaient la révolte, l'impolitesse et l'orgueil comme comportements types de cette période. La vie en groupe et la concurrence sont des comportements soutenus par 200 sujets, soit 16,7%.

Le conflit avec l'entourage, turbulence et l'angoisse ont été énumérés successivement par 100 sujets, soit 8,3%.

A part ces comportements jugés caractéristiques de cette période, nos sujets ont encore ajoutés la curiosité, l'agitation et l'égoïsme, l'opposition ainsi que la discussion interminable.

Tableau 3. Réactions des enquêtes à l'Item 3

Opinions	F	%
Oui	800	66,7
Non	400	33,3
Total	1200	100

Ce tableau montre que 800 sujets soit 66,7% ont reconnu qu'il existe réellement une différence entre l'enfant et l'adolescent sur le plan comportement; 400 sujets soit 33,3% ne sont pas de cet avis. La majorité des sujets ont décrit l'adolescent comme révoltant par rapport à l'enfant. Il a comme actes conscients et il est désobéissant. L'adolescent n'est pas peureux, il est éveillé, très actif et centrer sur soi. Il est aussi caractérisé par la vantardise et l'égoïsme. Par contre la minorité des enquêtés ont témoigné que les deux sujets ont les mêmes comportements car les deux périodes se suivent. Ils sont tous egocentriques et dépendants de leurs parents (entourage). Ce ne sont pas seulement les adolescents qui sont turbulents et difficiles,...Même certains enfants le sont aussi.

Tableau 4. Réactions des enquêtes à l'Item 8

Item	Autres informations	f	%
8	1°Les parents encouragent les adolescents dans l'ivrognerie	720	60
	2°Les parents et adolescents sont ivrognes	200	16,7
	3°Les parents sont hypocrites	160	13,3
	4°Les adolescents fument, violent et volent	120	10
Total		1200	100

Nos enquêtes ont avancé d'autres informations supplémentaires en rapport avec notre sujet. Ainsi, 720 sujets, soit 60% ont soutenu que certains parents encouragent les adolescents dans l'ivrognerie. Les parents et les adolescents sont tous ivrognes, personne ne contrôle personnes, argument donné par 200 sujets, soit 16,7%. 16 sujets ont reconnu que les parents sont hypocrites à l'endroit de leurs adolescents.

Enfin, 120 sujets, soit 10% disent les adolescents fument, se droguent, violent et volent les biens matériels et financiers.

3.2.3 CONSÉQUENCES NÉGATIVES DES COMPORTEMENTS DES PARENTS SUR LES ADOLESCENTS

Ces conséquences ont été formulées dans des **items 4,5, 6 et7** suivant:

Item 4: La manière dont certains parents se conduisent-elle de conséquence négative sur les comportements des adolescents ? a) Oui, b) Non. Justifiez-vous ?...

Item 5: Il vous arrive d'être en conflit avec un adolescent ? a) oui, b) non. Justifiez-vous!...

Item 6: Y a-t-il souvent coopération (collaboration) entre adolescent et ses parents ? a) oui, b) non, justifiez- vous ?...

Item 7: Les parents appliquent-il des comportements non proportionnés et les mesures coercitives à l'égard de leurs adolescents ?...

a) Oui, b) non, justifiez-vous ?...

Les réactions de nos enquêtés à ces 4 questions sont enregistrées dans le tableau suivant:

Tableau 5. Réactions des enquêtés aux items 4, 5,6 et 7

Item	Réaction des enquêtés				Total	
	OUI		NON			
	F	%	f	10	N	%
	750	62,5	450	35,5	1200	100
	900	75	300	25	1200	100
	780	65	420	35	1200	100
	550	45,8	650	54,2	1200	100

Ce tableau témoigne à **l'Item n°4** que 750 sujets, soit 62,5% ont accepté que la manière dont certains parents se conduisent influence négativement les comportements des adolescents. Par contre, 450 sujets, soit 37,5% s'opposent à cette affirmation;

Le premier groupe de sujets ont dit que beaucoup d'adolescents copient le modèle de leurs parents.

Ces derniers entraînent les adolescents dans l'ivrognerie en ne pas boire d'alcool, de fumer de chanvre;...Les parents n'ont plus de primautés de contrôle sur leurs enfants à cause de la pauvreté. Il y aussi l'abandon scolaire, le mariage précoces, fuite des adolescents dans les pays étrangers, conflits entre parents et adolescents, manque de confiance entre les deux partenaires. Certains sont même supportés par leurs adolescents, certains parents irresponsables se méconduisent en présence de leurs adolescents ou ils ont une mauvaise réputation dans le quartier: vol, ivrognerie, débauche...

Le second groupe de sujets, ont montré que la plus part des parents se comportent très bien, seulement les adolescents sont induits en erreur par leurs pairs.

Aucun ne peut souhaiter que son enfant se conduise très bizarre (mal). Les parents continuent toujours à jouer leur rôle d'éducateur, les adolescents sont apportés par le développement technique, technologie et scientifique qui les abime. **A l'Item n° 5;** 900 sujets ont admis qu'ils sont souvent en conflit avec leurs adolescents (75%), alors que 300 sujets (25%) ne sont d'accord avec cette opinion. Ils sont en conflit avec leurs adolescents suite aux comportements déviants (désobéissance, insoumission, refus d'exécuter des ordres, fugue, école buissonnière,...). Aussi, certains parents ne maîtrisent pas les différents changements qui se présentent chez l'adolescent. Le parent est le seul responsable de la famille, il n'est pas accepté que son adolescent fasse n'importe quoi devant lui. Ceux qui ne sont pas en conflit avec leurs adolescents sont irréguliers à la maison. D'autres ont vite compris que cette période demande de traiter l'adolescent avec tact, sinon, il risque de rater sa vie. Ce que l'adolescent fait est guidé par l'âge et tout le monde est passé par ce stade. Il faut seulement comprendre.

En ce qui concerne **l'item 6;** 780 sujets soit 65% ont affirmé qu'ils sont en franche collaboration avec leurs adolescents et 420 sujets soit 35% s'opposent à cette position. Ceux d'avis favorables pour cette collaboration ont suggéré qu'il faut que les parents collaborent avec leurs enfants pour arriver à appréhender leurs difficultés. Les parents doivent avoir l'habitude de rapprocher leurs enfants et se parler des certains dossiers (informations) tabous.

Cette collaboration met l'adolescent à l'aise et ne peut pas se livrer à des actes répréhensibles. Ceux d'avis défavorable à cette collaboration ont démontré que l'adolescent reste enfant parmi tant d'autres. Il ne faut pas donner un cachet spécial si non vous lui entêtez. Ce sont les adolescents qui doivent rapprocher leurs parents et non l'inverse. La responsabilité incombe à leurs mères qui restent côte à côte avec leurs enfants. Ce sont-elles qui doivent changer les comportements de leurs enfants à n'importe quel âge.

Enfin, en rapport avec l'item 7; 550sujets, soit 45,8% sont défavorable à l'Item, alors que 650 sujets, soit 54,2% ont appuyé cette opinion. Le premier groupe d'enquêtes n'ont pas admis que les parents appliquent des comportements non proportionnés et des

mesures coercitives à l'endroit de leurs adolescents en disant que les enfants d'aujourd'hui ne respectent plus et ne veulent plus suivre les conseils donnés par leurs parents. Ils souhaitent être libres et se conduire selon leur gré. Ils imitent tous ceux se passant dans les T.V., films,... et veulent suivre les conseils de ses semblables.

Le second groupe d'enquêtes soutiennent une position contraire. Pour eux, les parents sont les premiers responsables de l'avenir de leurs enfants. Ils ne doivent pas tolérer chez les adolescents de manifester des comportements nuisibles pour lui et pour tout la famille. Le parent, en tant qu'éducateur est obligé de prendre des mesures qui s'imposent pour redresser son enfant. Il faut « éviter le pire », dit-on. C'est un droit légitime de corriger tout enfant qui transgresse les normes sociales régissant la société (famille, Etat,...). Beaucoup d'adolescents sont devenus aujourd'hui « Mayibobo », « Finder » suite au laxisme de leurs parents. « On bat le fer quand il est encore chaud » disent les forgerons.

4 DISCUSSION

Cette interprétation tient compte de nos trois thèmes du départ. 4.1. Informations des parents sur la période d'adolescence.

En se référant aux réactions de nos enquêtés contenues dans le tableau n°1, ceux-ci ont bel et bien des informations précises la délimitation de cette période.

4.1 COMPORTEMENTS SPÉCIFIQUES DE L'ADOLESCENCE

En voulant savoir les comportements qui caractérisent l'adolescence, nos enquêtés ont énuméré les comportements suivants: la sexualité (débauche, la révolte, l'impolitesse, l'orgueil, la vie en groupes avec de pairs, concurrence, conflit avec l'entourage, insoumission, turbulence, l'angoisse, la curiosité, l'égoïsme, l'opposition aux règles sociales..., tableau n°2.

Ces comportements ont été également approuvés par plusieurs psychologues spécialistes aux questions de l'enfant et de l'adolescent. En plus, nos enquêtes ont pu montrer qu'il existe une différence entre l'enfant et l'adolescent dans leurs comportements. Ceci est vrai, d'autant plus que les études scientifiques élaborés sur les deux êtres l'ont aussi démontré; tableau n°3.

Enfin, nos enquêtes ont avancé d'autres informations supplémentaires (comportements) liées à l'adolescence qui sont: l'ivrognerie des parents et des adolescents, hypocrisie des parents, prise de la drogue et chanvre, le vol, l'école buissonnière,...tableau n° 4.

Ces comportements supplémentaires viennent allonger la liste de ceux qui caractérisent l'adolescent ci-haut énumérés dans n°2.

4.2 CONSÉQUENCES NÉGATIVES DES COMPORTEMENTS DES PARENTS SUR LES ADOLESCENTS IVROGNES

Ces conséquences négatives ont été présentées dans le tableau n°5.

Il s'agit du manque de confiance de l'adolescent envers ses parents, ces derniers n'ont plus la main mise sur leurs adolescents, conflit entre parents et adolescents, l'abandon ou l'école buissonnière, mariages précoces, fuite des adolescents dans l'armée, à l'étranger, manque de collaboration entre parents et adolescents. Cependant, nos enquêtes n'ont pas soutenue que les parents appliquent des comportements non proportionnés et des mesures coercitives à l'endroit de leurs adolescents,...

Cette position peut être justifiée par le fait que les parents sont des éducateurs, et que toute mesure prise sur l'adolescent n'est pas perçue comme coercitive, mais vise à mettre ce dernier sur le rail. Aussi, faut-il dire que la majorité des enquêtés étaient des adultes qui vivent ou qui ont oublié les manifestations de l'adolescence et par conséquent, ils ne peuvent se trahir.

5 CONCLUSION

Cette recherche avait pour objectif de déterminer les comportements des parents face aux adolescents ivrognes dans la province du Sud-Kivu, ville de Bukavu. En plus, nous proposons de déceler les conséquences négatives de ces comportements sur les adolescents ivrognes ainsi que de proposer des pistes de solution en vue de remédier cette situation.

Notre recherche a porté sur une population de 12158 dans laquelle nous avons tiré un échantillon occasionnel de 1200 sujets de sexe, âge, état civil, profession et niveau d'études différents.

Pour récolter les données auprès de nos enquêtés, nous avons fait recours aux techniques documentaires, d'entretien directe, d'interview et de questionnaire.

Trois hypothèses ont été émises dans cette recherche:

- Les parents de la province du Sud-Kivu en général et ceux de la ville de Bukavu en particulier ne seraient pas informés sur les différents comportements des adolescents,

- Les parents de ce quartier appliquent des comportements non proportionnés et des mesures coercitives à l'endroit des adolescents ivrognes,
- Les conséquences négatives des comportements des parents à l'égard des adolescents seraient la persistance de ceux-ci dans le vol, la figue, le banditisme, l'abandon scolaire.
- L'objectif de notre travail consiste à découvrir les comportements des parents face aux adolescents ivrognes dans la province du Sud-Kivu, ville de Bukavu. En plus, nous proposons de déceler les conséquences négatives de ces comportements des parents sur les adolescents ivrognes ainsi que de proposer des pistes de solution en vue de remédier cette situation. Ainsi, pour appréhender les réactions de nos enquêtes en rapport avec notre sujet, les 8 items de notre questionnaire a été regroupés en 3 thèmes principaux suivants:
- Informations des parents sur la délimitation de la période d'adolescence;
- Comportements spécifiques qui caractérisent l'adolescence;
- Conséquences négatives des comportements des parents sur les adolescents ivrognes.

Après l'analyse et l'interprétation des résultats, nous avons abouti aux conclusions suivantes

1. Informations des parents sur la délimitation de la période d'adolescence

La majorité de nos enquêtés ont bien délimité cette période, qui va de 12 à 18 voire à 20 ans. Donc, nos enquêtés ont des informations précises sur la délimitation de cette période, tableau N° 1.

2. Comportements spécifiques caractérisant l'adolescence

La plus part de nos enquêtés ont énuméré les comportements ci-après: l'éveil de la sexualité (débauche), révolte, impolitesse, orgueil, la vie en groupes, concurrence, conflit avec l'entourage, turbulence, angoisse, la curiosité, agitation, égoïsme, l'opposition, la discussion interminable, vantardise,...tableaux n°2,3

3. Conséquences négatives des comportements des parents sur les adolescents ivrognes

Les conséquences négatives les plus saillants avancées par la majorité des enquêtés sont les suivantes: les parents et leurs adolescents sont tous ivrognes, manque de responsabilité des parents sur les adolescents, conflits répétés entre les deux partenaires, manque de confiance mutuelle et de collaboration, l'abandon scolaire ou l'école buissonnière, la sexualité et mariage précoce, la fuite des adolescents de l'armée ou dans les pays étrangers, banditisme...

Par contre, nos enquêtes n'ont pas admis que les parents appliquent des réactions disproportionnelles et des mesures coercitives à l'endroit des adolescents, tableau n°5.

Au vu de tout ce qui précède, notre première hypothèse et deuxième sont infirmées. Par contre, la troisième hypothèse est confirmée.

Etant donné la pertinence de notre sujet, nous ne pouvons pas clore cette étude sans pour autant présenter quelques suggestions.

REFERENCES

- [1] BRESSON, F et G.DURUP, Psychologie de l'enfant et de l'adolescent, PUF, Paris, Armand Colin, 1970.
- [2] DEBESSE, M.et al, Adolescent, Paris, 1975.
- [3] LAFOR, R., Vocabulaire de psychologie et psychiatrie, PUF, Paris, 1969.
- [4] DE LANDSHEERE, G., Introduction à la recherche scientifique, Armand colin, Paris, 1976.
- [5] POUQUET.R., Vivre sans stress SAFELIZ, Madrid, 2000.
- [6] TSHIMANGA MWANZA, Initiation à la recherche scientifique, CERUKI/ISP/BUKAVU, 1986.
- [7] DIAZ, M. Je viens une femme, Edition Medias Paul Kinshasa, 2004.
- [8] D'HAINANT, Concept et Méthodes de la statistique, Bruxelles, Labor, 1975.
- [9] BAMWISHO MIHIA, Initiation à la méthodologie de la recherche en éducation, PUZ, rectorat kin, 1975.
- [10] UNICEF, La crise au Nord-Kivu, 2007.
- [11] MUCHIELLI R., L'analyse de contenus des documents et des communications, Paris, E.S.F.1979.
- [12] R.POUGET, « La vie familiale » (2000, p.p.24-30).
- [13] MAYER, P. Dictionnaire Encyclopédique, Paris, 1999.
- [14] Mes 10.000mots: Nouvelle édition en couleurs par Marcell, Paris 2000.
- [15] Larousse DE POCHE, Paris, 1995.

Calibration et contrôle du bon fonctionnement des analyseurs de lait

[Calibration and control of the correct functioning of milk analyzers]

Bouslah Fatima¹ and Sonia Maatoug-Ouzin²

¹Département production végétales et agroalimentaire, Ecole Supérieure d'Agriculture de Mateur, Université de Carthage, Tunisia

²Institut National Agronomique de la Tunisie, Université de Carthage, Tunisia

Copyright © 2026 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 analysis of milk in Tunisia is limited to two methods of analysis which has caused quality problems for industrial processing. The Department of Genetic Improvement specializing in the field of milk quality has solved the problem of milk quality control by the transformed Fourier spectrometer machine (FTS) and flow cytometry machine (FCM) which are the objective of this study. The work was summarized on the calibration and control of the proper functioning of the milk analyser (FTS / FCM) to have the quality desired for the food industry.

KEYWORDS: milk, quality of milk; Milk analyses, food industry.

RESUME: L'analyse du lait en Tunisie est limitée à deux méthodes d'analyse ce qui a provoqué des problèmes de qualité pour la transformation industrielle. La direction d'amélioration génétique spécialité dans le domaine de qualité du lait à résolu le problème du contrôle de qualité du lait par la machine spectromètre à transformée de fourrier (FTS) et machine à cyrtométrie de flux (FCM) qui sont l'objectif de cette étude. Le travail s'est résumé sur la calibration et contrôle du bon fonctionnement d'analyseur du lait (FTS/FCM) pour avoir une qualité voulue pour l'industrie alimentaire.

MOTS-CLEFS: lait, qualité de lait, analyses, industrie alimentaire.

1 INTRODUCTION

Dans ce projet qui a eu lieu au sein de laboratoire d'analyse laitier de l'office de l'élevage et des pâturages, que fait la détermination de taux de la Matière Grasse, de Matière Protéique, et d'Urée par l'analyseur automatique à Infra Rouge, Le Spectromètre a Transformée de Fourier de Bentley) FTS (1) et le dénombrement des cellules somatiques par la machine de Bentley à cyrtométrie de flux (FCM) (2).

Dans un premier lieu, on a fait étudier la composition du lait bovin et les appareils utilisés au laboratoire de Sidi Thabet dans la détermination de la composition physico-chimique du lait ainsi que leurs principes de fonctionnement.

2 METHODOLOGIE

2.1 MATÉRIELS ET MÉTHODE

L'étude les procédures de travail et le mode opératoire au laboratoire de contrôle laitier et les méthodes de contrôle de bon fonctionnement des analyseurs utilisés dans l'analyse du lait.

Pour vérifier la validité de la mode opératoire et des méthodes de contrôle au laboratoire on a fait une recherche sur la procédure de détermination de la matière grasse et de la matière protéique par spectroscopie moyen infrarouge: CNIEL PROC IR 07.

Pour contrôler les appareils d'analyse automatisé du lait on utilise souvent des échantillons à teneurs garantie dont la composition est déterminé par des méthodes manuelles de références, pour cela on a étudié les méthodes des références et on a fait la comparaison entre les méthodes modernes de détermination du taux de matières grasses, matières protéique (Spectrophotométrie Infrarouge) et les méthodes des références (Méthode Gerber pour matière grasse et noire Amido pour protéines) (figures 1 et 2).

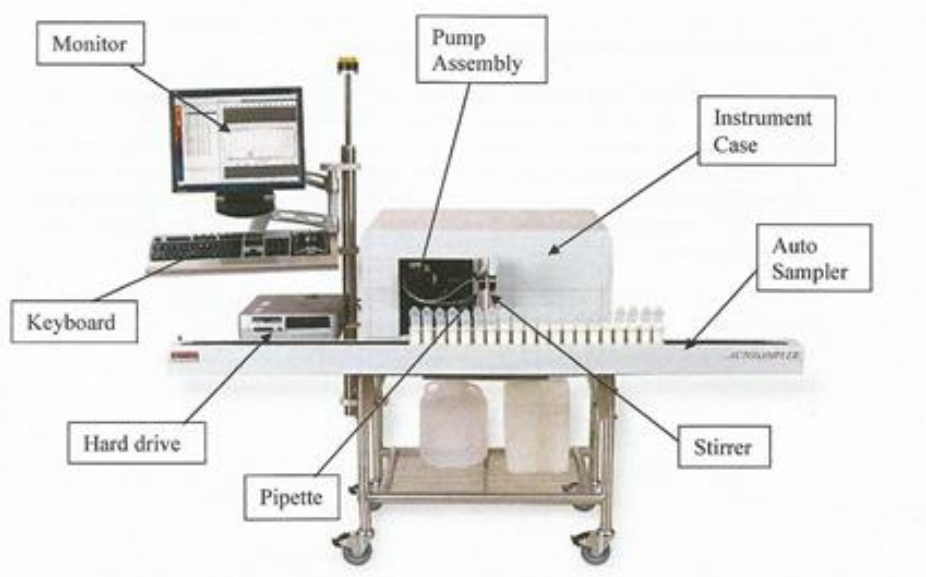


Fig. 1. Analyseur de lait FTS infra rouge

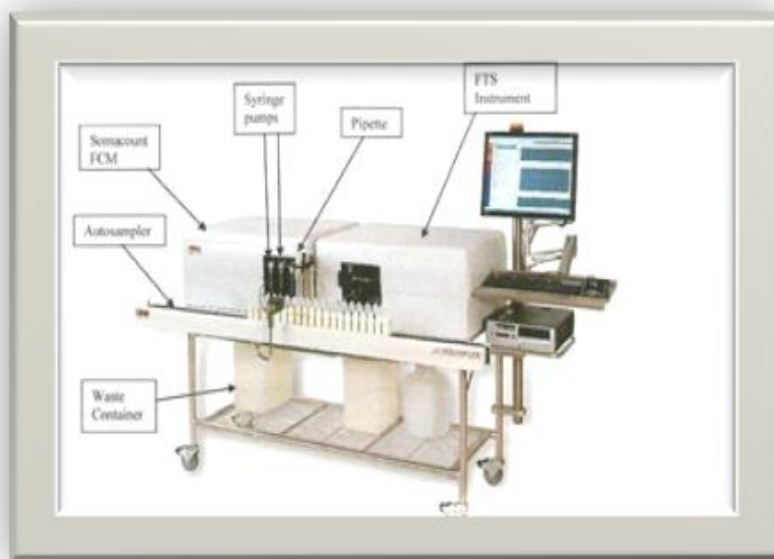


Fig. 2. Schéma count FCM compteur de cellules

Dans un deuxième temps à la partie pratique on a fait les différents tests de contrôle de validité des analyses faite au laboratoire et on a fait la vérification de calibration de l'analyseur FTS pour les deux paramètres Matière Grasse (MG) et Matière Protéique (MP) et la vérification de calibration pour l'analyseur FCM pour le dénombrement des cellules somatiques (figure 3 et 4).

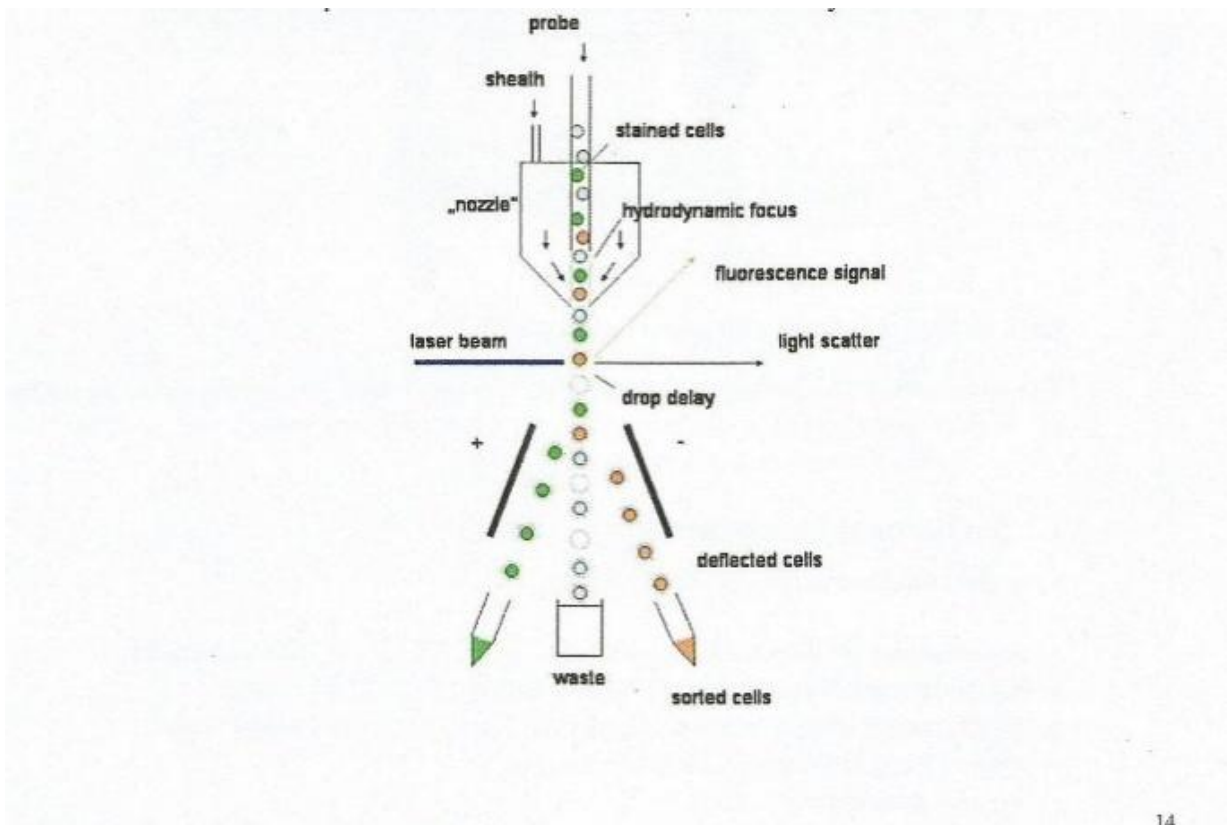


Fig. 3. Schéma de principe de cryométrie de flux

La vérification de conformité de la mode opératoire au sein du laboratoire de Sidi Thabet utilisé pour la détermination de taux de MG et MP aux normes internationales CNIEL PROC IR 07. Cette comparaison nous a permis d'identifier certaines non-conformités aux Normes et on a proposé les mesures à prendre pour corriger cette non-conformité.

Ce procédé permet à un flux régulier de l'échantillon de s'écouler à travers le centre de la cellule d'écoulement. Par une méthode synchronisée, les cellules entrent dans le champ d'observation pour la détection et le comptage cellulaire.

La cellule émet une lumière rouge lorsqu'il est exposé à la lumière bleu-vert de laser. Ça génère une impulsion électrique, qui le PMT détecte et compte comme une cellule blanche du sang. Cette information est stockée dans l'ordinateur et peut être consulté pour une analyse ultérieure (figure 4).

LE BUTYROMÈTRE (GERBER)

Le butyromètre est un instrument de mesure utilisé pour déterminer la teneur en matière du lait ou des produits laitiers par la méthode Gerber.

CENTRIFUGEUSE

La centrifugeuse est utilisée pour la séparation des composés du lait en fonction de leur différence de densité en les soumettant à une force centrifuge.

2.2 DOSAGE DE PROTÉINES PAR MÉTHODE NOIRE AMIDO

Les protéines possèdent des groupes amine et carboxyle libres et sont ainsi dans une solution aqueuse selon le pH plus ou moins chargées positivement ou négativement. En milieu alcalin, elles se chargent électro négativement et sous l'influence d'un champ électrique migrent selon le nombre de leurs chargements plus ou moins vite vers l'anode. La vitesse de migration différente de chaque composant protéique permet la séparation du mélange sérum-protéines (tableau 1).

Tableau 1. Comparaison entre l'ancienne méthode manuelle et la nouvelle méthode automatique pour analyser

	Méthode Gerber et Noir Amido	Méthode FTS/FCM
Cadence des analyses	Un échantillon par 3 heures	500 échantillons par heure
Précision d'estimation	Taux d'erreur est faible	Taux d'erreur parfois considérable
Stabilité	Stable au cours de temps et ne nécessite aucun réglage supplémentaire	Précision très sensible aux différents facteurs extérieurs
Sécurité de l'opérateur	Parfois dangereuse	Méthode beaucoup plus sécurisée
Coût d'investissement	Coût réduit des opérations de maintenance et de réparation	Coût chère des interventions de réparation.
Simplicité de l'analyse	Compliqué et fastidieux	Simple
Le dénombrement des cellules somatiques	Pas d'analyse de cellule	Il y a analyse de cellule

LES TESTS DE CONTRÔLE SELON LES NORMES CNIEL PROC IR 07

- ✓ Mise à zéro: chaque jour d'analyse > 0.01%.
- ✓ Vérification du lait de contrôle (Stabilité d'un jour à l'autre): $T_m - T_c \leq \pm 0.20 \text{g/l}$.
- ✓ REPETABILITE: chaque jour d'analyse $S_r < 0.14 \text{g/l}$.
- ✓ Reproductibilité intra-laboratoire: une fois par jour: $d \leq \pm 0.20 \text{g/l}$.
- ✓ Température des échantillons au moment de l'analyse (37°C – 42°C).
- ✓ Stabilité au cours de la journée d'analyse: $E_l \leq 0.5 \text{g/l}$.
- ✓ Surveillance de l'évolution du biais moyen en fonction des laits:
 $M_G \leq \pm 0.70 \text{g/l}$; $M_P \leq \pm 0.50 \text{g/l}$.

Traçage mensuelle: $T_c \leq \pm 1\%$ pour MG et MP et 2% pour les cellules

Tableau 2. Contrôle de bon fonctionnement Le test de zéro interne et externe pour FTS

Numéro	MG	MP	Lactose	Urée
CV%	0.00%	0.00%	0.00%	

Mg: matière grasse

MP: matière protéinée

Vm: valeur mesurée

Vref: valeur de référence

$CV\% < 0.01\%$ donc le test de zéro interne est conforme

On a fait l'analyse de l'eau 10 fois et on a trouvé:

Moyen = 0.00 < limite d'acceptabilité = 0.01 %

Erreur = 0.00% < Limite d'erreur = 0.04 %

Test de Zéro externe est accepté, tableau 2

2.3 VÉRIFICATION DE L'HOMOGENÉITÉ DU LAIT DE CONTRÔLE POUR MG

On a préparé les échantillons de contrôle à partir de 5 litres du lait d'une ferme voisine

On a analysé ces 20 échantillons pour deux fois successives et après calcul des moyennes des écarts on a trouvé les résultats suivants tableau 3.

Tableau 3. Vérification de l'homogénéité du lait de contrôle pour Matière grasse (MG)

Moyenne	34.83 g/l	Normes	Conclusion
Amplitude	0.24	<0.30	Conforme
Ecart type Sr	0.09	<0.14	Conforme

Amplitude = Valeur Max – Valeur min

Ecart type = Racine (\sum écarts) /40

Donc, le lait de contrôle est homogène et prêt à être utilisé pour déterminer les valeurs de référence du lait de contrôle.

Après deux analyses successives du lait de contrôle, les valeurs de référence des paramètres MG, MP, urée et cellules somatiques ont été définies (tableau 3).

Les résultats des pourcentages de MG et MP, ainsi que de l'urée et des cellules somatiques, obtenus après le contrôle de l'appareil lors du premier jour d'analyse, sont présentés dans le tableau 4.

Tableau 4. Le contrôle de stabilité de l'appareil du premier jour

	MG %	MP %	Urée (g/dl)	Cellules/ml
Moy 1er passage	3.59	3.08	5.97	970
Moy 2ème passage	3.59	3.09	5.65	971
Moyenne (Valeurs de référence)	3.59	3.09	5.81	970

Résultats du pourcentage de MG et Mp ainsi que l'urée et les cellules après le contrôle de l'appareil du dernier jour d'analyse (tableau 5).

Tableau 5. Le contrôle de stabilité de l'appareil du dernier jour

	MG	MP	Urée	Cellules
Valeur mesurée (Vm)	3.58	3.08	5.83	948
Valeude référence (Vref)	3.59	3.09	5.81	970
Vm-Vref	-0.01 \pm 0.05	-0.01 \pm 0.05	0.02<1	-22< \pm 50
Conclusion	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme

Tableau 6. Contrôle de répétabilité pour Cellules somatiques

Moyenne	Norme
N	20
Ecart type Sr	20.2
Ecart type résiduel Sr%	2.0 %
Objectif	Sr%<6% Conforme

Les résultats de conformité de la répétabilité pour Cellules somatiques résulte de la conformité de du valeur Ecart type résiduel Sr% de qui est 2% inférieure au norme 6% de l'appareil pour avoir des résultats avec une erreur faible (tableau 6).

Tableau 7. Exemple de contrôle journalière Cel 0 et Cel T

Mesures	Cel 0	Cel T
1	0	501
2	0	478
3	0	488
4	0	455
5	0	508
Moyne	0	486
Référence	0	484

Moyen Cel 0 = 0 < 10; Test conforme

D% = ((Moy-Réf) /Réf) *100 = 0.41 % < 5% Test conforme pour Cel T

Test de traçage

Objectif: Tc < ±1% pour MG, MP et urée

Tc < ±2% pour cellules somatiques

3 RESULTATS

Les résultats obtenus par vérification de calibration de FTS pour

MG → Tc = 0.65% < 1%; Pas de contamination

MP → Tc = 0.98% < 1%; Pas de contamination

Urée → Tc = 0.00 < 1%; Pas de contamination

Cellules → Tc = 0.35% < 2 pas de contamination

Les valeurs du tableau 7 et figure 4 montre que l’ancienne calibration est bonne donc on n’a pas besoin d’effectuer une nouvelle calibration → On garde l’ancienne

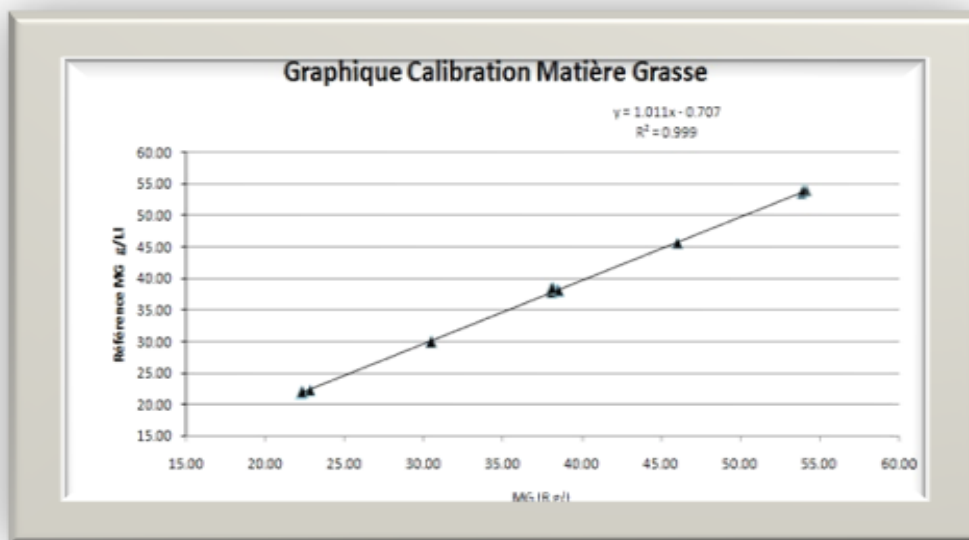


Fig. 4. Calibration MG

La courbe de calibration de matière grasse du lait analysée avec mode opératoire au laboratoire est bien ajusté est significatif avec un coefficient de régression intéressant 99%.

Tableau 8. Vérification de calibration de FTS pour MG

	Résultats	Normes
Ecart type de répétabilité Sr	0.057	≤0.14g/l
Ecart type résiduel Sy,x de la régression	0.225	≤0.25g/l
b pente	1.010	0.98≤b≤1.02
a : ordonnée à l’origine	-0.71	

Puisque tous les résultats de la vérification de calibration de FTS pour MG sont inférieurs aux normes donc on garde la calibration précédente et n’a pas besoin d’effectuer une nouvelle calibration du tableau 8.

Tableau 9. Vérification de calibration de FTS pour MP

	Résultat	Normes
Ecart type de répétabilité Sr	0.057	≤0.14g/l
Ecart type résiduel Sy,x de la régression	0.160	≤0.15g/l
b pente	1.025	0.98≤b≤1.02
a : ordonnée à l'origine	-0.50	

Les résultats de conformité de la répétabilité pour Cellules somatiques résulte de la conformité de du valeur Ecart type résiduel Sr% de qui est 0,160 % supérieure au norme i0,15% de l'appareil pour avoir des résultats avec une erreur importante On peut dire que la Calibration est non valide (tableau 9).

4 SOLUTIONS

On a validé les valeurs de référence sur l'appareil à l'aide de fenêtr suivante :

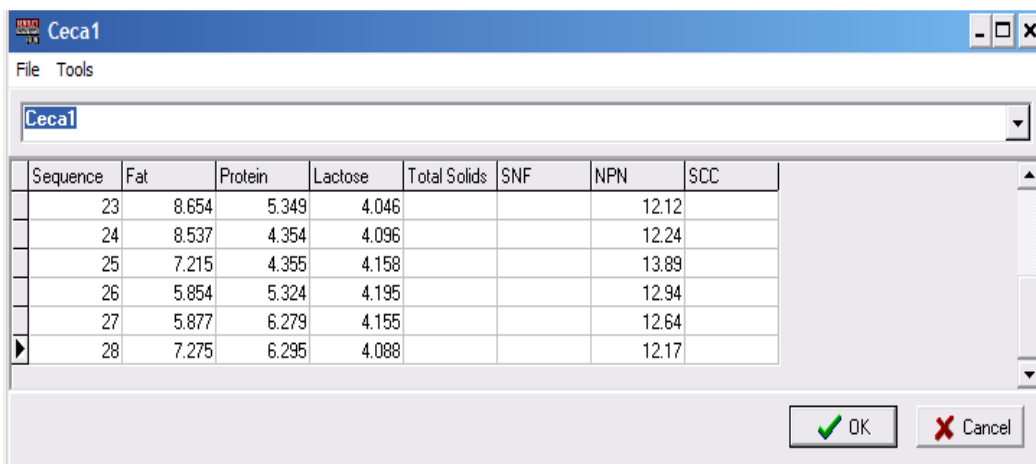


Fig. 5. Schéma résultats de calibration de l'analyseur par les valeurs des références

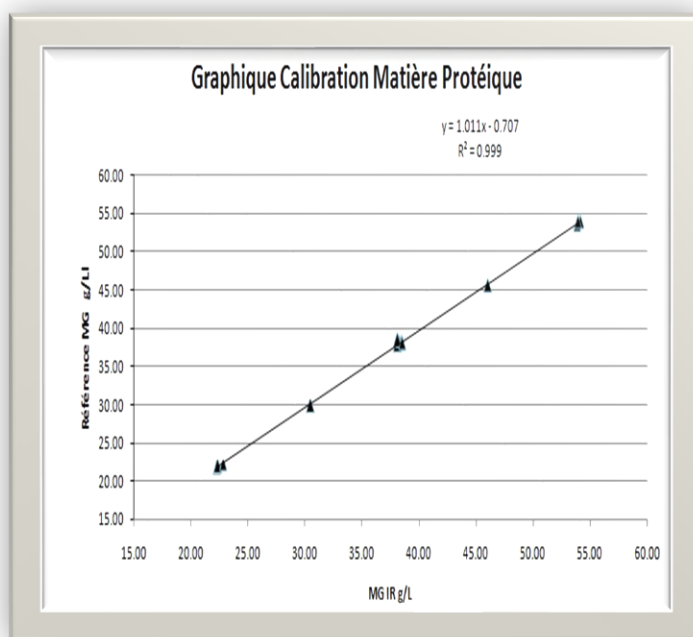


Fig. 6. Schéma calibration de FTS pour MP

La courbe de calibration de matière protéique du lait analysée est bien ajustée et est significative après l'analyse selon les Normes **Cniel Proc IR 07** avec un coefficient de régression intéressant 99% (figure 5 et 6).

On a fait recalculer de nouveau les résultats des analyses des échantillons de la gamme de calibration et on a trouvé le tableau 10 suivant :

Tableau 10. Exemple d'analyse de lait d'une ferme à contrôler

N° D'échantillons	MG (%)	MP (%)	Nombre des cellules /ml *10 ³	Urée (Mg/dl)
1	2.25	2.58	652	6.88
2	2.61	2.4	360	14.21
3	2.82	3.33	1424	4.98
4	3	3.07	1918	7.39
5	2.36	2.75	1788	6.55
6	2.38	2.65	376	5.52
7	3.68	3.43	9999	7.12
Moyenne	2.73	2.89	2359	7.52

Comparaison entre la procédure d'analyse selon les Normes **Cniel Proc IR 07** et le mode opératoire au laboratoire.

On constate les résultats suivants:

- Température des échantillons au moment de l'analyse → Bien respecté
- Mise à zéro → Bien respecté
- Vérification de lait de contrôle (Stabilité d'un jour à l'autre) → bien respecté
- Contrôle de répétabilité → Bien respecté
- Reproductibilité Intra-laboratoire → Non respecté
- Stabilité en cours de la journée de l'analyse → Bien respecté
- Surveillance de l'évolution de biais moyen en fonction de laits → Non respecté
- Le test de Traçage → Bien respecté
- Vérification de l'étalonnage → Bien respecté
- Vérification d'homogénéité du lot d'échantillons de lait de contrôle → Bien respecté

La valorisation du lait pour la transformation en agroalimentaire nécessite une analyse correcte surtout le taux de matières grasses et protéiques c'est dans ce but qu'il faut opter à analyser le lait selon la norme **Cniel Proc IR 07**.

5 CONCLUSION

L'adaptation de la machine spectromètre à transformé de fourrier (FCM) et la machine à cytométrie de flux (FCM) qui ont donné de bonnes performances en comparaison par la méthode manuelle. Surveillance de l'évolution de biais moyen en fonction de laits, Le test de traçage, vérification de l'étalonnage et Vérification d'homogénéité du lot d'échantillons de lait de contrôle sont tous respectés.

REFERENCES

- [1] AOAC International Official Methods of Analysis (17th), AOAC International, Arlington, VA (2000).
- [2] M.B. Hall Determination of starch, including malt oligosaccharides, in animal feeds: Comparison of methods and a method recommended for AOAC collaborative study J. AOAC Int., 92 (2009), pp. 42-49.
- [3] J. Pantoja, J.L. Firkins, M.L. Eastridge, B.L. Hull Effects of fat saturation and source of fiber on site of nutrient digestion and milk production by lactating dairy cows J. Dairy Sci., 77 (1994), pp. 2341-2356.
- [4] P.S. Sukhija, D.L. Palmquist Rapid method for determination of total fatty acid content and composition of feedstuffs and feeds J. Agric. Food Chem., 36 (1988), pp. 1202-1206.
- [5] www.bentleyinstruments.com

Désinfection de l'eau par l'oxygène singulet généré par la photosensibilisation des extraits de plantes

[Water disinfection by singlet oxygen generated by photosensitization of plant extracts]

Teddy Makuba SUNDA¹, Kalulu Muzele TABA¹, Francis ROSILLON², and Bernard WATHELET³

¹Université de Kinshasa, Faculté des Sciences et Technologies, Département de Chimie et Industrie, B.P.190, Kinshasa XI, RD Congo

²Université de Liège, Département des Sciences et Gestion de L'Environnement, Unité Eau et Environnement, 185, Avenue de Longwy, 6700 Arlon, Belgium

³Université de Liège, Unité de Chimie et Biologie Industrielle, Passage des déportés, 2.B-5030, Gembloux, Belgium

Copyright © 2026 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 present study has consisted to the disinfection of water by photosensitization with Bergamot essential oil. The results obtained show negligible inhibition of fecal coliforms in untreated water exposed to light. In contrast, for treated water exposed to light, complete inhibition of fecal coliforms was observed after one hour of exposure. In treated water kept in the dark, no inhibition of fecal coliforms was observed from the beginning to the end of the experiments. The activity observed in this oil is due to 5-methoxypsoralen (MOP-5). In the presence of light, this molecule is excited ($^1\text{MOP-5}^*$). The singlet excited form undergoes an intersystem crossing (transition from the singlet to the triplet state); from the triplet state, the 5-methoxypsoralen ($^3\text{MOP-5}^*$) transfers its energy to triplet oxygen ($^3\text{O}_2$). The triplet oxygen undergoes a transition from a triplet to a singlet state ($^1\text{O}_2^*$). The singlet oxygen generated initiates a series of reactions with biomolecules, particularly the nitrogenous bases of DNA. These photo-oxidation reactions lead to the destruction of microorganisms.

KEYWORDS: Photosensitization, bergamot essential oil, fecal coliforms, 5-methoxy psoralen, singlet oxygen ($^1\text{O}_2$).

RESUME: La présente étude consiste en la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec l'huile essentielle de bergamote. Les résultats obtenus dans cette étude montrent une inhibition négligeable des coliformes fécaux dans l'eau non traitée et exposée à la lumière. Par contre, pour l'eau traitée et exposée à la lumière, on observe une inhibition complète des coliformes fécaux après une heure d'exposition. Dans l'eau traitée et gardée à l'obscurité, aucune inhibition des coliformes fécaux n'a été constatée du début à la fin des expériences. Cette activité remarquable dans cette huile est due au méthoxy-5 psoralène (MOP-5). En présence de lumière, cette molécule passe à l'état excité ($^1\text{MOP-5}^*$). Elle subit par la suite un croisement intersystème (passage de l'état singulet à l'état triplet). A partir de l'état triplet, le méthoxy-5 psoralène ($^3\text{MOP-5}^*$) transfère son énergie à l'oxygène triplet ($^3\text{O}_2$). Ce dernier passe de l'état triplet à l'état singulet ($^1\text{O}_2^*$). L'oxygène singulet ainsi généré initie une série de réactions avec les biomolécules, notamment les bases azotées de l'ADN. Ces réactions de photo-oxydation aboutissent à la destruction des microorganismes présents dans le milieu.

MOTS-CLES: Photosensibilisation, l'huile essentielle de bergamote, coliformes fécaux, méthoxy-5 psoralène, oxygène singulet ($^1\text{O}_2$).

1 INTRODUCTION

Un quart de la population mondiale n'a pas accès à l'eau de bonne qualité [1].

L'absence d'installations adéquates de traitement de l'eau est le principal problème lié au manque d'eau de bonne qualité. Ce problème peut être résolu par la promotion de traitement de l'eau au niveau familial ou individuel. Le traitement de l'eau au niveau

individuel consiste à faire bouillir de l'eau ou à faire usage des produits chlorés. Faire bouillir de l'eau exige beaucoup d'énergie que le monde rural trouve dans le bois. Ceci peut conduire à la déforestation. Les méthodes courantes de désinfection utilisant le chlore et ses dérivés ainsi que l'ozone sont souvent coûteuses et inaccessibles pour les populations déshéritées. La désinfection solaire de l'eau, une ancienne technique, simple, devrait être une alternative pour la désinfection de l'eau dans les pays en développement. Malheureusement, l'efficacité de cette méthode est mise en doute à cause du manque d'indicateur d'exposition de l'eau au soleil, et surtout à des variations des conditions climatiques. Néanmoins, l'efficacité de celle-ci peut être améliorée par l'usage de l'oxygène singulet, via la photosensibilisation.

Certaines substances dites photosensibilisatrices, en présence d'une source lumineuse, sont capables de générer l'oxygène singulet. Une fois généré, l'oxygène singulet endommage les microorganismes présents dans le milieu [2], [3], [4], [5], [6].

Certaines plantes utilisées dans la pharmacopée traditionnelle pour soigner les infections microbiennes et parasitaires sont supposées réagir par un mécanisme du type stress oxydatif. Ces plantes sont capables de générer l'oxygène singulet, via la photosensibilisation [7], [8].

Lors de l'étude de la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec les extraits de plantes, Taba et *al.* ont montré que les extraits aqueux de *Cassia alata*, *Cassia occidentalis* et *Carica papaya* avaient un effet photosensibilisateur [7]. Malheureusement, cette activité n'est significative que lorsque le milieu est saturé en oxygène (barbotage). Pour résoudre ce problème, une nouvelle série de plantes dont l'activité photosensibilisatrice est indépendante de la saturation du milieu en oxygène a été étudiée (*Citrus limonum*, *Citrus reticulata* et *Citrus bergamia*) [9]. Lors de cette étude, il a été remarqué une activité élevée de *Citrus bergamia* par rapport aux deux autres plantes précitées. Nous poursuivons cette étude en étudiant la photoréactivité de l'huile essentielle de *Citrus bergamia* (bergamote) dans l'ultra-violet proche (320-400 nm) et le comportement des microorganismes après la phase de désinfection. Le mécanisme de destruction des microorganismes est également discuté.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 L'EAU POLLUEE

L'eau à traiter provenait de la rivière Semois, en Belgique. Cette eau contenait 25.10^3 UFC coliformes fécaux / 100 ml.

2.2 EXTRACTION DE L'HUILE ESSENTIELLE DE BERGAMOTE

L'huile essentielle de bergamote a été extraite des zestes par entraînement à la vapeur.

2.3 ANALYSE SPECTROMETRIQUE DE L'HUILE ESSENTIELLE DE BERGAMOTE

L'analyse de l'huile essentielle de bergamote a été réalisée par la spectrométrie de masse (S.M.). La méthode APCI+ (Atmospheric Pressure Chemical Ionisation, Positive mode) a été utilisée.

2.4 PREPARATION DES ECHANTILLONS D'EAU

Les boîtes en verre de pyrex de 100 ml ont été utilisées comme réacteurs. La concentration de 0.05 ml / 50 ml d'eau (1 ml d'huile essentielle / 1 litre d'eau) d'huile essentielle de bergamote a été utilisée pour les expériences. Un lot constitué d'échantillons d'eau traités et un autre lot constitué d'échantillons non traités (blancs) ont été exposés à la radiation ultraviolette (lampe UV, marque B-100 AP, émettant entre 320-400 nm, avec un maximum à 365 nm). Cette lampe a été utilisée pour éviter les fluctuations de l'intensité lumineuse des rayons solaires. Aussi, l'huile essentielle de bergamote contient des molécules photoactives qui absorbent dans cette zone (320-400 nm). En outre, cette zone est contenue dans le spectre solaire qui touche la surface de la terre. Les expériences ont été réalisées avec une intensité lumineuse de $8900 \mu\text{W}.\text{Cm}^{-2}$. Celle-ci a été mesurée avec un pyranomètre CMP3 (Kipp & Zoonen). La lampe a été positionnée à 25 cm des échantillons d'eau. Un autre lot constitué d'échantillons d'eau traités avec l'huile essentielle de bergamote a été gardé à l'obscurité. A 0, 10, 20, 30, 60 et 120 minute (s), des prélèvements sont effectués dans chaque lot pour la mise en culture. Ces expériences ont été réalisées à trois reprises. Les différents points repris dans chaque figure représentent la moyenne de trois mesures. Pour chaque série de données, l'erreur standard a été calculée (Moyenne \pm SD).

2.5 ANALYSES BACTERIOLOGIQUES

Les analyses bactériologiques ont été réalisées par la mise en culture sur milieu gélosé Rapid'E Coli. Après la mise en culture, on incube à 44,5°C pendant 24 heures. Après incubation, les colonies sont dénombrées les unes après les autres.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 CARACTERISATION DE L'HUILE ESSENTIELLE DE BERGAMOTE

L'analyse spectrométrique de l'huile essentielle de bergamote a révélé plusieurs composés (voir figure 1), parmi lesquels le limonène (136: M+1), l'alpha-pinène (137: M+1), l'antranilate de méthyle (M+1: 166) et le méthoxy-5 psoralène (217: M+1). De tous ces composés, le méthoxy-5 psoralène est cité par plusieurs auteurs comme molécule à activité photosensibilisatrice [10], [11], [12], [13], [14].

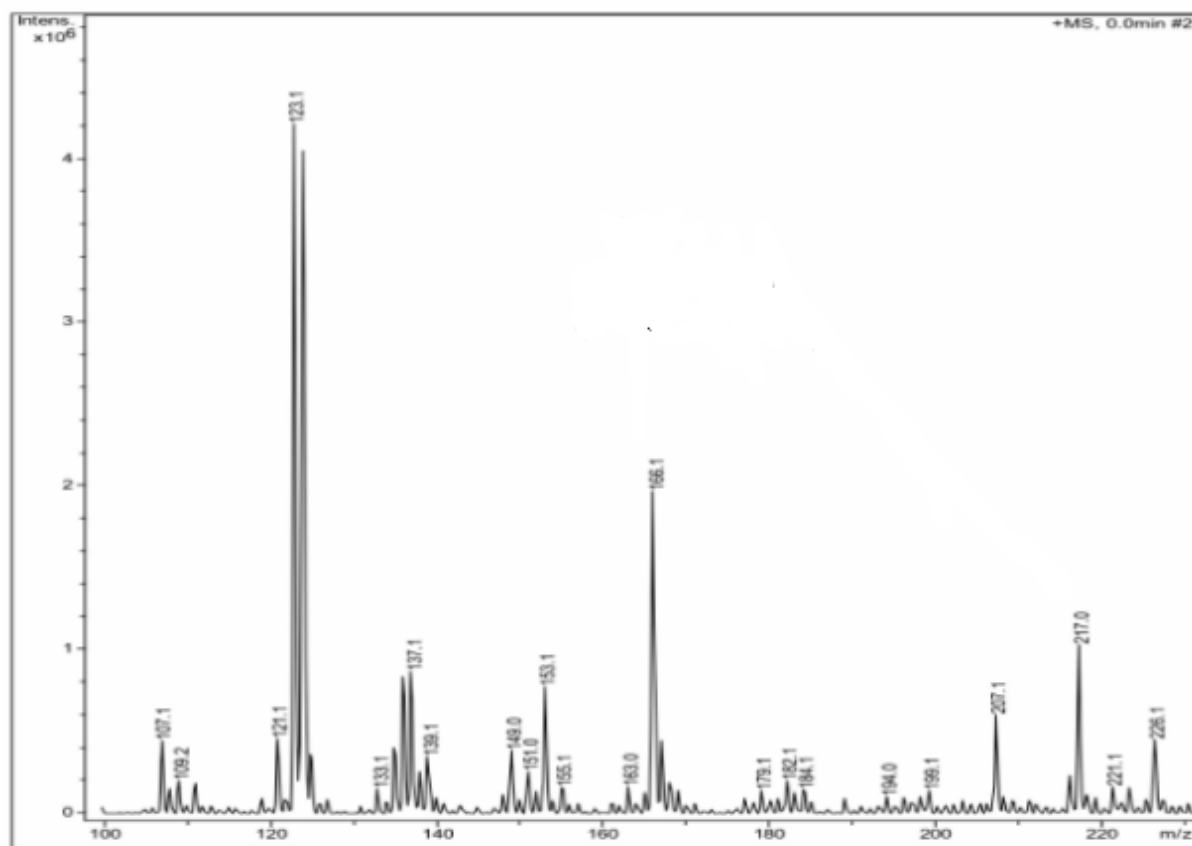


Fig. 1. Spectre de masse de l'huile essentielle de bergamote (LC/MS)

3.2 DESINFECTION DE L'EAU AVEC L'HUILE ESSENTIELLE DE BERGAMOTE: PHOTOSENSIBILISATION ET POST PHOTOSENSIBILISATION

3.2.1 PHOTOSENSIBILISATION

Les échantillons d'eau traités avec l'huile essentielle de bergamote ont été exposés à la lumière pendant deux heures, puis gardés à l'obscurité pendant 24 heures. Les résultats de cette étude sont repris dans la figure 2.

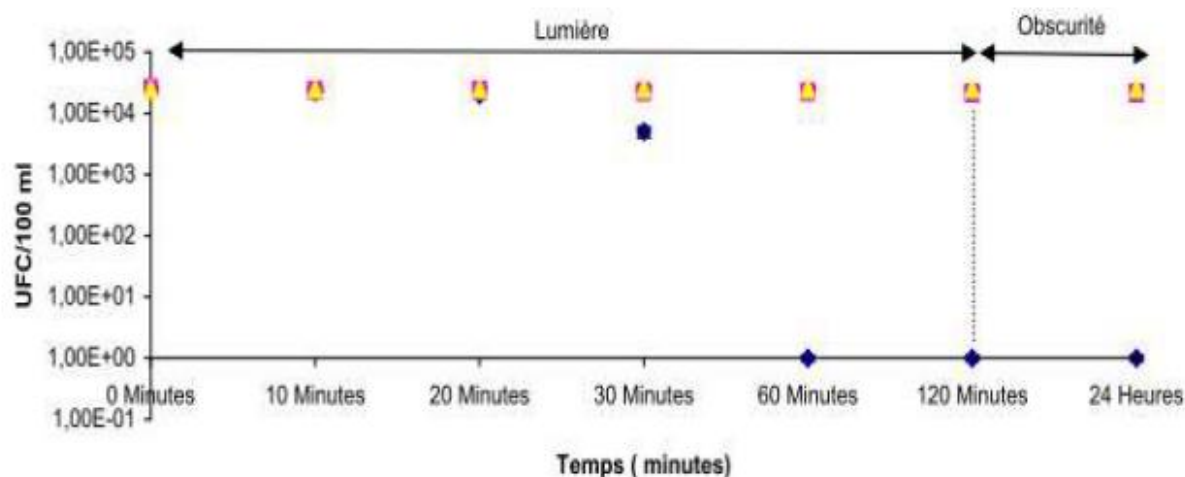


Fig. 2. Abattement des coliformes fécaux en fonction du temps dans l'eau traitée avec l'huile de bergamote

- (■) Eau non traitée et exposée à la lumière pendant deux heures, puis gardée à l'obscurité pendant 24 heures.
- (◆) Eau traitée avec l'huile de bergamote et exposée à la lumière pendant deux heures, puis gardée à l'obscurité pendant 24 heures.
- (▲) Eau traitée avec l'huile de bergamote et gardée en permanence à l'obscurité

L'eau traitée avec l'huile essentielle de bergamote et exposée à la lumière a montré de très bons résultats (voir figure 2). En effet, après 60 minutes d'exposition, il a été constaté un abattement de plus de 4 unités logarithmiques (inhibition complète des coliformes fécaux). Aucune inhibition significative n'a été notée après 60 minutes dans l'eau non traitée et exposée à la lumière (témoin). Dans l'eau traitée avec l'huile de bergamote et gardée à l'obscurité, aucune inhibition n'a été notée du début à la fin des expériences. Ces observations laissent supposer que l'action conjuguée de l'huile essentielle de bergamote et de la lumière induit une réaction qui conduit à l'inhibition des coliformes fécaux présents dans l'eau. Cette réactivité induite par l'huile essentielle de bergamote est essentiellement due à la présence de méthoxy-5 psoralène (voir figure 1, pic (M+1: 217)). Cette molécule est de plus en plus utilisée pour soigner certaines maladies de la peau, notamment le psoriasis et le vitiligo. Celle-ci est aussi utilisée, à cause de sa photoréactivité, en photothérapie PUVA (Psoralène-UVA thérapie). Ce traitement consiste à administrer par voie orale un médicament à base de méthoxy-5 psoralène et à exposer par la suite le patient sous la lumière solaire ou ultraviolette.

Le méthoxy-5 psoralène est capable de réagir avec l'ADN de la cellule bactérienne avec lequel il forme un complexe à l'obscurité. Ce complexe n'a pas d'effet biologique significatif sur l'ADN. Mais en présence des UVA (320-400nm), il se développe une réaction de photoaddition (2+2) conduisant à la formation d'un pont cyclobutane entre le méthoxy-5 psoralène et les bases azotées de l'ADN (voir figure 3). Celle-ci aboutit à l'inhibition de la duplication de l'ADN et la transcription de l'ARN [15], [16], [17], [18], [19]. Ces perturbations entraînent par la suite la mort de la cellule bactérienne. Cette réaction, appelée photoréaction du type I, est favorisée en absence d'oxygène.

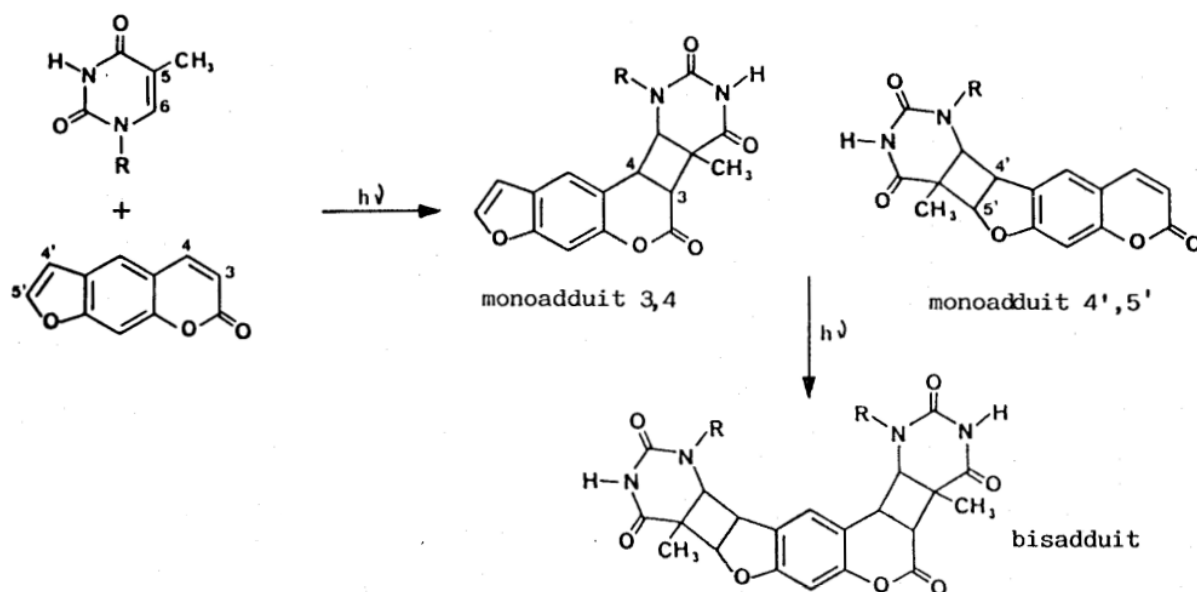


Fig. 3. Photoréaction entre le psoralène et la thymine aboutissant au pont cyclobutane

Par contre, en présence de l'oxygène, le méthoxy-5 psoralène conduit à une photoréaction du type II. En effet, en présence d'oxygène, le méthoxy-5 psoralène passe par l'état triplet en subissant une conversion intersystème (CIS). Par la suite, il y a transfert d'énergie triplet-triplet de méthoxy-5 psoralène triplet ($^3\text{MOP-5}^*$) vers l'oxygène fondamental triplet ($^3\text{O}_2$). Ce dernier passe de l'état fondamental, triplet, à l'état excité, singulet ($^1\text{O}_2^*$). L'oxygène singulet, puissant électrophile, attaque et endommage les molécules riches en électrons, notamment les bases azotées de l'ADN [20], [21], [22], [23], [24], [25]. Il s'en suit une mort certaine de la cellule bactérienne [26], [27], [28], [29], [30], [31]. Le mécanisme de l'oxydation de guanine, une des bases azotées de l'ADN, par l'oxygène singulet est présenté dans la figure 4.

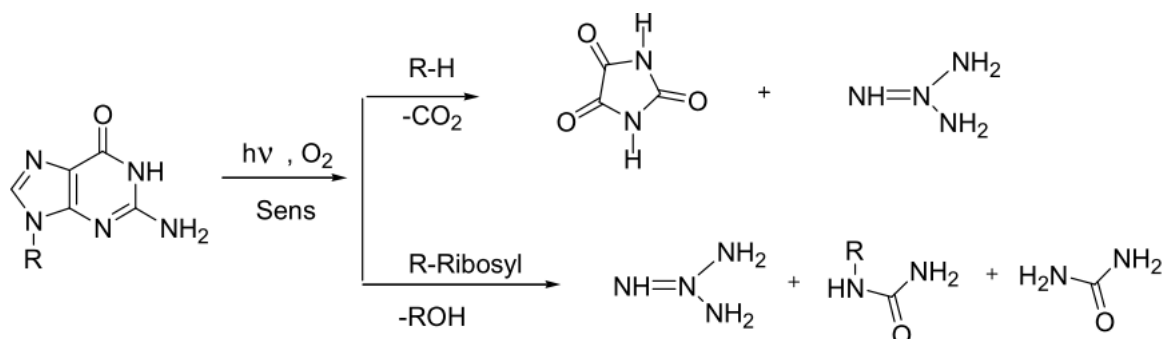


Fig. 4. Mécanisme de photooxydation de guanine

3.2.2 POST PHOTOSENSIBILISATION

Les échantillons d'eau traités avec l'huile de bergamote et exposés à la lumière pendant deux heures, puis gardés à l'obscurité pendant 24 heures ont été analysés pour vérifier si dès l'arrêt du processus, il n'y a pas de réactivation possible des coliformes fécaux. Les résultats de ces analyses sont repris dans la figure 5.

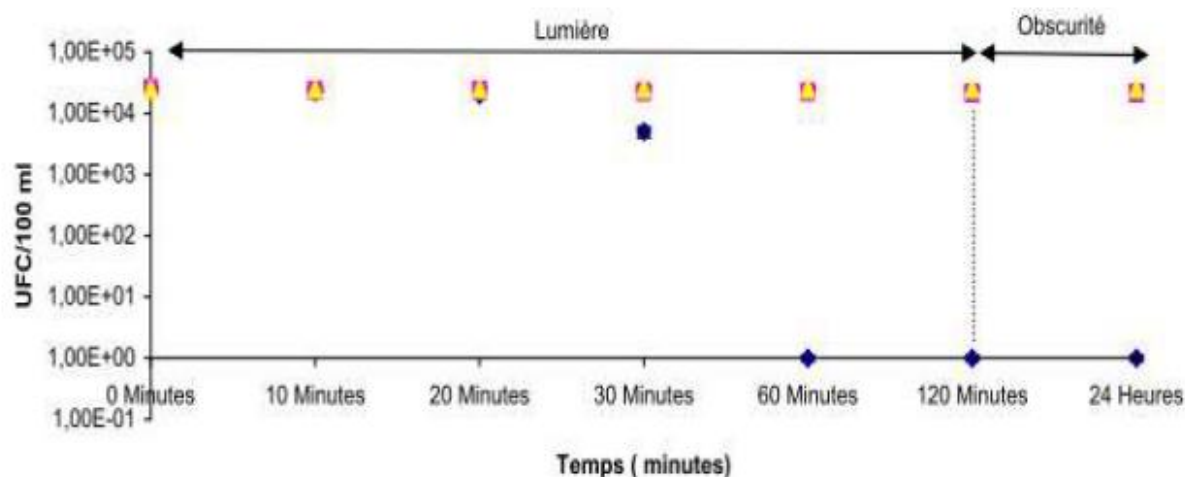


Fig. 5. Eau traitée avec l'huile essentielle de bergamote et exposée à la lumière pendant deux heures, puis gardés à l'obscurité pendant 24 heures

- (■) Eau non traitée et exposée à la lumière pendant deux heures, puis gardée à l'obscurité pendant 24 heures.
- (◆) Eau traitée avec l'huile de bergamote et exposée à la lumière pendant deux heures, puis gardée à l'obscurité pendant 24 heures.
- (▲) Eau traitée avec l'huile de bergamote et gardée en permanence à l'obscurité

Aucune réapparition des coliformes fécaux n'a été remarquée après la phase de photosensibilisation. Ceci montre que l'action conjuguée de lumière et de l'huile essentielle de bergamote conduit à la destruction définitive des coliformes fécaux.

3.3 DESINFECTION DE L'EAU DANS LES ECHANTILLONS NON TRAITES ET EXPOSES A LA LUMIERE: PHOTOLYSE ET POST PHOTOLYSE

3.3.1 PHOTOLYSE

Les résultats de tests des échantillons d'eau non traités et exposés à la lumière sont repris dans la figure 6.

Un abattement de l'ordre de 0,2 unité logarithmique a été noté. Cette inhibition constatée pourrait se justifier par l'action directe des UVA sur les coliformes fécaux présents dans l'eau.

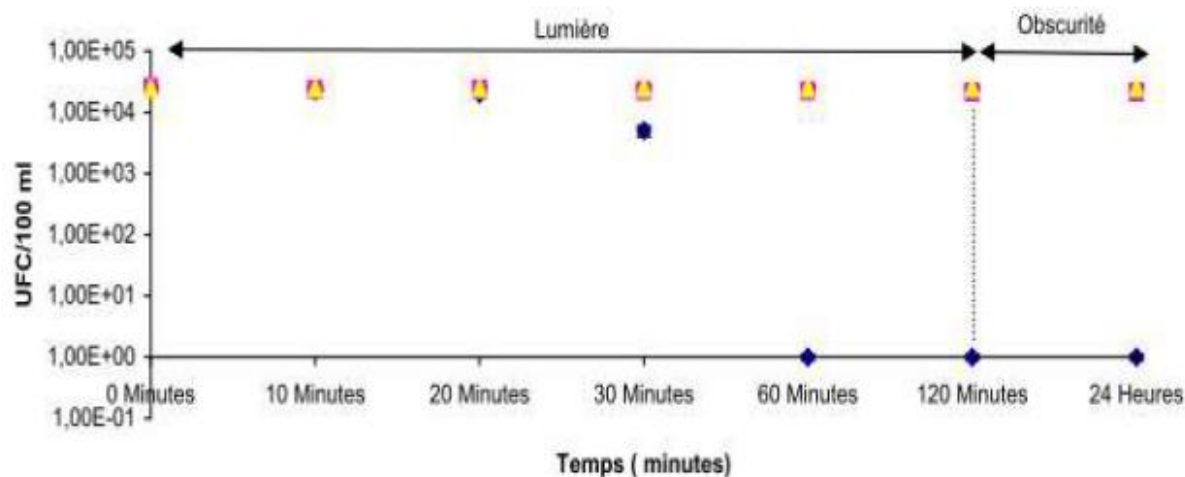


Fig. 6. Evolution des échantillons d'eau exposée à la lumière pendant deux heures, puis gardés à l'obscurité pendant 24 heures

- (■) Eau non traitée et exposée à la lumière pendant deux heures, puis gardée à l'obscurité pendant 24 heures.
- (◆) Eau traitée avec l'huile de bergamote et exposée à la lumière pendant deux heures, puis gardée à l'obscurité pendant 24 heures.

3.3.2 POST PHOTOLYSE

Les résultats de tests de désinfection de l'eau non traitée, exposée à la lumière pendant 2 heures et gardée par la suite à l'obscurité pendant 24 heures sont repris dans la figure 6.

Une légère augmentation des coliformes fécaux de l'ordre de 0,02 unité logarithmique a été notée à l'obscurité pour les échantillons d'eau non traités et exposés à la lumière. Cette augmentation pourrait se justifier par la réparation de l'ADN de la cellule bactérienne dans la phase d'obscurité. En effet, après avoir subi des dommages par l'action directe des UVA, si ces dommages ne sont pas graves, l'ADN peut subir une réparation et retrouver son état initial.

4 CONCLUSION

La présente étude était axée sur la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec l'huile essentielle de bergamote. Les résultats trouvés dans ce travail montrent une inhibition complète des coliformes fécaux présents dans le milieu après une heure d'exposition à la lumière. En ce qui concerne les échantillons d'eau non traitée et exposée à la lumière, nous avons constaté une inhibition négligeable du début à la fin des expériences. Pour ce qui est des échantillons d'eau traitée et gardée à l'obscurité, aucune inhibition n'a été notée du début à la fin des expériences. Ceci montre que l'action conjuguée de l'huile essentielle de bergamote et de lumière conduit à la destruction des coliformes fécaux présents dans l'eau. Aucune réactivation des coliformes fécaux n'a été constatée dans l'eau traitée et exposée à la lumière 24 heures après les analyses.

Les études supplémentaires s'avèrent nécessaires notamment en ce qui concerne la détermination du rendement quantique de formation du triplet de méthoxy-5 psoralène à partir de son état singulet. La durée de vie de la population du premier état triplet (T_1) du MOP-5 doit également être déterminée

REFERENCES

- [1] Organisation des Nations Unies, Semaine mondiale de l'eau, Août 2025.
- [2] M. Emilia, J. Hernandez, F. Manjon, D. G. Fresnadillo, G. Orellana, Solar water disinfection by singlet oxygen photogenerated with polymer-supported Ru (II) sensitizers, *Solar Energy*, vol. 80, pp 1382–1387, 2006.
- [3] F. Majon, L. Villen, D. Fresnadillo, G. Orellana, On the Factors Influencing the Performance of Solar Reactors for water disinfection with Photosensitized Singlet Oxygen, *Environmental Science & Technology*, pp 1-7, 2007.
- [4] A.T. Cooper, D.Y. Goswami, Evaluation of methylene blue and rose bengal for dye sensitized solar water treatment, *J. Solar Energy Eng.*, vol.124, pp 305–310, 2002.
- [5] E.C. Ryberg, J. Knight, J.H. Kim, Farm-to-Tap water treatment: Naturally-sourced photosensitizers for enhanced solar disinfection of drinking water, *Engg.*, vol. 1, pp 86-99, 2021.
- [6] G. Orellana, M.E. Jimenez-Hernandez, D. Garcia-Fresnadillo, Material fotocatalítico y método para la desinfección de agua, *Photocatalytic Material and Method for Water Disinfection*, vol. 2, pp 226-576, 2005.
- [7] K. M. Taba, E. Luwenga, L'effet de la photosensibilisation des extraits de plantes dans la désinfection de l'eau, *Med. Fac. Landbouww.*, Univ.Gent, pp 177-181, 1999.
- [8] M. Sunda, Contribution à l'étude de la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec des extraits de plantes, Thèse de Doctorat, Université de Liège, 2012.
- [9] M. Sunda., F. Rosillon, K.M. Taba, N. Lami, Désinfection de l'eau par photosensibilisation avec les huiles essentielles de *Citrus bergamia*, *Citrus reticulata* et *Citrus limonum*, Congrès international du Gruttee, 8, Nancy, France, 2009.
- [10] F. Bordin, Photochemical and photobiological properties of furocoumarins and homologous drug, *International Journal of Photoenergy*, vol. 1, pp 1-6, 1999.
- [11] A. Anders, W. Popper, C.Herkt; E.Niemann, Investigation on the mechanism of photodynamic action of different psoralens with DNA, *Biophys. Struct.*, Mech 10, pp 11-30, 1983.
- [12] K.D. Zacher, H. Ippen, Contact dermatitis caused by bergamot oil, *Derm Beruf umwelt*, 32 (3), pp.95, 1984.
- [13] M. Naganuma, S. Hirose, Y. Nakayama, K. Nakajima, T. Someya; A study of the phototoxicity of lemon oil, *Dermatological Research*, 278, pp 31-36, 1985.
- [14] M.A. Pathak and P.C. Joshi, The nature and molecular basis of cutaneous photosensitivity to psoralen and coal., *J. Invest Dermatol.*, 80, pp 66-74, 1983.
- [15] C.Courseille, B. Georges, B. Jean, Etude des interactions Psoralène Acides Nucléiques, *Acta Cryst.*, B38, pp 1252-125, 1982.
- [16] J.L. Decout, H.Georges, J. Lhomme, Synthetic models related to DNA-intercalating molecules-highly selective and reversible photoreaction between the thymine and psoralen rings, *Journal de Chimie*, 8, pp 433, 1984.
- [17] M. Sunda, F. Rosillon, K.M. Taba, B. Wathelet, Désinfection de l'eau par photosensibilisation avec le méthoxy-5 psoralène fixé sur le polystyrène, *Afrique Science*, vol.17, pp 127-136, 2020.
- [18] V.Machet, L.Vaillant, Dermatologie en gynécologie obstétrique, 2^{ème} éd., Masson, 157p., 2006.
- [19] M. Cain, H.Damman., R.Lue, C. Yoon, Découvrir la Biologie, De boeck, 241p., 2006.

- [20] P. Douzou, Singlet oxygen as oxidizing intermediate and photodynamic action, *Res. Prog. Org. Biol. Med. Chem.*, 3, pp. 37–47, 1972.
- [21] R.M. Tyrrell, Role for singlet oxygen in biological effects of ultraviolet A radiation, *Methods Enzymol.*, 319, pp 290–296, 2000.
- [22] H. Sies, C.F.M. Menck, Singlet oxygen induced DNA damage, *Mutat. Res.*, 275, pp 367–375, 1992.
- [23] B. Epe, J. Hegler, D. Wild, Singlet oxygen as an ultimately reactive species in *Salmonella typhimurium* DNA damage induced by methylene blue visible-light, *Carcinogenesis*, 10, pp. 2019–2024, 1989.
- [24] E. vanden, J.T. Lutgerink, M.V.M. Lafleur, H. Joenje, J. Retel, The formation of one-G deletion as a consequence of singlet oxygen-induced DNA damage, *Mutat. Res.*, 309, pp. 45–52, 1994.
- [25] S.Y. Kim, Control of singlet oxygen-induced oxidative damage in *Escherichia coli*, *J. Biochem. Mol. Biol.*, 35, pp. 353–357, 2002.
- [26] F. Käsermann, C. Kempf, Inactivation of enveloped viruses by singlet oxygen thermally generated from a polymeric naphthalene derivative, *Antivir. Res.*, vol. 38, pp 55–62, 1998.
- [27] Aquacat, L'utilisation de l'oxygène singulet pour la désinfection de l'eau, Cordis, Octobre 2008.
- [28] M. Sunda, F. Rosillon, K.M. Taba, Contribution à l'étude de la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec les extraits de plantes, *European Journal of Water Quality*, vol. 39, pp 199- 209, 2008.
- [29] M.Sunda, F. Rosillon, K.M. Taba, B. Wathelet, Contribution à l'étude de la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec les extraits de plantes, *Compte rendu de chimie*, vol. 19, pp 827-831, 2016.
- [30] M.C. Derosa and R.J. Crutchley, Photosensitized singlet oxygen and its applications, *Coordination Chemistry reviews*, 233-234, pp 351-371, 2002.
- [31] M.Sunda, F. Rosillon, K.M. Taba, B. Wathelet, Contribution à la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec des extraits de plantes, *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 25, pp 843-850, 2019.

Hyphomycètes aquatiques de quelques cours d'eau de Guinée (Afrique de l'Ouest)

[Aquatic Hyphomycetes from Selected Streams in Guinea (West Africa)]

Nathalie Sia Doumbou Tenkiano^{1,2} and Eric Chauvet³

¹Département de Biologie, Faculté des Sciences de la Nature, Université Julius Nyerere de Kankan, BP 209, Kankan, Guinea

²Centre National de Documentation Environnementale de Guinea (CNDE), Kindia, Guinea

³Laboratoire d'Ecologie Fonctionnelle et Environnement, Université de Toulouse 3 Paul Sabatier, CNRS, Toulouse, France

Copyright © 2026 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: Aquatic hyphomycetes play a major role in the functioning of freshwater ecosystems by participating in the decomposition of organic matter and the recycling of nutrients. This study provides the first documentation of their diversity in streams of Guinea. Between May and July 2015, samples were collected from foam and filtered water, and taxa were observed and identified based on morphological characteristics. A total of 30 species are recorded, including both cosmopolitan taxa and species with tropical distribution. Nine of them represent new records for the African continent. These findings enhance current knowledge of aquatic fungal biodiversity in Guinea and establish a reference framework for further research on the seasonal dynamics and ecological roles of these communities in Guinea and across West Africa.

KEYWORDS: fungi, freshwater ecosystems, microbial diversity, tropical biogeography, West Africa.

RESUME: Les hyphomycètes aquatiques jouent un rôle majeur dans le fonctionnement des écosystèmes d'eau douce, en participant à la décomposition de la matière organique et au recyclage des nutriments. Cette étude constitue la première documentation de leur diversité dans les cours d'eau de Guinée. Entre mai et juillet 2015, des échantillons ont été collectés à partir d'écumes et d'eau filtrée, puis les taxons ont été observés et identifiés sur la base de leurs caractères morphologiques. Trente espèces sont recensées, comprenant à la fois des taxons cosmopolites et des espèces à distribution tropicale. Neuf d'entre elles représentent des signalements nouveaux pour le continent africain. Ces résultats enrichissent les connaissances sur la biodiversité fongique aquatique en Guinée et établissent une base de référence pour des recherches complémentaires sur la dynamique saisonnière et le rôle écologique de ces communautés, en Guinée comme en Afrique de l'Ouest.

MOTS-CLEFS: champignons, écosystèmes d'eau douce, diversité microbienne, biogéographie tropicale, Afrique de l'Ouest.

1 INTRODUCTION

Les hyphomycètes aquatiques sont des champignons mitosporiques qui colonisent les débris végétaux submergés dans les cours d'eau et jouent un rôle central dans la décomposition de la matière organique et le recyclage des nutriments (Gessner & Chauvet, 1994) Leur diversité et leur distribution dépendent de la nature des substrats, des caractéristiques physico-chimiques de l'eau et des conditions climatiques (Chauvet & Suberkropp, 1998) ce qui en fait de bons indicateurs de la qualité écologique des rivières.

La majorité des travaux sur les hyphomycètes aquatiques ont été réalisés en zones tempérées (Chauvet, 1990; Shearer & Webster, 1985) et restent très limités en milieu tropical, en particulier d'Afrique. Des observations ont été rapportées pour

certaines régions d'Afrique du Nord (Chergui, 1990; Maamri et al., 1998), Afrique Centrale (Fisher & Spooner, 1987; Chen et al., 2000) et en Afrique du Sud (Greathead, 1961; Sinclair & Eicker, 1983; Hyde et al., 1998). En Afrique de l'Ouest, les données disponibles proviennent des observations faites au Nigeria, Ghana et Sierra Leone (Ingold, 1956; Ingold, 1959; Dixon, 1959; Le'-John, 1965) mais aucune donnée n'était jusque-là disponible pour la Guinée.

La Guinée, de par sa diversité écosystémique allant des rivières forestières aux cours d'eau de savane, offre des habitats propices à la vie des Hyphomycètes aquatiques. Étudier leur diversité est donc essentiel pour comprendre leur rôle écologique et leur distribution régionale.

L'objectif de cette étude était de documenter la diversité des hyphomycètes aquatiques dans quelques cours d'eau guinéens en fournissant les premiers relevés de ces communautés en Guinée. Ce travail pionnier constitue une base pour les recherches futures sur la dynamique et leur rôle dans le fonctionnement des cours d'eau guinéens.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 SITES D'ÉTUDE

L'étude a été menée dans deux régions naturelles de la République de Guinée: la Guinée Forestière et la Haute-Guinée. Les sites d'échantillonnage sont situés dans les cours d'eau de la forêt classée de Ziama (Guinée Forestière) et dans le bassin de la rivière Milo (Haute-Guinée). Pour chaque zone, cinq sites ont été sélectionnés le long de petits cours d'eau. Ces sites présentent des habitats variés avec des débits, substrats et couvertures végétales différents, offrant des conditions propices au développement des hyphomycètes aquatiques. Les caractéristiques générales des sites (localisation, contexte écologique) sont décrites dans les travaux antérieurs (Tenkiano & Chauvet, 2017; 2018).

2.2 ECHANTILLONNAGE

Deux méthodes complémentaires ont été utilisées: le prélèvement d'écumes à l'aide d'un petit passoir dans les zones de formation d'écume, conservées dans du F.A.A (formol-aldéhyde-acétate), et la filtration de 300 ml d'eau sur des membranes de 5 µm à l'aide d'une pompe, les filtres étant colorés au bleu trypan et conservés dans des boîtes de Pétri (Gessner et al., 2003)

2.3 TRAITEMENT DES ÉCHANTILLONS ET IDENTIFICATION

Au laboratoire, les filtres ont été colorés au bleu Trypan, observés entre lame et lamelle au microscope optique ×200. Les spores ont été identifiées selon leurs caractères morphologiques en se référant aux descriptions originales et aux clés taxonomiques disponibles d'Ingold (1958), Webster & Descals (1981) et Chauvet (1990). Pour certaines espèces rares ou peu connues, des références complémentaires ont été exploitées (Nawawi, 1985; Alasoadura, 1968)

2.4 TRAITEMENT DES DONNÉES

Les résultats sont présentés sous forme de liste des espèces présentes dans les cours d'eau étudiés. Compte tenu du caractère exploratoire de l'étude et de la limitation à une seule campagne de prélèvements, aucune analyse quantitative n'a été réalisée. Pour chaque spore identifiée, le nom scientifique et l'auteur taxonomique correspondant et la distribution connue sont indiqués

3 RÉSULTATS

Un total de 30 espèces d'hyphomycètes aquatiques a été identifié (Tableau 1). Certaines espèces sont cosmopolites, d'autres à distribution tropicale. Plusieurs étaient déjà observées en Afrique de l'Ouest, d'autres sont nouvelles pour le continent. Les différentes spores sont illustrées aux figures 1 et 2.

Le tableau 1 présente la liste des hyphomycètes aquatiques identifiés. Pour chaque espèce, l'auteur taxonomique correspondant, la distribution biogéographique et le statut en Afrique, sont indiqués.

Tableau 1. Liste des hyphomycètes aquatiques identifiés

Espèces	Auteur taxonomique	Distribution globale	Statut en Afrique
<i>Anguillospora longissima</i>	(Sacc. & Syd.) Ingold	Cosmopolite	Déjà signalée
<i>Arbusculina irregularis</i>	(Petersen) Marvanova and Descals	Tropicale	Déjà signalée
<i>Articulospora tetracladia</i>	Ingold	Tropicale	Déjà signalée
<i>Beltrania rhombica</i>	Penzig	Tropicale	Nouvelle pour l'Afrique
<i>Campylospora chaetoclada</i>	Ranzoni	Cosmopolite	Déjà signalée
<i>Campylospora filicladia</i>	Nawawi	Tropicale	Nouvelle pour l'Afrique
<i>Camposporium pellucidum</i>	(Grove) Hughes	Tropicale	Nouvelle pour l'Afrique
<i>Camposporium antennatum</i>	Harkness	Tropicale	Déjà signalée
<i>Clavariana aquatica</i>	Nawawi	Tropicale	Nouvelle pour l'Afrique
<i>Clavariopsis aquatica</i>	De Wildeman	Cosmopolite	Déjà signalée
<i>Clavariopsis brachycladia</i>	Tubaki	Tropicale	Nouvelle pour l'Afrique
<i>Flabellospora verticillata</i>	Alasoadura	Tropicale	Déjà signalée
<i>Flabellospora acuminata</i>	Descals	Cosmopolite	Nouvelle pour l'Afrique
<i>Helicomycetes colligatus</i>	Moore	Tropicale	Nouvelle pour l'Afrique
<i>Helicomycetes torquatus</i>	Lane & Shearer	Tropicale	Déjà signalée
<i>Isthmotricladia gombakiensis</i>	Nawawi	Tropicale	Déjà signalée
<i>Lateriramulosa uni-inflata</i>	Matsushima	Cosmopolite	Déjà signalée
<i>Lemonniera centrosphaera</i>	Marvanová	Cosmopolite	Déjà signalée
<i>Lunulospora curvula</i>	Ingold	Cosmopolite	Déjà signalée
<i>Lunulospora cymbiformis</i>	Miura	Tropicale	Déjà signalée
<i>Phalangispora constricta</i>	Nawawi & Webster	Tropicale	Déjà signalée
<i>Speirospora pedatospora</i>	Tubaki	Tropicale,	Déjà signalée
<i>Speirospora irregularis</i>	(R.H. Petersen) Marvanová & Descals	Tropicale	Déjà signalée
<i>Triscelophorus acuminatus</i>	Nawawi	Tropicale	Déjà signalée
<i>Triscelophorus monosporus</i>	Ingold	Cosmopolite	Déjà signalée
<i>Trifurcospora irregularis</i>	(T. Matsush.) Ando & Tubaki	Cosmopolite	Nouvelle pour l'Afrique
<i>Trisulcosporium acerinum</i>	H.J. Huds. & B. Sutton	Tropicale	Déjà signalée
<i>Variocladium giganteum</i>	(Iqbal) Descals & Marvanová	Cosmopolite	Nouvelle pour l'Afrique
<i>Varicosporium elodeae</i>	Kegel	Cosmopolite	Déjà signalée
<i>Varicosporium tricladiiforme</i>	Roldán & Marvanová	Cosmopolite	Déjà signalée

Les figures 1 et 2, présentent les Planches A et B, illustrant les différentes formes de spores identifiées dans les cours d'eau étudiés.

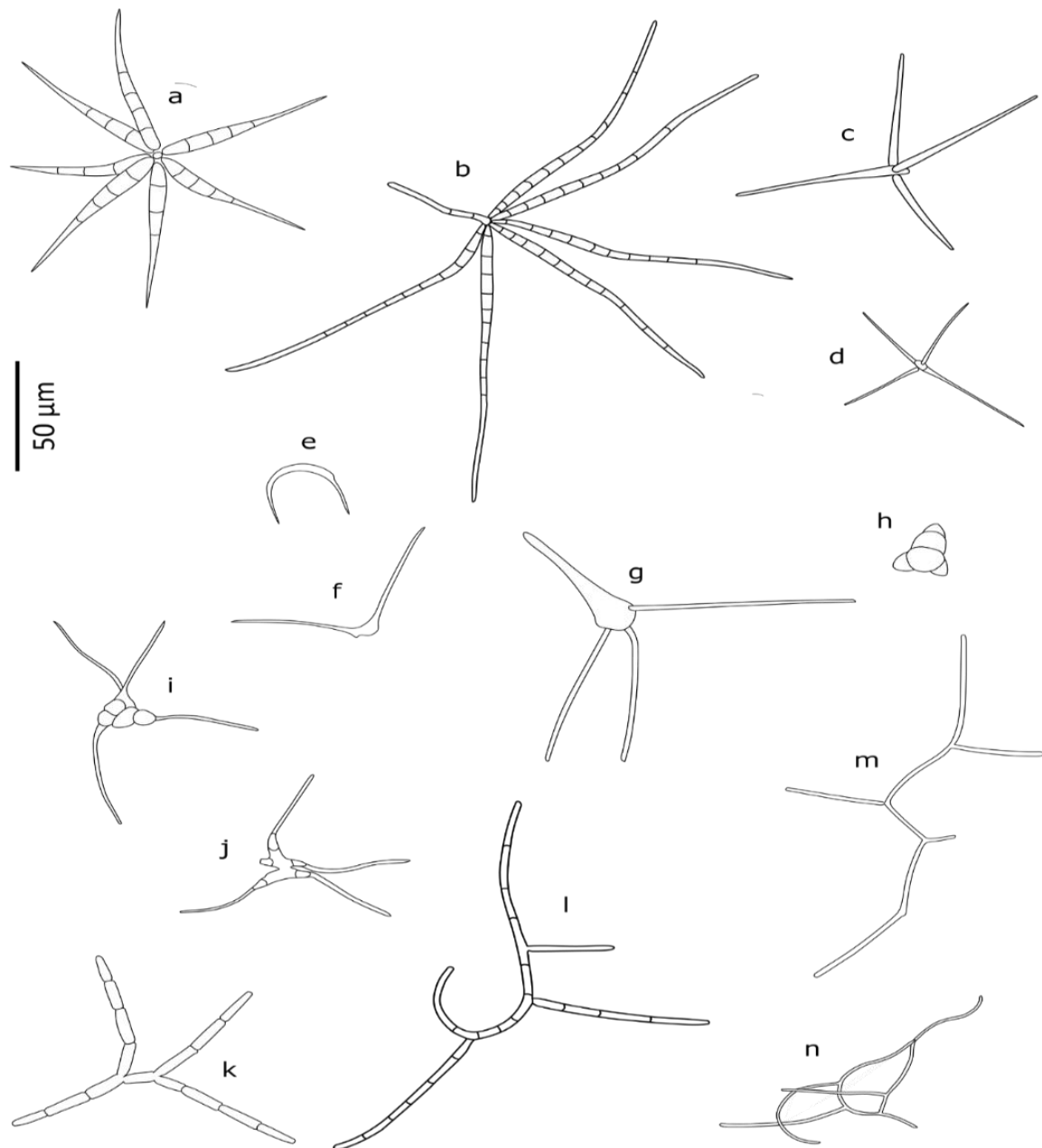


Fig. 1. Planche A. a: *Flabellospora acuminata*; b: *Flabellospora verticillata*; c: *Triscelophorus acuminatus*; d: *Triscelophorus monosporus*; e: *Lunulospora curvula*; f: *Lunulospora cymbiformis*; g: *Clavariopsis aquatica*; h: *Clavariopsis brachycladia*; i: *Campylospora filicladia*; j: *Campylospora chaetocladia*; k: *Phalangispora constricta*; l: *Varicosporium* sp; m: *Varicosporium tricladiiforme*; *Varicosporium elodeae*

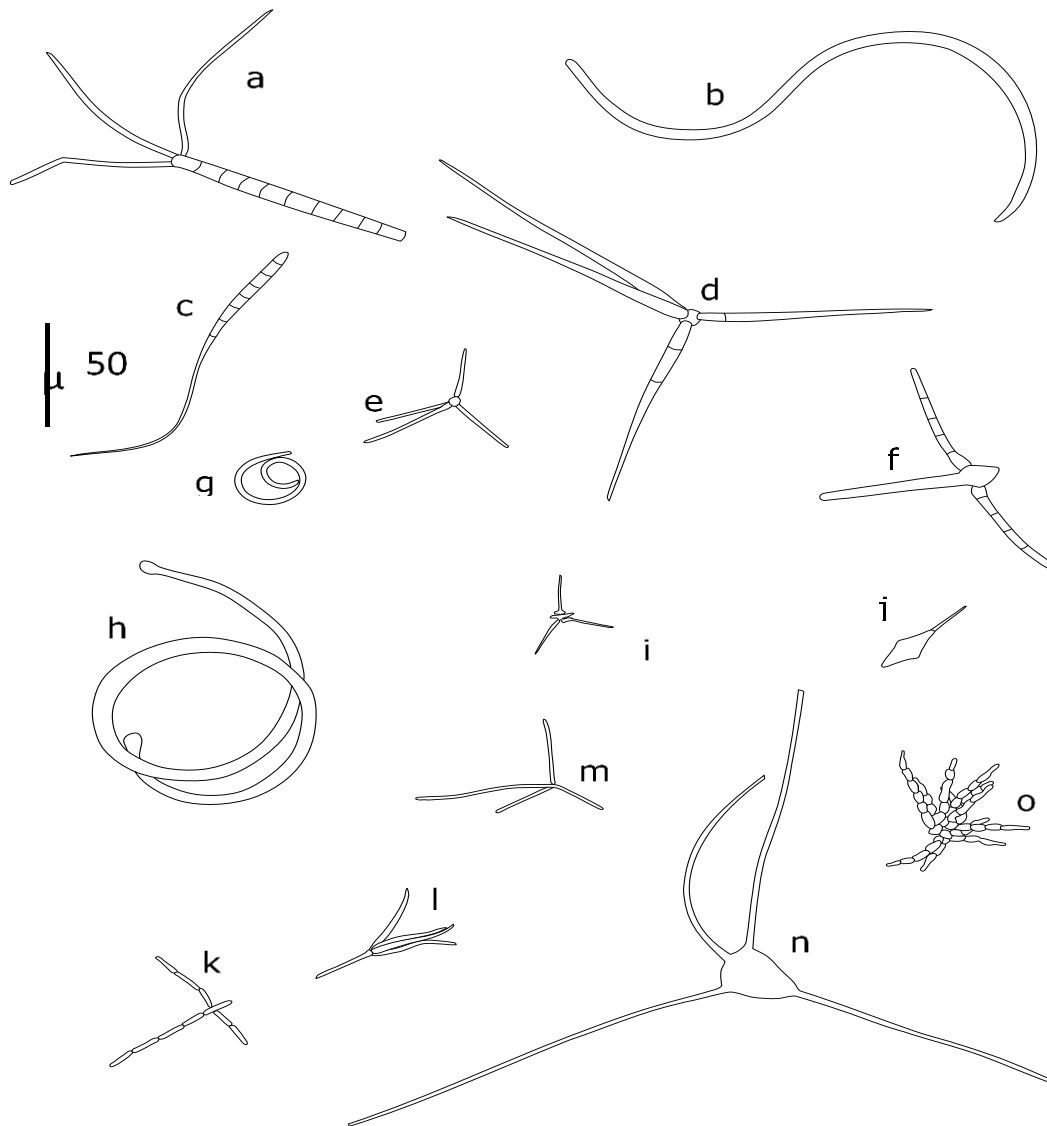


Fig. 2. Planche B. a: *Camposporium antennatum*; b: *Anguillospora longissima*; c: *Camposporium pellucidum*; d: *Variocladium giganteum*; e: *Lemnoniera centrosphaera*; f: *Trifurcospora irregularis*; g: *Helicomycetes torquatus*; h: *Helicomycetes colligatus*; i: *Lateriramulosa uni-inflata*; j: *Beltrania rhombica*; k: *Trisulcosporium acerinum*; l: *Isthmotricladia gombakiensis*; m: *Articulospora tetracladia*; n: *Clavariana aquatica*; o: *Arbusculina irregularis*

4 DISCUSSION

4.1 DIVERSITÉ TAXONOMIQUE ET STRUCTURATION BIOGÉOGRAPHIQUE

La mycoflore aquatique mise en évidence révèle une diversité taxonomique élevée, comparable à celle rapportée dans d'autres régions tropicales, notamment en Afrique de l'Ouest (Ingold, 1959; Dixon, 1959; Le'-John, 1965) et en Asie tropicale (Sridhar & Kaveriappa, 1992; (Chan et al., 2000). La coexistence d'espèces à large distribution géographique et de taxons à affinité tropicale marquée traduit une structuration biogéographique caractéristique des écosystèmes lotiques tropicaux.

4.2 ESPÈCES COSMOPOLITES ET RÔLE ÉCOLOGIQUE

La présence d'espèces cosmopolites telles qu'*Anguillospora longissima*, *Campylopora chaetocladia*, *Clavariopsis aquatica* ou *Lunulospora curvula* confirme le caractère ubiquiste de certains hyphomycètes aquatiques capables de coloniser une grande variété de milieux, aussi bien tempérés que tropicaux (Chauvet, 1990). De ce fait, ces espèces sont souvent considérées comme

des éléments structurants des communautés fongiques aquatiques, jouant un rôle majeur dans la décomposition de la matière organique allochtone.

4.3 ESPÈCES À DISTRIBUTION TROPICALE

Une proportion significative des espèces identifiées présente une distribution essentiellement tropicale, comme *Clavariana aquatica*, *Flabellospora verticillata*, *Triscelophorus acuminatus*, *Clavariopsis brachycladia* ou *Lunulospora cymbiformis*. Ces taxons, auparavant connus principalement d'Asie, d'Europe ou d'Amérique (Sridhar & Kaveriappa, 1992; Chan et al., 2000; Chan et al., 2000), témoignent d'une adaptation particulière aux conditions environnementales propres aux régions tropicales: températures élevées, disponibilité continue de substrats végétaux et hydrologie fortement saisonnière. Leur présence suggère que leur absence dans les inventaires africains antérieurs résulte probablement d'un déficit d'échantillonnage plutôt que d'une réelle restriction biogéographique. Ainsi, la structure biogéographique observée dans cette étude, combinant espèces cosmopolites et taxons tropicaux, apparaît conforme aux modèles décrits pour les communautés d'hyphomycètes aquatiques des régions intertropicales. Elle confirme également que les cours d'eau guinéens constituent des habitats favorables au développement de communautés fongiques diversifiées, comparables à celles observées dans d'autres régions tropicales bien étudiées (Tubaki 1957, 1958, 1960, 1965), Hudson & Ingold (1960), Goos (1978).

4.4 CONTINUITÉ RÉGIONALE EN AFRIQUE DE L'OUEST

Les résultats obtenus s'inscrivent dans la continuité des travaux fondateurs menés en Afrique de l'Ouest, notamment au Nigeria, au Ghana et en Sierra Leone. Plusieurs espèces identifiées dans la présente étude, dont *Campylospora chaetoclada*, *Camposporium antennatum*, *Flabellospora verticillata*, *Phalangispora constricta* et *Triscelophorus monosporus*, avaient déjà été signalées dans ces régions. La récurrence de ces taxons dans des contextes géographiques proches renforce l'hypothèse d'un noyau d'espèces caractéristiques des cours d'eau tropicaux ouest-africains.

4.5 NOUVEAUX SIGNALEMENTS POUR L'AFRIQUE

Un résultat majeur de cette étude réside dans la mise en évidence d'espèces nouvellement signalées pour le continent africain. Ces nouveaux reports illustrent les importantes lacunes qui persistent dans la connaissance de la biodiversité fongique aquatique en Afrique, en particulier en Afrique de l'Ouest, où les travaux demeurent relativement rares et souvent anciens. Les données africaines issues de ces études pionnières rapportaient fréquemment des taxons comme espèces indéterminées. Les progrès taxonomiques ultérieurs ont permis de clarifier le statut de plusieurs d'entre eux mais de vastes zones géographiques, dont la Guinée, sont longtemps restées peu explorées. Les nouveaux signalements rapportés ici contribuent donc à combler un vide biogéographique important.

4.6 IMPLICATIONS ÉCOLOGIQUES

La découverte d'espèces auparavant inconnues en Afrique souligne non seulement la richesse encore sous-estimée des hydrosystèmes guinéens, mais aussi leur rôle potentiel comme refuges de biodiversité fongique. Elle suggère également que certaines espèces considérées comme rares ou à distribution restreinte pourraient en réalité être plus largement répandues dans les régions tropicales africaines, leur absence dans la littérature résultant principalement d'un manque d'investigations.

5 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette recherche constitue la première étude exploratoire consacrée aux hyphomycètes aquatiques en Guinée. Elle révèle une diversité taxonomique élevée, marquée par la coexistence d'espèces cosmopolites et de taxons tropicaux, ainsi que par de nouveaux signalements pour le continent africain. Ces résultats mettent en évidence le rôle des cours d'eau guinéens comme habitats favorables et encore largement sous-documentés.

Cette contribution sur la diversité des hyphomycètes aquatiques en Guinée, établit les bases pour un approfondissement des études d'inventaires à l'échelle nationale afin de mieux caractériser la biodiversité fongique des différents bassins versants et d'intégrer ces données dans les systèmes de gestion des écosystèmes d'eau douce. Le renforcement des capacités locales en taxonomie et en écologie fongique apparaît essentiel pour consolider cette dynamique scientifique. À l'échelle régionale, l'extension des recherches aux pays voisins favorisera la comparaison des communautés, l'identification d'un noyau ouest-africain d'espèces caractéristiques. La mise en place de collaborations scientifiques, contribuera ainsi à combler les lacunes

biogéographiques et à valoriser le rôle écologique des hyphomycètes aquatiques dans le fonctionnement des écosystèmes d'eau douce tropicaux, en Afrique en général et en Afrique de l'Ouest, en particulier.

REMERCIEMENTS

Les auteurs sont particulièrement reconnaissants envers les autorités des Université Julius Nyerere de Kankan et Paul Sabatier de Toulouse pour avoir permis la réalisation de cette étude.

CONFLITS D'INTÉRÊT

Les auteurs ne signalent aucun conflit d'intérêt

REFERENCES

- [1] Alasoadura SO. 1968. Some aquatic hyphomycetes from Nigeria. *Transactions of the British Mycological Society* 51 (3–4): 535–540. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(68\)80023-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(68)80023-3).
- [2] Chan SY, Goh TK, Hyde KD. 2000. Ingoldian fungi in Hong Kong. *Fungal Diversity* 5: 89–107.
- [3] Chauvet E. 1990. *Hyphomycètes aquatiques du sud-ouest de la France*. Thèse, Université Paul Sabatier, Toulouse.
- [4] Chauvet E, Suberkropp K. 1998. Temperature and sporulation of aquatic hyphomycetes. *Applied and Environmental Microbiology* 64 (4): 1522–1525.
- [5] Chen JS, Feng MG, Fomelack T. 2000. Aquatic and aero-aquatic hyphomycetes occurring in central Cameroon (West Africa). *Pakistan Journal of Biological Sciences* 3 (11):.
- [6] Chergui H. 1990. Introduction à l'étude des hyphomycètes. *Bulletin de l'Institut Scientifique*, Rabat.
- [7] Dixon PA. 1959. Stream spora in Ghana. *Transactions of the British Mycological Society* 42 (2): 174–176. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(59\)80025-5](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(59)80025-5).
- [8] Fisher PJ, Spooner B. 1987. Two new ascomycetes from Malawi. *Transactions of the British Mycological Society* 88 (1): 47–54. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(87\)80184-5](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(87)80184-5).
- [9] Gessner MO, Chauvet E. 1994. Importance of stream microfungi in controlling breakdown rates of leaf litter. *Ecology* 75 (6): 1807–1817.
- [10] Gessner MO, Bärlocher F, Chauvet E. 2003. Qualitative and quantitative analyses of aquatic hyphomycetes in streams. *Fungal Diversity Research Series*.
- [11] Goos RD. 1978. Occurrence of *Triscelophorus monosporus* in upland sites on Oahu, Hawaii. *Mycologia* 70: 188–189.
- [12] Greathead S. 1961. Some aquatic hyphomycetes in South Africa. *Journal of South African Botany*.
- [13] Hudson HJ, Ingold CT. 1960. Aquatic hyphomycetes from Jamaica. *Transactions of the British Mycological Society* 43 (3): 469–475. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(60\)80029-0](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(60)80029-0).
- [14] Hyde KD, Goh TK, Steinke TD. 1998. Fungi on submerged wood in the Palmiet River, Durban, South Africa. *South African Journal of Botany* 64 (3): 151–162. [https://doi.org/10.1016/S0254-6299\(15\)30860-7](https://doi.org/10.1016/S0254-6299(15)30860-7).
- [15] Ingold CT. 1956. Stream spora in Nigeria. *Transactions of the British Mycological Society* 39 (1): 108–110. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(56\)80058-2](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(56)80058-2).
- [16] Ingold CT. 1958. Aquatic hyphomycetes from Uganda and Rhodesia. *Transactions of the British Mycological Society* 41 (1): 109–114. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(58\)80014-5](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(58)80014-5).
- [17] Ingold CT. 1959. Aquatic spora of Omo Forest, Nigeria. *Transactions of the British Mycological Society* 42 (4): 479–485. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(59\)80049-8](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(59)80049-8).
- [18] Le John HB. 1965. Sierra Leone freshwater hyphomycetes. *Transactions of the British Mycological Society* 48 (2): 261–264. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(65\)80091-2](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(65)80091-2).
- [19] Maamri A, Chauvet E, Chergui H. 1998. Microbial dynamics on decaying leaves in a temporary Moroccan river. I. Fungi. *Archiv für Hydrobiologie*.
- [20] Nawawi A. 1985. Aquatic hyphomycetes and other water-borne fungi from Malaysia. *Malayan Nature Journal*.
- [21] Shearer CA, Webster J. 1985. Aquatic hyphomycete communities in the River Teign. I. Longitudinal distribution patterns. *Transactions of the British Mycological Society* 84 (3): 489–501. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(85\)80011-5](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(85)80011-5).
- [22] Tenkiano NSD, Chauvet E. 2017. Tropical shift in decomposers' relative contribution to leaf litter breakdown in two Guinean streams. *Biotropica* 49 (4): 439–442. <https://doi.org/10.1111/btp.12451>.
- [23] Tenkiano NSD, Chauvet E. 2018. Leaf litter decomposition in Guinean savannah streams. *Inland Waters* 8 (4): 413–421. <https://doi.org/10.1080/20442041.2018.1487175>.

- [24] Sinclair RC, Eicker A. 1983. Ten interesting species of aquatic hyphomycetes from South Africa. *Bothalia* 14 (3–4): 939–942.
- [25] Sridhar K, Kaveriappa KM. 1992. Aquatic hyphomycetes of Western Ghat streams, India. *Sydowia* 44: 66–77.
- [26] Tubaki K. 1957. Studies on Japanese hyphomycetes. III. Aquatic group. *Bulletin of the National Science Museum (Tokyo)* 41: 249–268.
- [27] Tubaki K. 1958. Studies on Japanese hyphomycetes. V. *Journal of the Hattori Botanical Laboratory* 20: 142–244.
- [28] Tubaki K. 1960. On Japanese aquatic hyphomycetes. Scum and foam group. *Nagaoa*.
- [29] Tubaki K. 1965. Short note on aquatic spora in East New Guinea. *Transactions of the Mycological Society of Japan* 6: 11.

Influence des fluctuations pluviométriques intra-annuelles sur les systèmes de production halieutique dans la région du Poro (Côte d'Ivoire)

[Influence of intra-annual rainfall fluctuations on fisheries production systems in the Poro region (Côte d'Ivoire)]

Silué Zahalo Mamadou and Koudou Dogbo

Département de Géographie, Université Peleforo GON COULIBALY, Korhogo, Côte d'Ivoire

Copyright © 2026 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: Fishing in the Poro region is one of the main sources of fish for the local population. However, due to its essentially freshwater nature, the annual rhythm of these fishing activities is largely determined by the seasons of the local climate. The aim of this study is to highlight the influence of intra-annual rainfall variability on fish production systems in the Poro region. It is based on a documentary research, processing rainfall and temperature data provided by SODEXAM, fish production data from the regional office of MIRAH and a field survey. The results show that the climatic seasons give different physical and biological dynamics to the fishery production areas throughout the year. The rainy season brings rivers, lakes and floodplains to life through flooding. Conversely, the dry season, accentuated by the effects of the harmattan, leads to the deterioration of these environments. This environmental variability leads to highly seasonal fishing activities, with two alternating periods of good and low production.

KEYWORDS: Côte d'Ivoire, Poro region, continental fisheries, fishing techniques, rainfall.

RESUME: Les activités halieutiques pratiquées dans la région du Poro en Côte d'Ivoire représentent l'une des principales sources de ravitaillement en poissons des populations locales. Cependant, du fait de leur caractère essentiellement dulçaquicole, le rythme annuel de ces activités de pêche est en grande partie conditionné par les saisons du climat local. L'objectif de cette étude est de mettre en évidence, l'influence des fluctuations pluviométriques intra-annuelles sur les systèmes de production halieutique dans la région du Poro. Elle s'appuie sur la recherche documentaire basée sur le traitement de données pluviométriques et thermiques fournies par la SODEXAM, des données de production halieutique de la Direction régionale du MIRAH et une enquête de terrain. Les résultats obtenus montrent qu'au cours de l'année, les saisons climatiques impriment aux espaces de production halieutique, des dynamiques physiques et biologiques différentes. Par l'entremise des crues, la saison des pluies vivifie les cours et plans d'eau, et les plaines d'inondation. À l'inverse, accentuée par les effets de l'harmattan, la saison sèche conduit au dépérissement de ces milieux. Cette variabilité environnementale entraîne une forte saisonnalité des activités de pêche, avec deux périodes alternées de bonne et de faible production.

MOTS-CLEFS: Côte d'Ivoire, région du Poro, pêche continentale, techniques de pêche, pluviométrie.

1 INTRODUCTION

La pêche artisanale continentale est essentielle dans la production halieutique mondiale. En 2022, elle a représenté plus de 12 % des débarquements mondiaux de poisson [14]. Son importance pour la sécurité alimentaire mondiale et les moyens d'existence est largement reconnue. Elle apparaît tout aussi fondamentale à grande échelle géographique, au niveau des

communautés locales. Elle l'est en particulier dans les zones à faible revenu, à déficit vivrier et dans les régions intérieures (sans littoral) où les prix du poisson de mer subissent quelquefois, des coûts de transport important [13], [14].

Cependant, elle peut être aussi très incertaine pour bon nombre de zones de production en raison de divers facteurs notamment les déterminants environnementaux. La productivité et la résilience des écosystèmes aquatiques qui supportent les pêcheries continentales, sont principalement induites par la température, le débit des cours d'eau et les variations de teneur en nutriments qui résultent de l'expansion et de la contraction saisonnières des systèmes aquatiques [6]. Ces déterminants font de cette pêche, l'une des activités les plus vulnérables à l'instabilité du milieu naturel, que celle-ci concerne la météorologie ou les facteurs biotiques et abiotiques qui régissent la présence du poisson et son abondance sur les lieux de capture [6], [13]. Par conséquent, la situation des pêcheries continentales est moins dépendante de la pression de pêche que des effets sur l'habitat, les frayères et la connectivité hydrique [13]. Plus spécifiquement, « *les cycles climatiques, exprimés en termes de variations pluviométriques, influent sur les ressources halieutiques continentales en leur fournissant un espace plus ou moins grand, une quantité plus ou moins grande de substances nutritives par le biais des crues et du drainage des pluies et en modifiant leur vulnérabilité à la pêche en fonction de leur concentration ou de leur dispersion* » [11].

En Côte d'Ivoire, la pêche artisanale continentale est répandue sur l'ensemble du territoire national avec une grande diversité de pratiques. Mais, on la retrouve sous sa forme commerciale, principalement dans les fleuves et les lacs de barrages (hydroélectriques, agricoles, pastoraux, miniers, d'adduction en eau potable, mixtes). Au regard des données fournies par la littérature scientifique et la littérature grise, elle est une constituante indispensable du secteur halieutique national. Elle tient une place conséquente en termes de contribution à la production dont elle fournit chaque année une part importante du volume des débarquements quoiqu'en constante fluctuation [23]. À titre d'exemples, elle a représenté 25,7 % en 1991, 31,5 % en 2003 et 14 % en 2010, des captures [5]. En outre, elle contribue en moyenne à hauteur d'environ 6 % par an, à la création d'emplois dans ce secteur d'activité [27]. La pêche continentale constitue ainsi dans le pays, un levier important de lutte contre la pauvreté, d'accumulation de richesse matérielle et de sécurité alimentaire [20], [31].

Dans la région du Poro au nord de la Côte d'Ivoire, cette activité est à des degrés divers, source de revenus et de satisfaction des besoins alimentaires et nutritionnels des populations. Les travaux de plusieurs auteurs notamment [4], [17], [21], [22], [23], [27], [33], en ont amplement montré les contributions alimentaires et socioéconomiques locales avérées.

Cependant, le déroulement de cette activité est déterminé par les effets du climat local. Il s'agit d'un climat tropical de type soudanais marqué par l'alternance de deux saisons: une saison sèche et une saison des pluies [9]. Si les précipitations se concentrent sur quatre à cinq mois, la saison sèche s'étale en revanche sur sept huit mois [3], [9]. Cette variabilité climatique a un impact significatif sur les écosystèmes aquatiques et, par conséquent, sur les systèmes de production halieutique locaux. Les fluctuations de température, les précipitations et les variations du niveau des cours et plans d'eau influent non seulement sur la disponibilité des ressources aquatiques, mais aussi sur les pratiques de pêche, la productivité et la durabilité des activités halieutiques.

L'objectif de cet article est d'analyser l'influence des variations climatiques saisonnières sur les systèmes de production halieutique dans la région du Poro. L'hypothèse est que les variations saisonnières des pluies conditionnent les pratiques des pêcheurs.

2 MÉTHODE

2.1 ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude est la région du Poro, située dans le nord de la Côte d'Ivoire. Sa superficie est de 13 400 km². Elle est comprise entre les latitudes 5°16 / 6°16 Nord et les longitudes 8°32 / 10°20 Ouest (Figure 1).

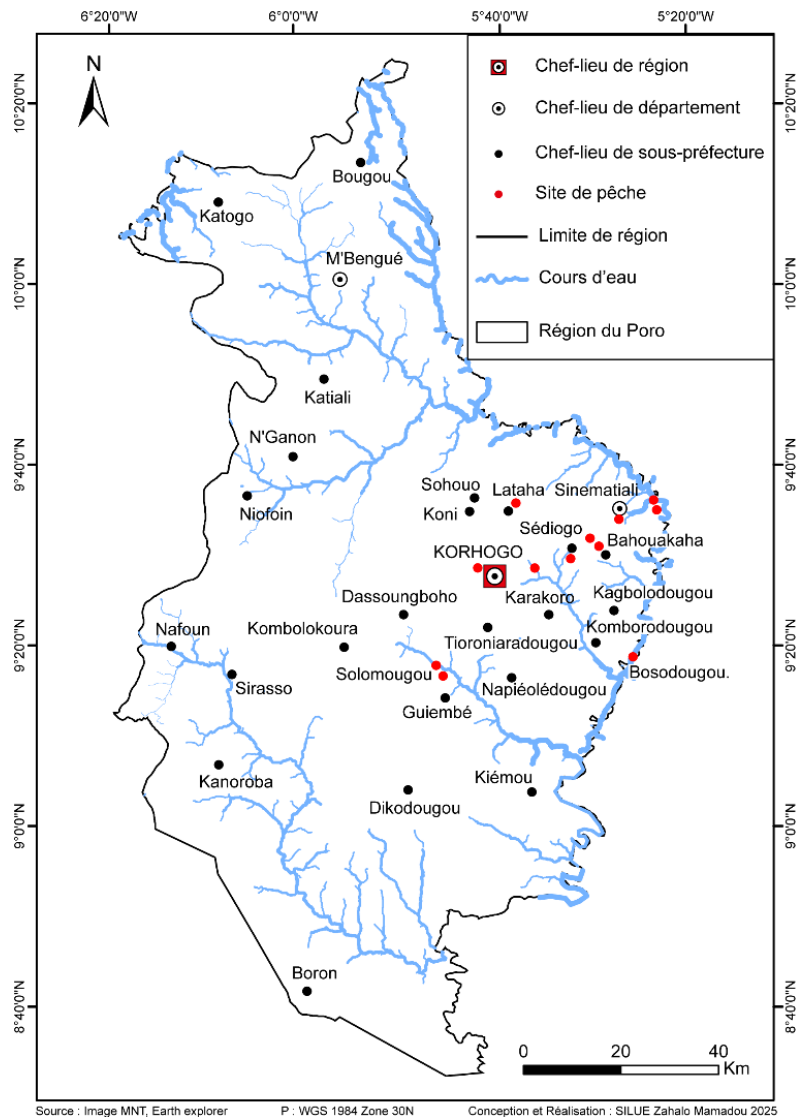


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

La région du Poro est couverte par un climat tropical. Le réseau hydrographique est tributaire du fleuve Bandama. La région abrite une population estimée à 1 040 461 habitants dont plus de 800 ménages pratiquent des activités liées à la pêche artisanale locale [15], [31].

2.2 COLLECTE DES DONNÉES

La démarche méthodologique adoptée dans le cadre de cette recherche repose sur plusieurs techniques et procédures de collecte des données: une recherche documentaire, une observation de terrain, une enquête par questionnaire et des entretiens réalisés auprès des pêcheurs, de la Société d'Exploitation de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météo (SODEXAM) et de la Direction Régionale du ministère des Ressources Animales et Halieutiques (MIRAH).

La recherche documentaire a consisté à recueillir des données secondaires sur l'exploitation et la gestion des ressources halieutiques et au traitement de données pluviométriques et thermiques. Les données halieutiques ont été obtenues du MIRAH. Elles couvrent la période de 2015 à 2023. Les données climatiques ont été fournies par la SODEXAM et s'étendent sur la période 1970 à 2022.

Les travaux de terrain ont eu pour cadre géographique différents sites de production halieutique en vue de la description de leurs caractéristiques physiques. Ils ont également permis l'observation du déroulement de l'évolution saisonnière des activités de pêche.

Le technicien halieute de la direction régionale des pêches, 22 gestionnaires des espaces de production, quelques cinq responsables municipaux, des sept chefs de village et 11 représentants de pêcheurs ont d'abord été interrogés à partir de guides d'entretien.

Cette technique a surtout été utile dans la collecte de données qualitatives portant sur la perception des pêcheurs en ce qui concerne la variabilité climatique saisonnière et ses conséquences sur les productions halieutiques. Cette étape a également permis de faire un rapprochement des faits statistiques examinés, de la réalité constatée sur le terrain et de connaître le caractère halieutique des zones de production.

L'enquête s'est déroulée en deux périodes. La première période se situe de mars à avril pour voir à quelle phase correspondait cette période dans la pratique halieutique. La seconde a couvert les mois de septembre et octobre.

L'absence d'une base de sondage relative à ces exploitants a conduit à interroger systématiquement les pêcheurs et mareyeurs rencontrés pendant la période d'enquête. Au total, 105 pêcheurs et 100 commerçants ont été interrogés.

Les données halieutiques exploitées dans le cadre de cette étude portent sur les productions brutes et les rendements enregistrés entre 2015 et 2023. Ce choix s'explique par l'indisponibilité de séries statistiques plus anciennes et plus récentes auprès du service administratif régional des pêches, qui constitue la principale source institutionnelle de données dans la zone d'étude. Il a également été question de la périodicité de la pratique de l'activité, le nombre et le type d'engins utilisés, les zones de pêche, les quantités journalières produites, le revenu journalier.

Les observations de terrain ont été menées en mars-avril 2024 (saison sèche) et septembre-octobre 2024 (saison pluvieuse) afin de couvrir les deux périodes climatiques auxquelles les pêcheurs et leur activité sont confrontés. Cette technique a permis d'appréhender la dynamique saisonnière des espaces de pêche et d'apprécier l'évolution spatio-temporelle annuelle des activités halieutiques.

2.3 TRAITEMENT DE DONNÉES

Les données climatiques ont été traitées à travers les logiciels Excel 2016 et Xlsat 2014, pour les différents tests climatiques. Pour déterminer les tendances pluviométriques, l'indice de Nicholson a été utilisé. Il a permis de mettre en évidence les périodes excédentaires et déficitaires puis d'observer la variabilité des quantités de pluies de façon générale. Sa formule s'énonce comme suit:

$$I_i = \frac{(X_i - X)}{\sigma}$$

I_i = Indice pluviométrique;

X_i = Cumul de l'année *i* étudiée;

X = Moyenne de la pluviométrie sur la période de référence;

σ = Valeur de l'écart type de la variable sur la même période de référence.

L'indice de Nicholson décrit trois périodes pluviométriques: normale, humide et sèche. Une période normale est celle pendant laquelle une fluctuation identique s'observe de part et d'autre de l'axe des abscisses. Dans ce cas, la moyenne annuelle est sensiblement égale à la moyenne de la pluviométrie totale. Pendant la période humide, la moyenne annuelle est supérieure à la moyenne de la pluviométrie totale. Enfin, la période sèche correspond à celle pour laquelle la moyenne annuelle est inférieure à la moyenne pluviométrique totale.

Le test de Pettitt a également été utilisé pour rechercher la survenue d'une rupture dans la série chronologique des pluviométries de 1979 à 2020. Le test de Pettitt (1979) cité par [8] est non paramétrique et dérive du test de Mann-Whitney permettant d'identifier le temps auquel se produit un changement dans la série pluviométrique. Cette méthode repose sur deux hypothèses: l'hypothèse nulle (H0) qui constitue l'absence de rupture dans la série et l'hypothèse alternative (H1) qui comporte une rupture. Les possibilités d'hypothèses dans ce cas sont vérifiées à un taux de confiance de 95%. À cet effet, si l'hypothèse nulle est rejetée, cela voudrait signifier qu'il y a rupture dans la série. Si l'hypothèse nulle n'est pas accordée, la présence de rupture est contestée dans la série. Le test de Pettitt s'énonce par la formule suivante:

$$U_t.N = \sum_i^t = 1 \sum_{j=t+1}^t D_{ij}$$

$$D_{ij} = \text{sgn}(x_i - x_j)$$

$$\text{sgn}(x) = 1 \text{ si } x = 0 \text{ et } -1 \text{ si } x < 0$$

Ce test permet d'appréhender les points de ruptures dans l'allure d'une série afin de les classer en sous séries.

Le bilan climatique est la différence entre les hauteurs pluviométriques et l'évapotranspiration potentielle. C'est un indicateur qui permet d'évaluer les disponibilités en eau du sol afin de déterminer les saisons (M. Eldin, 1971, cité par [7]). Le bilan climatique s'exprime par la formule suivante:

$$BC = P - ETP$$

BC = Bilan Climatique (mm);

P = Pluie totale annuelle (mm);

ETP = Évapotranspiration réelle (mm).

L'ETP est définie comme la demande climatique en vapeur d'eau.

- Si $P - ETP > 0$, le bilan est excédentaire, il n'y a pas de stress hydrique, la période est dite humide.
- Si $P - ETP < 0$, le bilan est déficitaire, il y a stress hydrique, alors la période est dite sèche.
- Si $P - ETP = 0$, le bilan est équilibré, alors la période est dite intermédiaire ou normale.

Outre les données climatiques, la carte de localisation de la zone d'étude et des sites d'enquête a été réalisée sur ArcGIS10.3. Les informations recueillies à la suite de l'enquête de terrain ont été traitées à l'aide de l'outil informatique à travers les logiciels Sphinx Millenium 14.5 et Adobe Illustrator CC 2021.

Un recours a également été fait à des photographies pour la capture et l'illustration de certaines réalités observées sur le terrain.

Par ailleurs, une analyse des discours issus des différents entretiens réalisés a été faite.

3 RÉSULTATS

Les résultats obtenus à la suite des différents traitement effectués sont structurés en trois principaux points relatifs à la variabilité saisonnière du climat et des dynamiques hydrologiques, à la transformation des espaces de pêche par les saisons climatiques et à la dynamique saisonnière des activités de production halieutique.

3.1 VARIABILITÉ SAISONNIÈRE DU CLIMAT ET DYNAMIQUES HYDROLOGIQUES

La situation climatique de la région du Poro révèle présente des variations interannuelles marquées, se traduisant par des périodes alternativement favorables ou défavorables au bon déroulement du cycle pluviométrique.

3.1.1 BILAN CLIMATIQUE RÉGIONAL: PLUVIOMÉTRIE ANNUELLE SIGNIFICATIVE ET ETP ÉLEVÉE

Le bilan climatique régional est présenté dans le tableau ci-après.

Tableau 1. Bilan climatique de la série chronologique de 1970-2022

	J	F	M	A	M	J	J	A.	S	O	N	D	Total
P	6,9	12,3	41,9	85,1	123,78	137,8	194	253,7	222,6	107,3	19,4	3,5	1208,3
ETP	261,2	248,8	204	142,3	132,3	93,43	74,8	62,5	61,4	83,7	128,5	212,4	1705,4
P-ETP	-254,2	-236,6	-162,1	-57,3	-8,5	44,4	119,3	119,2	161,2	23,6	-109,1	-208,9	-497,2
Saisons	Saison sèche					Saison humide					Saison sèche		

Source: SODEXAM, 1970 à 2022

L'analyse du tableau 1 montre un régime climatique nettement contrasté dans le Poro sur la période 1970-2022. La pluviométrie annuelle moyenne atteint 1208,3 mm, alors que l'ETP annuelle moyenne atteint 1705,4 mm. Le bilan annuel P-ETP est donc déficitaire de 497,2 mm. Ce résultat indique un déficit hydrique structurel à l'échelle de l'année.

La distribution mensuelle des pluies est très saisonnière. Les précipitations restent très faibles de novembre à mars, avec des valeurs inférieures à 45 mm. Elles augmentent à partir d'avril et deviennent élevées entre mai et octobre. Le maximum

apparaît en août avec 253,7 mm, puis en septembre avec 222,6 mm. Cette concentration des pluies sur quelques mois commande l'essentiel de la disponibilité en eau. L'ETP suit une dynamique inverse de celle des pluies. Elle est très forte en saison sèche, avec un maximum en janvier à 261,2 mm et des valeurs encore élevées en février et mars. Elle diminue fortement pendant la saison humide, avec des minima en août et septembre autour de 62 mm. Cette baisse traduit une demande évaporative réduite lorsque l'air est plus humide et le ciel plus couvert.

Le bilan hydrique mensuel confirme une longue période de déficit. De novembre à mai, P-ETP reste négatif, avec des déficits très marqués en décembre, janvier et février. Le déficit s'atténue en mai, mais il reste encore légèrement négatif. À partir de juin, le bilan devient positif et il le reste jusqu'en octobre. Les surplus les plus importants se situent en juillet, août et surtout septembre, où le bilan atteint 161,2 mm. La saison humide, centrée sur juin à octobre, constitue la période de recharge hydrologique. Elle favorise la montée des niveaux d'eau, la recharge des sols et l'alimentation des cours d'eau et retenues. La saison sèche, de novembre à mai, impose au contraire un stress hydrique prolongé. Elle réduit les débits, contracte les surfaces en eau et renforce la dépendance aux réserves accumulées pendant la saison des pluies.

Au total, la région du Poro combine une pluviométrie annuelle significative et une ETP plus élevée. Les excédents de la saison humide ne compensent pas le déficit de la saison sèche à l'échelle annuelle. Cette situation a pour conséquence une altération des paramètres écologiques des espaces aquatiques, influençant ainsi la dynamique des écosystèmes halieutiques. Par conséquent, l'organisation des activités de production halieutique doivent donc se caler sur une disponibilité hydrique courte et un déficit long.

3.1.2 PLUVIOMÉTRIE INSTABLE ET RÉGRESSIVE

La tendance climatique actuelle régional est marquée par une pluviométrie instable et régressive. Les données climatiques fournies par la SODEXAM, sur la période 1970 à 2022 mettent en évidence une instabilité du régime pluviométrique régional (Figure 2).

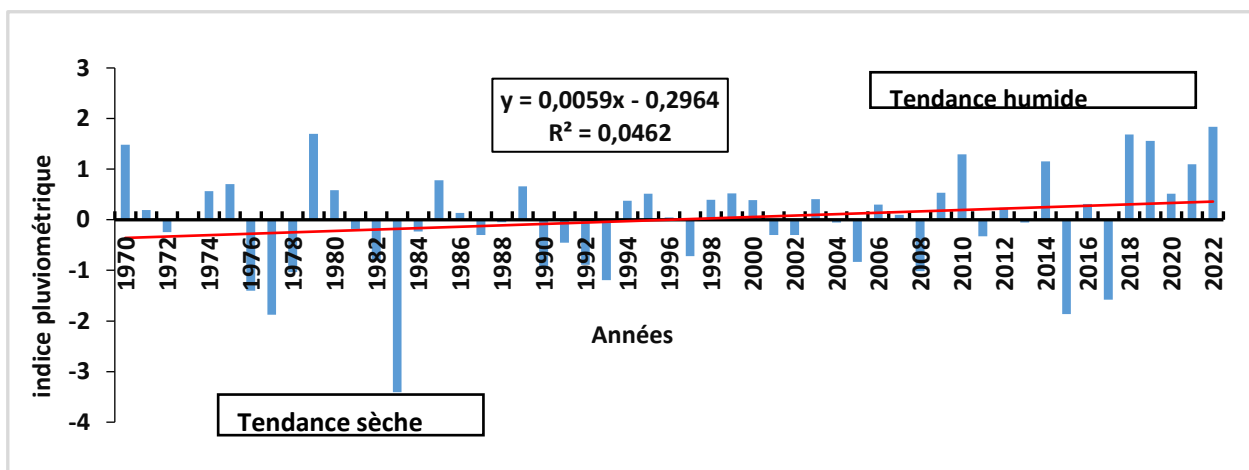


Fig. 2. Tendance pluviométrique de la région du Poro sur la période 1970-2022

Source: Traitement des données SODEXAM

L'étude de la série pluviométrique dans la région du Poro révèle une dynamique climatique scindée en deux phases distinctes. La première période, s'étendant de 1970 à 1995, se caractérise par une phase globalement sèche. Sur ces 25 années, seules 45,83 % présentent des cumuls supérieurs à la moyenne régionale de 1173,84 mm, contre 54,16 % d'années déficitaires. Cette dominance du déficit hydrique inscrit le Poro dans la lignée des crises climatiques observées dans le Nord de la Côte d'Ivoire durant cette période. La seconde phase, couvrant les années 1996 à 2022, marque un basculement vers un régime plus favorable. Sur cette séquence de 27 ans, la fréquence des années excédentaires devient dominante avec 59,25 % d'années humides contre 40,74 % d'années sèches. Cette dynamique de réhumidification nette rapproche le Poro du profil climatique généralement observé dans le nord de la Côte d'Ivoire. Cependant, cette phase est marquée par une forte instabilité interannuelle. Si l'année 2015 s'illustre par un déficit record avec seulement 725,7 mm, le maximum pluviométrique de la période atteint 1 415,90 mm en 2022. Ce retour global de la pluie s'observe sur la courbe de tendance de la dernière séquence

qui affiche un coefficient directeur négatif $Y = 0,0059x - 0,2964$. Cela souligne une réalité complexe: si la période post-1996 est plus humide que la précédente, les précipitations tendent à nouveau vers une baisse progressive ou une plus grande irrégularité ces dernières années, renforçant les défis pour le secteur halieutique de la région.

Par ailleurs, l'analyse de cette série pluviométrique régionale, couvrant la période 1970 à 2022, révèle une variabilité interannuelle marquée, sans rupture apparente. Le test de Pettitt, appliqué à cette série dans le but de détecter une éventuelle discontinuité, indique qu'aucun changement significatif n'est observé au seuil de confiance de 95 %. La pluviométrie moyenne annuelle sur l'ensemble de la période s'établit à 1173,84 mm (Tableau 2).

Tableau 2. Statistiques descriptives du test de Pettitt de la pluviométrie

Variable	Moyenne	Minimum	Maximum	Écart- type
Valeur (mm)	1173,84	725,70	1415,90	132,88

Source: SODEXAM, 1970 à 2022

Les valeurs extrêmes enregistrées, de 1173,84 mm pour le maximum et 725,70 mm pour le minimum, s'écartent sensiblement de moyenne annuelle sur l'ensemble de la période. Cette situation traduit une dispersion importante évaluée à 132,88 mm. Cette forte variabilité témoigne de l'irrégularité pluviométrique régionale et souligne la vulnérabilité des activités de pêche.

Deux hypothèses ont été formulées pour la détermination de l'homogénéité ou non de la série:

Hypothèse H0: Les données de la série sont homogènes, il n'existe pas de rupture.

Hypothèse H1: Il existe une date dans la série qui marque une rupture de tendance de la pluviométrie.

Les principales observations sont portées sur la valeur de la P-value et celle de l'indice Alpha. Ces observations s'appuient sur la comparaison des deux grandeurs. Les résultats montrent que la valeur de la P-value est supérieure à celle d'Alpha. Par conséquent, on admet l'hypothèse H0 émise en amont (Tableau 3).

Tableau 3. Résultats du test de Pettitt de la pluviométrie

Variable	Valeur
K	132
T	1999
P-value	0,1529
Alpha	0,05

Source: SODEXAM, 1970 à 2022

Dans un tel cas de figure, il ressort que dans la série chronologique de l'étude, les pluviométries n'ont connu aucune rupture véritable. Cependant, l'année 1999, est considérée comme l'année où se perçoit un changement de tendance qui se fait à la baisse. Cette baisse au niveau de cette année justifie la variabilité climatique.

Pour la confirmation des résultats fournis par le test de Pettitt, celui de Mann-Kendall a été utilisé dans l'analyse de l'évolution de la pluviométrie. Il a permis dans un premier temps de vérifier si la tendance générale est soit à la baisse ou à la hausse et d'évaluer dans un second temps, le degré de significativité de cette tendance. Ainsi, à l'instar du test précédent, l'observation est portée sur la comparaison de la P-value et de l'indice Alpha. Ces mesures ont permis de dégager la tendance et le niveau de significativité (Tableau 4).

Tableau 4. Résultats du test de MANN-KENDALL de la pluviométrie

Variable	Valeur (mm)	Variable	Valeur
Minimum pluviométrique	725,70	Taux de Kendall	0,1270
Maximum pluviométrique	1415,90	P-value	0,1819
Moyenne	1173,84	Alpha	0,05
Écart-type	132,88	Pente de Sen	-4,8

Source: Traitement de données pluviométriques de 1971 à 2020

Le test de Mann-Kendall confirme les valeurs des maxima, minima et de l'écart-type pluviométriques issues du test de Pettitt. Ceci prouve la fiabilité des données obtenues. La P-value et la moyenne pluviométrique de la série présentent, en revanche, de légères variations. Comme la P-value est supérieure à alpha, l'hypothèse H0 peut être retenue, ce qui indique l'absence de rupture majeure dans la série. Le risque de rejeter cette hypothèse est de 15,29 % (Figure 3).

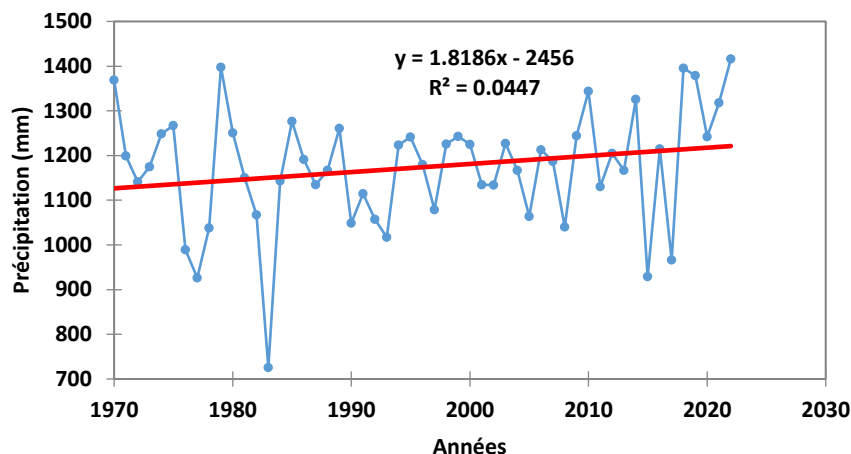


Fig. 3. Test de tendance de Mann-Kendall de la série 1970-2020

Source: Traitement de données pluviométriques de 1970 à 2020

L'analyse de la figure 3 apporte plusieurs précisions. La droite d'équation $Y = 1,8186x - 2456$ présente un coefficient directeur positif. Elle traduit une tendance hausse de la pluviométrie sur la période 1970-2020. La série indique donc une hausse progressive des hauteurs pluviométriques. Même si les tests statistiques concluent à une rupture non significative, la variabilité interannuelle reste marquée. Les écarts d'une année à l'autre demeurent importants. La tendance générale reste orientée à la baisse sur les cinq décennies étudiées.

Pour préciser l'évolution des mois les plus humides de la saison humide, le test de Mann-Kendall appliqué aux moyennes mensuelles permet d'identifier les tendances. Les résultats montrent une dualité. Certains mois diminuent, d'autres augmentent. Juin et juillet affichent une baisse progressive, avec des coefficients directeurs négatifs. Août et septembre, en revanche, montrent un infléchissement, avec des tendances relativement à la hausse.

3.1.3 LONGUE SAISON SÈCHE IMPOSANT UN STRESS HYDRIQUE PROLONGÉ

L'évolution annuelle des saisons climatiques dans la région est similaire à celle de la ville de Korhogo, chef-lieu de la région, dont le diagramme ombrothermique établi à partir des données pluviométriques et thermiques moyennes mensuelles calculées sur une période de 30 ans est présentée ci-après (Figure 4).

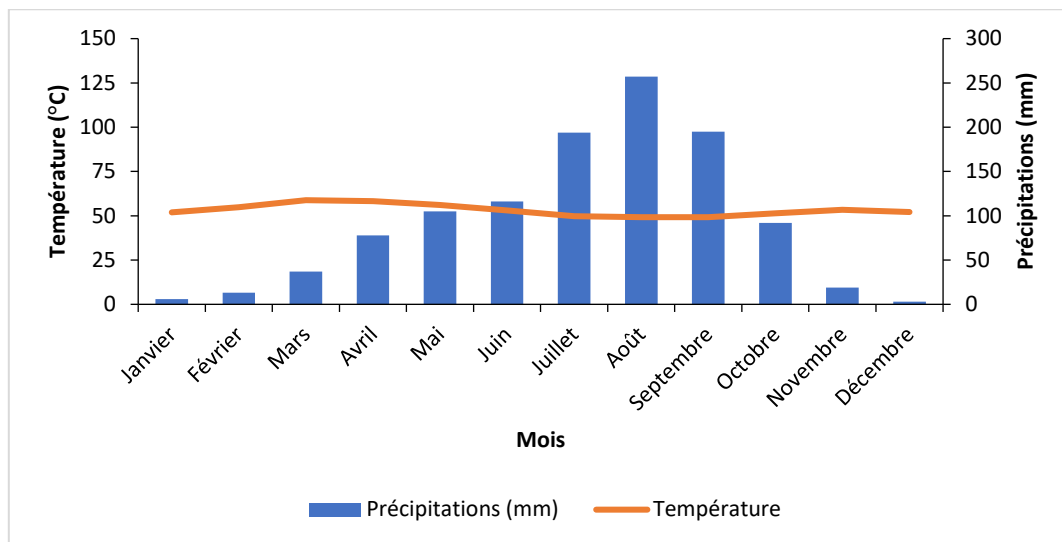


Fig. 4. Diagramme ombrothermique de la région du Poro (période 1991-2022) réalisé selon l'indice de Bagnouls et Gausson, 1953

Source: climate-data.org

Le diagramme ombrothermique de la région du Poro sur la période 1991-2022 montre un climat très saisonnier. Les pluies restent faibles de novembre à mars. Elles augmentent fortement à partir d'avril. Elles atteignent un maximum net en août, autour de 250 à 260 mm. Elles restent encore élevées en septembre, puis diminuent dès octobre. La saison des pluies se concentre donc sur quelques mois. La courbe thermique reste élevée toute l'année. Elle présente un maximum en fin de saison sèche, autour de mars et avril. Elle baisse pendant le cœur de la saison des pluies, surtout en août et septembre. Cette baisse correspond à une nébulosité plus forte et à une humidité atmosphérique plus élevée. L'amplitude annuelle des températures reste limitée. Elle traduit un régime tropical chaud. Selon l'indice de Bagnouls et Gausson, les mois secs sont ceux où les précipitations deviennent inférieures au double de la température. Sur la figure, la longue période de déficit hydrique correspond à novembre, décembre, janvier, février, mars, avril et mai. La période humide se met en place à partir de juin. Elle reste nette en juillet, août, septembre et souvent octobre. Le maximum d'humidité se situe entre juillet et septembre, avec une recharge hydrique marquée.

L'organisation saisonnière est donc claire. La saison sèche est longue et impose un stress hydrique prolongé. La saison humide est plus courte et assure l'essentiel de l'alimentation des sols, des bas-fonds et des écoulements. Le pic de pluie d'août joue un rôle central pour la recharge. La transition d'octobre annonce une baisse rapide des apports. La reprise de la forte demande évaporative se confirme ensuite en saison sèche.

3.2 ACTIVITÉS DE PÊCHE CONTINGENTÉES PAR LES SAISONS CLIMATIQUES

Le réseau hydrographique de la région du Poro présente une structure composite, constituée de ruisseaux, de rivières, d'un fleuve (le Bandama) ainsi que de nombreuses retenues d'eau à vocation agricole, pastorale, mixte, domestique et minière. Ces différents milieux aquatiques font l'objet de pratiques halieutiques variées. Toutefois, les espaces les plus exploités par les pêcheurs artisans commerciaux demeurent le fleuve Bandama et les lacs de barrage, du fait de leurs potentiels halieutiques plus élevés. Dans leur ensemble, ces plans et cours d'eau restent fortement influencés par les variations du climat local, qui conditionne à la fois leur fonctionnement hydrobiologique et la dynamique des activités de pêche.

3.2.1 CONTRAINTES AVÉRÉES SUR LE MILIEU ET LES TECHNIQUES DE PÊCHE EN SAISON SÈCHE

Pendant la saison sèche, les cours et plans d'eau sont défigurés par le stress hydrique. En effet, sa longueur conduit au dépérissement voire à la disparition périodique de la plupart des cours et plans d'eau de la région. Cette période se caractérise surtout dans ces milieux par d'importantes régressions des niveaux des eaux, laissant paraître des fonds aquatiques désolés. Les photo 1 et 2 montrent l'état de deux espaces de pêche en plein saison sèche.



Photo 1. Lit d'étiage du fleuve Bandama au niveau du pont de Sinématiali en mars 2024, période de saison sèche climatique

Cliché: Silué Zahalo Mamadou, Mars, 2024



Photo 2. Lac du barrage de Koko à Korhogo fortement réduit en saison sèche

Cliché: Silué Zahalo Mamadou, Mars, 2022

La photo 1 présente l'état du fleuve Bandama en saison sèche climatique. Les marques visibles du niveau atteint par les eaux de crue sur les piliers de l'ancien pont reliant le département de Sinématiali (région du Poro) à celui de Ferkessédougou (région du Tchologo) témoignent de l'amplitude significative des décrues dans cette partie du bassin. En fonction de la saison, le niveau d'eau varie chaque année dans le lit, selon une amplitude d'environ quatre à cinq mètres. On observe un fleuve à peine existant, présentant un très faible débit ou même un débit quasi nul à certains endroits de son lit. En comparaison aux marques sombres laissées par les eaux des périodes de crues (limite marquée en pointillés rouges sur la photo) sur les piliers de l'ancien pont qui reliait ses deux rives à cet endroit, on se rend compte d'une part, de la hauteur que peuvent atteindre ses eaux pendant le pic de la saison des pluies. D'autre part, elles dénotent l'importance de la décrue liée à la saison sèche qui laisse entrevoir un cours d'eau à la peine pendant cette période, fortement impacté par le déficit hydrique saisonnier. Cette réalité observable de façon générale sur l'ensemble des espaces aquatiques de la région en période de saison sèche est révélatrice de l'aspect physique et de l'état de transformation que subissent tous les espaces aquatiques de la région. Les retenues d'eau sont également, fortement impactées de façon négative par le stress hydrique saisonnier.

Le lac de Koko (photo 2) est fortement grevé par la saison sèche annuelle. La retenue d'eau pratiquement asséchée à cette période, laisse entrevoir un fond lacustre « assoiffé », attendant les pluies annuelles pour « s'épanouir » à nouveau. À ce stade de son évolution saisonnière, les activités qui en dépendent sont, soit fortement ralenties dans leur déroulement soit arrêtées par les acteurs, comme c'est le cas de la pêche.

Au demeurant, l'assèchement des espaces aquatiques à mesure que se prolonge la saison sèche annuelle entraîne le dépérissement des écosystèmes aquatiques dont dépendent les activités de pêche. Cette situation contribue à la baisse des quantités produites, les pêcheurs étant contraints à l'arrêt de leurs activités.

Le recul de l'eau laisse entrevoir des espaces fortement marqués par la rudesse de la saison sèche. Les décrues des eaux des espaces aquatiques causées par les déficits hydriques peuvent annihiler les possibilités de capture des engins de pêche en les exposant hors de l'eau (Planche photographique 1).

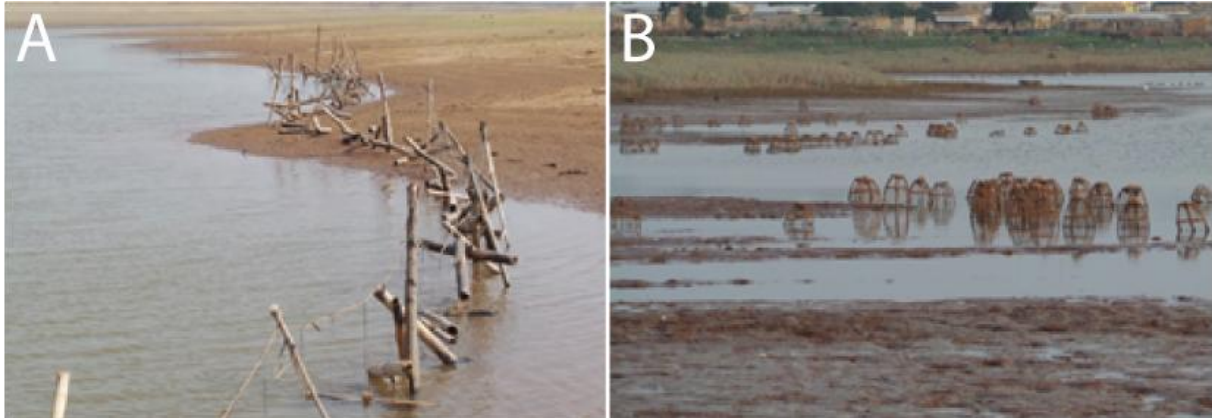


Planche photographique 1. Engins de pêche mis à nu par la décrue importante des eaux des lacs de Sologo et de Koko en saison sèche

Cliché: Silué Zahalo Mamadou, mars, 2022

Les images de la planche photographique 1 montrent des engins de pêche hors de l'eau, à la suite de la baisse importante des niveaux des lacs de Sologo (image A) et Koko (image B). Sur la photo A, une ligne de plusieurs centaines de bambous qui constituent des pièges de capture utilisés par les pêcheurs est mise au vent par la décrue de la retenue. Au réservoir de Koko (photo B), ce sont plutôt plusieurs centaines de nasses *papolo* qui se retrouvent dans cette situation. Par conséquent, le tarissement des espaces de production engendre une mise en péril des engins de capture ou dans une moindre mesure, une baisse des performances des techniques de production.

3.2.2 ACTIVITÉS DE PÊCHE LÉTHARGIQUES EN SAISON DES PLUIES

La saison pluvieuse est courte mais bénéfique aux espaces de pêche. C'est pendant cette période hivernale que les cours et plans d'eau de la région réalisent leur crue. C'est aussi, celle au cours de laquelle la faune aquatique, notamment la ressource halieutique se développe et prolifère. En substance, la saison pluvieuse par l'entremise des pluies qui assurent le remplissage saisonnier des cours et plans d'eau de la région renforce (pour certains) ou apporte à ces milieux aquatiques, les conditions d'exercice d'activités halieutiques meilleures, en permettant le développement de leurs potentialités piscicoles.

Paradoxalement, au cours de cette période, les activités de pêche, de même que les productions sont fortement réduites. Les effectifs de pêcheurs dans le campement de production connaissent également des baisses significatives. Dégarnies de leurs pêcheurs saisonniers, seuls quelques pêcheurs permanents y résident encore à cette période. En comparaison à la saison sèche, certains engins de pêche sont mis au repos au cours de cette période (Tableau 5).

Tableau 5. Engins de pêche selon la saison d'utilisation

Saison des pluies		Saison sèche	
Engin	Descriptif d'usage	Engin	Descriptif d'usage
Senne de rivage	Pêche des plaines inondées et bas-fonds en décrue	Senne de rivage	Ratissage des bas-fonds en saison sèche.
Filet maillant	Filet dormant ou dérivant en zones inondées.	Filet maillant	Usage maintenu en chenaux résiduels).
Nasse de type <i>papolo</i>	Piège posé dans les eaux de crue et zones de passage des poissons.	Nasse de type <i>durankoro</i>	Barrage piège dans le sens de l'écoulement de l'eau des cours d'eau résiduels
Lignes	Palangres/hameçons dans les chenaux durant la crue.	Lignes	Pêche à l'hameçon en eau claire et basse.
Bambou-piège	Pièges fixes installés dans les zones inondées ou en bordure de crue.	Barrage traditionnel de pêche	Barrage réalisé sur les petits cours d'eau partiellement asséchés.
Filet épervier	Filet jeté en début de crue et en décrue dans les eaux claires et peu profondes.	Filet épervier	Maintenu en saison sèche dans les trous d'eau et zones peu profondes.
		Harpon	Utilisé pour la chasse aquatique en apnée

Source: Enquête de terrain, Silué Zahalo Mamadou, 2022-2024

Les engins les plus en vue sont les filets maillants, les petites nasses *papolo*, les *nêguêdjô* (nasses en grillage), les filets éperviers, les palangres, les bambous-pièges et les sennes de rivage. En revanche les hauteurs des niveaux d'eaux contraignent les pêcheurs à la mise au repos des grandes nasses *durankoro* utilisées en saison sèche pour la construction des barrages de pêche. Les harpons, moins appropriés à cette période sont aussi rarement utilisés.

3.3 NIVEAUX DE PRODUCTION CORRÉLÉS AUX SAISONS CLIMATIQUES

Qu'ils résultent des variations naturelles saisonnières ou des incertitudes climatiques, les changements observés dans le régime hydrologique de la région entraînent des répercussions significatives sur les modes de production des pêcheurs, affectant à la fois les périodes de capture, les zones d'exploitation et la productivité globale des unités de pêche.

Cependant, la quasi-absence de données de production halieutique complètes et continues sur plusieurs années au niveau de la Direction régionale des pêches rend problématique la réalisation d'analyses pertinentes mettant en exergue le rapport entre l'évolution des saisons climatiques et les saisons de pêche. De ce fait, nos analyses à ce niveau sont en grande partie basées sur les déclarations des pêcheurs. Toutefois, les données de l'année 2019 (les seules complètes) permettent d'apprécier cette réalité (Figure 4).

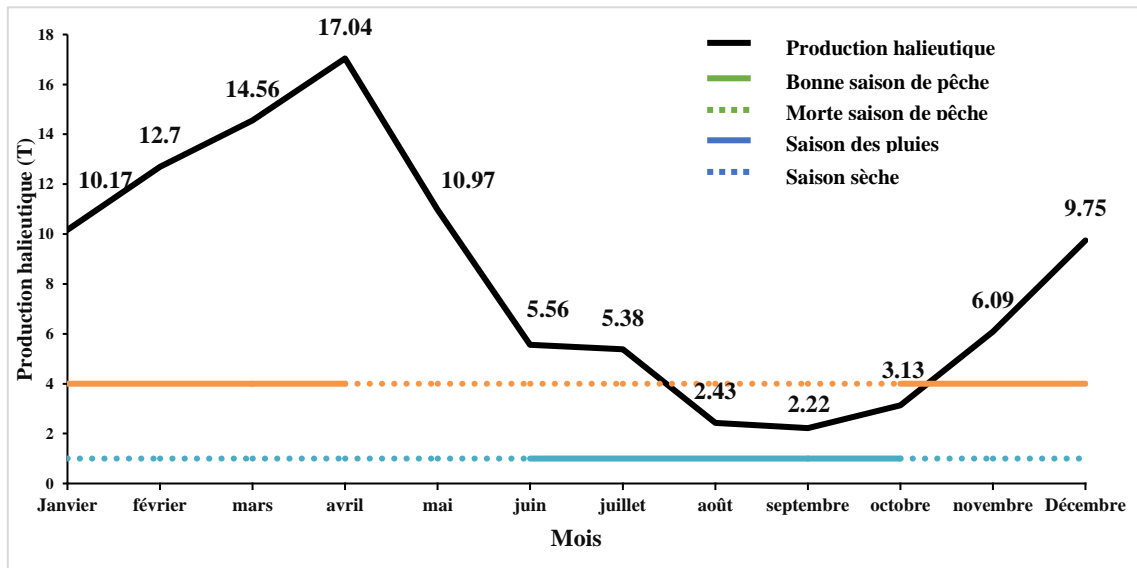


Fig. 5. Évolution de la production halieutique régionale du Poro au cours de l'année 2019

Source: Direction régionale des pêches (Korhogo), 2019

À l'échelle d'une même année, la superposition des mois des saisons climatiques, de ceux des saisons de pêche et de l'évolution mensuelle de la production met en relief l'importance de la corrélation "saison sèche climatique-bonne saison de pêche". On observe que les mois de décembre à avril en pleine saison sèche, enregistrent les productions halieutiques les plus importantes. En revanche, les mois pluvieux (juin à septembre) correspondent aux productions les plus faibles, notamment les mois d'août et septembre qui sont ceux des pics des précipitations dans la région. Mais, cette situation est également observée au cours des mois de fin de saison sèche (fin avril à mai). Ces données contribuent donc à confirmer les déclarations issues des entretiens réalisés avec les pêcheurs. Ils soulignent en effet, dans leurs discours une baisse de leurs captures pendant la saison des pluies. Cependant, ils prennent soin de noter que, les années de bonne production sont celles qui connaissent une bonne pluviométrie. Par contre, les années peu pluvieuses entraînent de faibles productions.

Les précipitations sont indispensables à la pratique des activités halieutiques. En effet, l'abondance de l'eau est utile pour le développement des espèces halieutiques. Elle exerce une influence sur la production (Figure 5).

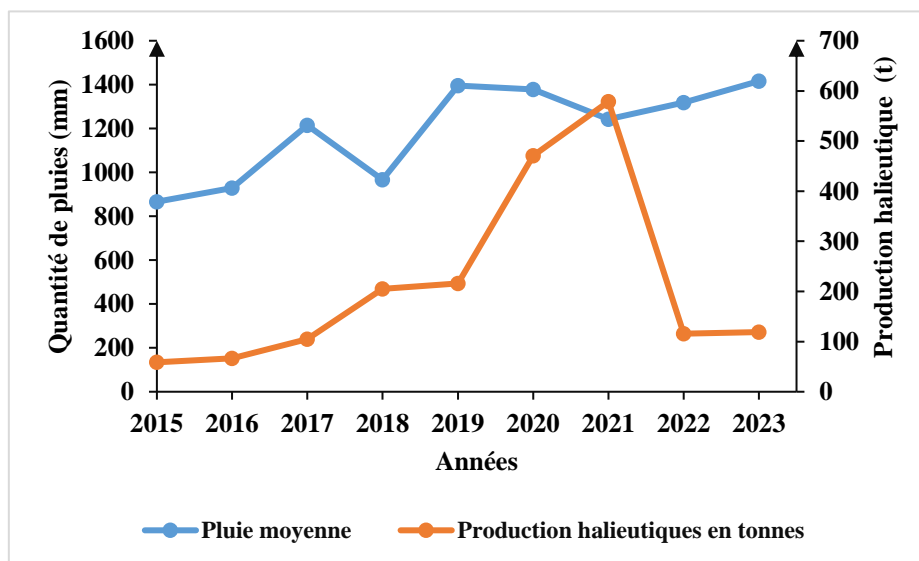


Fig. 6. Évolution de la production halieutique dans la région du Poro en fonction de la pluie de 2015 à 2023

Source: Données halieutique du MIRAH et SODEXAM Korhogo, 2024

Sur la période 2015-2023, la pluviométrie moyenne montre une tendance globale à la hausse, passant de 866 mm en 2015 à 1415 mm en 2023, avec une baisse marquée en 2018 (966 mm) et un léger fléchissement en 2021 (1242 mm). Parallèlement, la production halieutique progresse fortement entre 2015 et 2021, de 58,65 tonnes à un maximum de 578,60 tonnes, avant de chuter brutalement à 118,79 tonnes en 2022, niveau qui se maintient en 2023. La baisse enregistrée entre 2021 et 2023 représente ainsi une perte d'environ 460 tonnes par rapport au pic de production.

L'examen conjoint des deux courbes met en évidence une relation globalement positive entre pluviométrie et production durant la première séquence 2015-2021. Dans cet intervalle, les deux séries évoluent majoritairement à la hausse. Cela qui suggère que des précipitations abondantes contribuent au bon fonctionnement des systèmes halieutiques. Des cumuls pluvieux élevés favorisent en effet le remplissage des plans d'eau, l'apport de nutriments, la productivité planctonique et, plus largement, l'amélioration des conditions de reproduction, de croissance et de disponibilité des stocks exploités. Une part de la hausse de la production observée jusqu'en 2021 peut donc être imputée au renforcement des apports pluviométriques en saison des pluies.

Cette relation n'est toutefois ni linéaire ni exclusive. En 2018, par exemple, la chute de la pluviométrie à 966 mm coïncide paradoxalement avec une hausse de la production de 66,69 à 105,17 tonnes, ce qui traduit soit une certaine résilience des systèmes, soit l'effet ponctuel d'autres facteurs favorables, techniques, organisationnels ou institutionnels. De même, le pic de 578,60 tonnes en 2021 intervient malgré une légère baisse des pluies par rapport à 2020, ce qui confirme que la seule pluviométrie ne suffit pas à expliquer la dynamique des captures.

La rupture la plus nette apparaît entre 2021 et 2023. Alors même que la pluviométrie se maintient à des niveaux élevés, la production s'effondre et ne montre aucun signe de redressement. Cette divergence met en évidence le rôle déterminant d'autres facteurs que la seule pluie. Une pression de pêche accrue et mal régulée, la dégradation de la qualité de l'eau (pollution, eutrophisation, envasement), la perturbation des cycles biologiques ou la modification des habitats aquatiques peuvent être avancées comme hypothèses explicatives de cette chute récente.

À partir des statistiques de la Direction régionale du MIRAH pour la période 2015-2023 et des données pluviométriques fournies par la SODEXAM pour la même période, la recherche d'une corrélation entre les productions halieutiques et les quantités de pluies a été réalisée par l'utilisation du test de régression de Bravais Pearson (Figure 6).

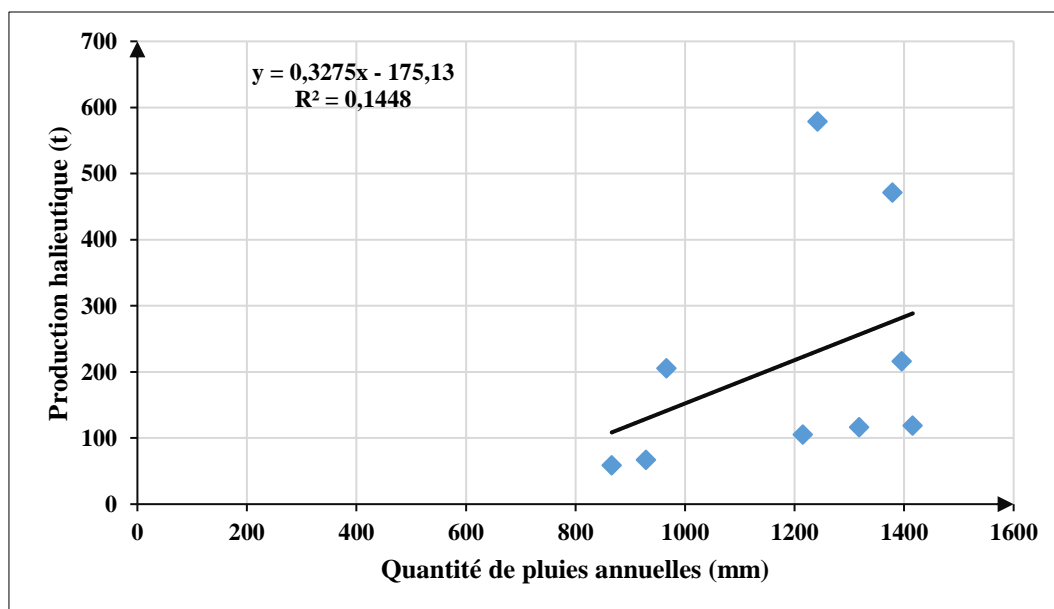


Fig. 7. Corrélation entre la production halieutique et la pluviométrie de 2015 à 2023 de la région du Poro

Source: Données halieutiques du MIRAH et SODEXAM Korhogo, 2024

Dans l'analyse corrélationnelle réalisée, la production halieutique a été considérée comme variable dépendante et les précipitations comme variable explicative. Le nuage de points, associé à sa droite de régression, présente une tendance

générale croissante. Le coefficient directeur positif de cette droite traduit une évolution conjointe des deux variables, suggérant l'existence d'une corrélation positive, quelle qu'en soit l'intensité.

Pour mesurer cette intensité, le coefficient de corrélation de Pearson (R) a été calculé. Il est égal à 0,3805. Le coefficient de détermination R^2 est de 0,1448, ce qui signifie que 14,48 % de la variabilité des productions halieutiques est imputable aux variations des quantités de pluie. Autrement dit, l'essentiel de la variabilité de la production s'explique par d'autres facteurs que la seule pluviométrie annuelle. La significativité statistique de cette corrélation a été testée au seuil de 5 % avec un degré de liberté égal à 7. La valeur critique du coefficient de corrélation lue dans la table de Pearson est de 0,6664. Le coefficient observé, 0,3805, étant inférieur à cette valeur critique, l'hypothèse nulle d'absence de corrélation ne peut pas être rejetée au seuil de 5 %. La relation mise en évidence reste donc statistiquement non significative.

En somme, la corrélation entre les précipitations annuelles et la production halieutique apparaît modérée. Le faible niveau de variance expliquée ($R^2=14,48$ %) et la non-significativité statistique, au seuil de 5% ($\alpha=0,05$), indiquent que la pluviométrie annuelle ne constitue pas le seul facteur déterminant des variations de production. D'autres variables interviennent de manière plus décisive. Il s'agit, entre autres, de l'usage d'engins de pêche non conventionnels ou illégaux, de la dégradation de la qualité de l'eau liée aux pratiques agricoles, industrielles ou à l'orpillage, ainsi que de la prolifération des macrophytes aquatiques qui perturbe les habitats piscicoles et réduit l'efficacité des engins de capture. L'effet combiné de ces facteurs contribue vraisemblablement à expliquer une part plus importante des dynamiques observées.

4 DISCUSSION

Plusieurs travaux antérieurs ont consolidé la connaissance du climat de la région du Poro décrit dans cette étude. Ainsi, [9] a dépeint un climat tropical soudanais à deux saisons dont le rythme dépend du déplacement de la zone de convergence intertropicale, ou Front Intertropical (F.I.T). La saison sèche dure six à huit mois. Son intensité augmente avec la latitude entre 8 et 11 degrés Nord [9]. Les pluies se concentrent surtout de juin à septembre avec un maximum en août [9]. Des travaux plus récents ont confirmé ce schéma [3]. L'accent a été mis par [1] sur la longueur de la période sèche, en soulignant la faiblesse du nombre des jours pluvieux, compris entre 60 et 120 jours.

L'analyse conduite dans la présente étude à travers l'utilisation de l'indice de S. E. Nicholson (1981) appliqué aux données de la série 1971-2022, indique une hausse des incertitudes climatiques. Cette hausse se traduit par une variabilité interannuelle des précipitations et une irrégularité des écoulements hydriques. Ces tendances s'inscrivent dans un cadre ivoirien plus large déjà documenté, dans lequel quatre épisodes de sécheresse marquants au XX^{ème} siècle ont été identifiés par [38]. Il les situe en 1943, au cours des périodes 1968-1970, 1982-1983 et en 1993. Il s'en dégage une fluctuation interannuelle en deux phases: une phase excédentaire et une phase déficitaire [33].

D'une façon générale, ces paramètres climatiques influencent fortement les systèmes de production halieutique. Il a par exemple été souligné la forte dépendance des captures continentales africaines, des facteurs climatiques externes; notamment leur impact sur la variabilité saisonnière des eaux de surface [21]. Leurs effets seraient plus déterminants que l'exploitation humaine et les mesures de gestion [21]. Un constat similaire est fait par [10] qui relève les modifications générées sur les ressources halieutiques continentales par les cycles climatiques, appréhendés par la pluviométrie. Ils agissent sur l'extension ou la contraction des espaces aquatiques selon la crue ou la décrue. Ils modulent aussi les apports nutritifs par l'intermédiaire de la crue et du drainage des pluies [10].

Dans la région du Poro, ce cadre climatique structure la dynamique halieutique par ses effets sur les espaces et les techniques. La longue saison sèche provoque des étiages prolongés. Elle entraîne des assèchements de cours d'eau et de plans d'eau. Au cours de cette période, les eaux se retirent progressivement des zones inondées. Elles se concentrent dans les lits mineurs et les zones profondes des lacs de barrage. Le stock ichtyque suit ce reflux. Les pêcheurs qui, à travers leur vécu, appréhendent bien la portée bénéfique de ce phénomène, mobilisent leurs connaissances empiriques pour en tirer parti. Ils exploitent alors une ressource plus concentrée. Par conséquent, les captures augmentent souvent au début de cette phase. Ensuite, la production décroît quand l'étiage atteint ses niveaux les plus bas; les très basses eaux réduisant fortement ou asséchant complètement les espaces de capture. Elles imposent parfois le retrait temporaire d'engins dans certains secteurs. Elles provoquent aussi l'arrêt d'activité de certains pêcheurs migrants saisonniers. Un constat semblable a été fait au lac de Koko, dans la ville de Korhogo [26]. Ces auteurs y décrivent le retrait des nasses et l'arrêt d'activité des pêcheuses de ce réservoir, en lien avec l'étiage. Des migrations saisonnières de pêcheurs ont aussi été observées en rapport avec l'évolution physique des espaces de pêche sous l'effet de la saison sèche climatique [34]. Les déplacements saisonniers de ces acteurs, leur servent d'ajustement de leur activité face aux conditions environnementales changeantes des espaces de pêche. Dans ce contexte, l'affirmation selon laquelle « *les pluies hivernales ne suffisent pas à soutenir la pêche pendant la longue saison sèche* » [35], apparaît discutable.

La baisse de production s'observe aussi durant la saison des pluies. Elle s'explique par l'extension rapide des surfaces inondées. Les eaux débordent des lits mineurs, atteignant les végétations rivulaires. Au pic de la crue, elles gagnent les plaines inondables. Ces espaces apportent des nutriments issus des broussailles immergées. Ainsi donc, la fluctuation saisonnière des niveaux des eaux stimule la productivité des poissons [21]. De ce fait, ce mécanisme est associé à la formation de la biomasse [18]. Cet auteur l'a souligné en ces termes:

« Ce phénomène amorce une cascade de processus biotiques. Ceux-ci commencent par la remise en suspension des débris de matières organiques qui vont être minéralisées par les bactéries ou directement consommées par des micro-organismes hétérotrophes, le tout contribuant, sous forme de sels nutritifs ou de microplancton, à alimenter la chaîne trophique aquatique. Cette chaîne trophique emprunte ensuite différents chemins, certains passant par la croissance des macrophytes, supports de la multiplication d'une multitude de petits organismes épiphytes, d'autres par le développement du phytoplancton bientôt consommé par le zooplancton. Mais dans tous les cas, cette abondance d'organismes vivants ou morts va permettre à d'innombrables alevins et juvéniles de poissons de se nourrir et de grandir rapidement. » [18].

Par conséquent, la disponibilité des stocks de poissons dépend directement des précipitations, car elles pilotent l'intensité et la durée des crues. Dans des milieux hydrologiquement instables comme les lacs et les réservoirs, la productivité biologique, des algues aux poissons, repose surtout sur les apports et le recyclage des nutriments induits par le cycle annuel des crues [21]. Ce mécanisme inclut la remise en circulation des nutriments liée à l'inondation des bordures lacustres, des plaines inondables et des marécages associés. Les zones temporairement submergées deviennent alors des espaces fonctionnels majeurs pour certaines espèces, décrites comme des « zones de prédilection » [37]. Dans le même sens, il a été démontré que la dynamique des crues structure les déplacements des poissons, notamment à travers des « migrations latérales » vers les habitats inondés [2]. Les poissons y trouvent des conditions plus favorables, dont une oxygénation localement améliorée, et une ressource alimentaire accrue liée à la décomposition de la végétation ennoyée.

Parallèlement, cette expansion spatiale de l'habitat a un effet immédiat sur la pêche. Elle disperse les individus et réduit la densité des bancs accessibles, ce qui diminue la fraction exploitable du stock. Il en résulte une baisse des captures, particulièrement lors des très hautes eaux d'août et septembre, « lorsque la dispersion s'accroît avec la montée du niveau » [2]. Cette relation entre la hauteur des eaux et l'éloignement des poissons des lits mineurs, s'observe aussi à l'échelle de retenues ivoiriennes. Ces observations ont été confirmées respectivement aux lacs des barrages de Koko, dans la ville de Korhogo et de Buyo [26], [27]. Les premiers auteurs expliquent cette baisse par l'élargissement des espaces de mobilité, avec un départ des poissons, des lits principaux et des cuvettes des retenues au profit des zones périphériques inondées [26]. Le second souligne que la crue dégrade les captures par unité d'effort, y compris pour les espèces grégaires, parce qu'elles deviennent plus dispersées.

À cette contrainte s'ajoute une dégradation des conditions d'exploitation liée à la prolifération saisonnière des macrophytes. Le développement et la forte présence de cette végétation affecte négativement la qualité de l'eau et freine les activités, dont la pêche, par la modification des habitats et des conditions de travail [31].

En somme, les résultats obtenus confirment le rôle structurant de l'hydrologie saisonnière dans le fonctionnement des systèmes halieutiques de la région du Poro. Ils montrent l'étroite dépendance de la productivité halieutique, de la durée, de l'intensité et de la régularité de la recharge hydrologique annuelle [39], [40]. Dans les régions tropicales soudano-sahéliennes, les crues de courte durée conditionnent les cycles biologiques des espèces exploitées. Elles déterminent les phases de reproduction, de dispersion spatiale et d'accessibilité des stocks pour les pêcheurs [28]. La réduction ou l'irrégularité des crues provoque une concentration des poissons dans des espaces restreints. Cette situation accroît la pression de pêche et accélère la dégradation des stocks ichtyques [40].

Dans ce contexte, une gestion des pêcheries calée sur le calendrier hydrologique constitue une exigence écologique majeure. Elle permet d'ajuster l'effort de pêche aux phases critiques du cycle de vie des espèces. Elle limite la surexploitation pendant les périodes de faible connectivité hydrique. Elle favorise la reconstitution des stocks lors des phases de reproduction et de croissance [14]. Ainsi, l'intégration des données hydrologiques dans la gouvernance halieutique améliore durablement la performance des pêcheries continentales africaines [14]. De fait, un dispositif de suivi régulier des paramètres hydrologiques et halieutiques permet d'anticiper les effets des anomalies pluviométriques saisonnières. Il réduit les risques économiques pour les pêcheurs et renforce la sécurité alimentaire locale. Dans les régions caractérisées par de fortes variabilités interannuelles des pluies, comme c'est le cas dans la région du Poro, cette stratégie apparaît prioritaire. Elle constitue un levier d'adaptation face aux changements climatiques observés en Afrique de l'Ouest. Elle s'inscrit enfin dans les principes de la gestion écosystémique des pêches, fondée sur la prise en compte des dynamiques environnementales et des contraintes saisonnières des milieux aquatiques.

5 CONCLUSION

Cette étude montre que les saisons climatiques structurent directement la production halieutique du Poro. La pêche fortement conditionnée par les variations saisonnières des pluies. La saison des pluies réactive les cours d'eau et les plaines d'inondation. La saison sèche, renforcée par l'harmattan, dégrade ces milieux et accentue les contraintes hydriques. Il en résulte une alternance annuelle de périodes de bonne et de faible production. Les productions les plus élevées se concentrent globalement en saison sèche. Les faibles productions coïncident avec les mois pluvieux. À l'échelle interannuelle, les années de bonne production suivent une bonne pluviométrie. La relation pluie-production apparaît globalement positive.

Au final, les résultats montrent l'intérêt d'une gestion alignée sur une recharge hydrologique brève. Ils confirment la nécessité d'un suivi régulier des données et d'une planification saisonnière des activités de pêche.

REFERENCES

- [1] Albergel J. « Le nord de la Côte d'Ivoire, un milieu approprié aux aménagements de petite et moyenne hydraulique ». In: Cecchi P.: *L'eau en partage, les petits barrages de Côte d'Ivoire*, Éditions IRD, Coll. Latitudes 23, Paris, pp. 45-57, 2007.
- [2] Bénech V., « Les migrations latérales des poissons dans le delta intérieur du Niger ». In: Orange D., Arfi R., Kuper M., Morand P., Poncet Y.: *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales*, Colloques et Séminaires, Séminaire international de Bamako, IRD Éditions, Paris, pp. 329-341, 2002.
- [3] Cecchi P., Gourdin F., Koné S., Corbin D., Etienne J. et Casenave A., « Les petits barrages du nord de la Côte d'Ivoire: inventaire et potentialités hydrologiques ». In: *Sécheresse*, Vol. 20, n° 1, pp. 112-122, 2009.
- [4] Da Costa K. S., Traoré K. et Tito de Morais L., « Effort de pêche et production exploitée dans les petites retenues du Nord de la Côte d'Ivoire ». In: *Bulletin français Pêche. Pisciculture*, 71 (348), pp. 65-78, 1998.
- [5] Direction de l'Aquaculture et des Pêches (DAP), « *Annuaire des Statistiques des Pêches et de l'Aquaculture* ». Ministère des Ressources Animales et Halieutiques (MIRAH), Abidjan (Côte d'Ivoire), 20 p, 2014.
- [6] David G., « La pêche côtière océanique et son environnement ». In: *Journal de la Société des Océanistes, Journal de la Société des Océanistes. Spécial environnement dans le Pacifique*, 247-269, [En ligne], pp. 126-127, Année 2008-1/2, mis en ligne le 15 décembre 2011. URL: <http://journals.openedition.org/jso/4352>; DOI: <https://doi.org/10.4000/jso.4352>, 2008.
- [7] Diobo K. S. D., « *Environnement et activités économiques dans l'émergence et l'évolution spatiale de l'Ulcère de Buruli: cas du département de Daloa* ». Thèse de doctorat unique, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 231 p, 2012.
- [8] Diomandé B. Ibrahim, Kouadio P., Konan M. et N'guessan B.-S. Y., « Variabilité pluviométrique et riziculture dans la sous-préfecture de Béoumi au centre-nord de la Côte d'Ivoire ». In: *Revue de Géographie tropicale et environnement*, IGT, Abisjan, n°02, pp. 7-18 p, 2016.
- [9] Eldin M., « Le climat ». In: Avenard J.-M., Eldin M., Girard G., Sircoulon J., Touchebeuf P., Guillaumet J. L., Adjanohoun E., Perraud A.: *Le milieu naturel de Côte d'Ivoire*. Orstom, coll. mémoires, n°50, Paris, pp. 73-108, 1971.
- [10] FAO, « *L'état des ressources halieutiques mondiales: Les pêches continentales* ». Circulaire sur les pêches N° 942. FIRI / C 942 (fr), Rome, Italie, 66 p, 2000a.
- [11] FAO, « Land resource potential and constraints at regional and country levels ». World Soil Resources, Report n° 90, Rome, Italie, 114 p, 2000b.
- [12] FAO, « *Vue générale du secteur des pêches national, Burkina Faso* ». Profils des pêches et de l'aquaculture par pays, FID/CP/BFA, Rome, Italie, 19 p, 2007.
- [13] FAO, « *Profil de la pêche par pays: La République de Côte d'Ivoire* », 43 p.
Repéré à: https://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/fcp/fr/FI_CP_CV.pdf, 2008.
- [14] FAO, « *Gestion des pêches continentales en Afrique* ». Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, <https://www.fao.org>, 2012.
- [15] FAO, « La Situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2022. Vers une transformation bleue ». Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461fr>, 2022.
- [16] FAO, « Résumé de La Situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2024. La transformation bleue en action ». Rome. <https://doi.org/10.4060/cd0690fr>, 2024.
- [17] INS, *RGPH-2021: Résultats globaux*, Abidjan, Côte d'Ivoire, 37 p, 2022.
- [18] Kodio A., Morand P., Kaïmama D. et Laë R., « Dynamique de la pêcherie du delta intérieur du Niger revisitée à la lumière des données récentes. Implications en termes de gestion ». In: D. Orange, R. Arfi, M. Kuper, P. Morand, Y. Poncet: *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales*, Colloques et Séminaires, Séminaire international de Bamako, IRD Éditions, Paris, pp. 431-453, 2002.

- [19] Koffi C., « Aspects socio-économiques des pêches et de la commercialisation des ressources des plans d'eau hydroagropastoraux du nord de la Côte d'Ivoire ». In *IDESSA* (ed.). Valorisation du potentiel piscicole des barrages hydro-agropastoraux du Nord de la Côte d'Ivoire, CNRA, Bouaké, Côte d'Ivoire, pp. 143-163, 1992.
- [20] Koffi C., « Aspects économiques de l'exploitation des ressources halieutiques des petits barrages du Nord de la Côte d'Ivoire ». In: *Agronomie Africaine*, Volume 12, N° 1, p. 33-49, 2000.
- [21] Kolding J., van Zwieten P., Marttin F. et Poulain F., « *La pêche dans les zones arides d'Afrique subsaharienne: « Le poisson vient avec la pluie »* ». Favoriser la résilience dans les zones arides pour la sécurité alimentaire et la nutrition des populations qui dépendent de la pêche, FAO, Circulaire sur les pêches et l'aquaculture, n° 1118, FIAF/C1118 (Fr), Rome, Italie, 64 p, 2017.
- [22] Koudou D., « *Pêche et développement socioéconomique: cas de la sous-préfecture de Taabo (Côte d'Ivoire)* ». Thèse unique de doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, Institut de Géographie Tropicale, Abidjan, Côte d'Ivoire, 349 p, 2012.
- [23] Koudou D., « Analyse de l'état de pauvreté des pêcheurs artisanaux de la région du Poro (Nord de la Côte d'Ivoire) ». In: *Environnement et Dynamique des Sociétés (EDS)*, Revue scientifique thématique semestrielle, Laboratoire d'étude et de recherche sur les territoires sahélo-sahariens: aménagement, développement, Université Abdou Moumouni (Niger), N° 003, pp. 316-337, 2020.
- [24] Koudou D., Kouadio N. K. F., Silué P. D. et Zran Gonkanou Marius, « Organisation et gestion d'un espace marchand spontané pour le commerce du poisson frais dans la ville de Korhogo, au Nord de la Côte d'Ivoire ». In: *Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou (RGO)*, Volume 2, N°004, pp. 43-64, 2015.
- [25] Koudou D., Kouman K. M., Alla K. A. et Drama B. G. H., « Mobilité des mareyeurs dans l'approvisionnement de la ville de Korhogo en produits de la pêche locale ». In: *Revue des sciences sociales du PASRES* (Rss-pasres), PASRES Éditions, 4ème année, Numéro spécial, pp. 63-78, 2016.
- [26] Koudou D., Silué P. D., Alla K. A., N'cho A. J. et Anoh K. P., « Fluctuation saisonnière des eaux et dynamique spatiale des activités halieutiques des pêcheuses du lac de Korhogo, Côte d'Ivoire ». In: *European Journal of Social Sciences Studies*, Volume 5, Issue 2, pp. 10-30. doi: 10.5281/zenodo.3782879, 2020.
- [27] Kouman K. M., « *Implantation des pêcheurs dans le Sud-ouest de la Côte d'Ivoire: permanence et mutation dans l'organisation de l'espace* ». Thèse unique de doctorat de géographie, Université de Cocody-Abidjan, Institut de géographie tropicale, 419 p, 2008.
- [28] Lévêque C., Paugy D., « Les poissons des eaux continentales africaines ». IRD Éditions, <https://www.ird.fr>, 2006.
- [29] Marie C. C.-S., « Concepts et méthodes de la géographie pour l'étude des espaces halieutique ». In: Laloe F., *Table ronde ORSTOM/IFREMER*, Montpellier, France, pp. 187-207, 1995.
- [30] Michel E., « *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire* ». Paris: Mémoires ORSTOM, 391 p, 1971.
- [31] N'dah E. et Afri R., « Macrophytes aquatiques dans les eaux « continentales » ivoiriennes », CRO, vol XV, n°2, 25 p, 1996.
- [32] Nicholson S., « Recent rainfall fluctuation in Africa and their relationship to past conditions over the continent, Holocene », *Florida state University*, pp. 121-131, 1994.
- [33] Noufé D., Lidon B., Mahé G., Servat E., Brou Y. T. et Koli Bi Z. B. et Chaleard J.-L., « Variabilité climatique et production de maïs en culture pluviale dans l'Est ivoirien ». In: *Hydrol. Sci. J.*, 56 (1), pp. 152-167, 2011.
- [34] Shep H., Allechi Y. L., Traoré F. et Konan K. S., « *Enquête cadre de la pêche artisanale continentale* ». Rapport final, ministère des Ressources animales et halieutiques, Union économique et monétaire ouest-africaine, 67 p, 2013.
- [35] Silué P. D., « *Impact socio-spatial des retenues d'eau dans le Nord de la Côte d'Ivoire: Cas de la région des Savanes* ». Thèse unique de doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, Institut de Géographie Tropicale, Abidjan, Côte d'Ivoire, 335 p, 2012.
- [36] Tito De Morais L., Da Costa K. S., Raffray J. et Traoré K., « Pêches artisanales dans les petits barrages ». In: Cecchi Ph. *L'eau en partage, les petits barrages de Côte d'Ivoire*, Éditions IRD Coll. Latitudes 23, Paris, pp. 217-227, 2007.
- [37] Traoré K., « *État des connaissances sur les pêcheries continentales ivoiriennes* ». Projet FAO TCP/IVC/4553. Rapport de consultation, avril 1996. www.fao.org/docrep/fiel/009/ag188f/AG188F07.htm, 1996.
- [38] Traoré M., « *La sécheresse en Côte d'Ivoire: Impacts et stratégies d'adaptation* ». Presses universitaires de Côte d'Ivoire, Abidjan, Côte d'Ivoire, 25 p, 2018.
- [39] Welcomme R. L., « *Fisheries Ecology of Floodplain Rivers* ». Longman, Londres, 1979.
- [40] Welcomme R. L., « *Inland Fisheries Ecology and Management* ». FAO and Blackwell Science, <https://www.fao.org>, 2001.

Effets de l'extrait aqueux des feuilles de ricin (*Ricinus communis var sanguineus L.*) sur les ravageurs et le rendement de la culture de niébé (*Vigna unguiculata L.*) dans la ville de MbujiMayi, RD Congo

[Effects of the aqueous extract of castor leaves (*Ricinus communis var sanguineus L.*) on pests and the yield of cowpea (*Vigna unguiculata L.*) cultivation in the city of Mbuji-Mayi, DR Congo]

Aimé Tshibanda Fwabana¹, André Kayombo Mbumba¹, and John Tshibamba Mukendi¹⁻²

¹Université Officielle de MbujiMayi, RD Congo

²Institut National d'Etudes et Recherches Agronomiques, Ngandajika, RD Congo

Copyright © 2026 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the efficacy of aqueous extract of ricin oil leaves on pests of two cowpea varieties in the field (Diamond and Mujilanga «H36» varieties) and to determine the best dose that promotes good yield. For the experiment, a completely randomized split plot design with four blocks and five treatments was set up, including the control (T0), Zalang 50EC (chemical insecticide) at 1 L/m² (T1), ricin leaf aqueous extract at 1.125 L/ m² (T2), ricin leaf aqueous extract at 1.375 L/ m² (T3) and ricin leaf aqueous extract at 1.625 L/ m² (T4).

The results obtained; with regard to the production variables, the best treatments that induced a high yield were T1 with 1.20T/ha and T3 with 0.935T/ha for the diamond variety (V1) and T1 with 1.22T/ha and T3 with 0.915T/ha for the Mujilanga variety (V2). As for the phytosanitary variables, the insect pests identified before and after the first application of phytosanitary products (organic and synthetic) were *Ootheca mutabilis*, *Thrips megalothrips*, *Mylabris ssp*, *Muracate vitrata* and pod bugs. After the second application, *Aneplocnemis curvipes* appeared while *Thrips megalothrips* and *Mylabris ssp* were no longer identified. The number of these insect pests decreased significantly after the application of plant protection products, except for the control treatment (T0) in which the number of insect pests increased with the cowpea crop cycle.

KEYWORDS: Ricin, pests, cowpea, yield.

RESUME: L'objectif de cette étude était d'évaluer l'efficacité de l'extrait aqueux des feuilles de Ricin sur les ravageurs de deux variétés du niébé au champ (Variétés Diamant et Mujilanga «H36») et d'en déterminer la meilleure dose qui favorise un bon rendement. Pour l'expérimentation, un dispositif complètement randomisé en split plot à quatre blocs et cinq traitements a été mis en place, notamment le témoin (T0), la Zalang 50EC (insecticide chimique) à 1 L/m² (T1), l'extrait aqueux des feuilles de ricin à 1,125 L/ m² (T2), l'extrait aqueux des feuilles de ricin à 1,375 L/ m² (T3) et l'extrait aqueux des feuilles de ricin à 1,625 L/ m² (T4).

Les résultats obtenus; en ce qui concerne les variables de production, les meilleurs traitements ayant induits un rendement élevé sont T1 avec 1,20T/ha et T3 avec 0,935 T/ha pour la variété diamant (V1) et T1 avec 1,22T/ha et T3 avec 0,915T/ha pour la variété Mujilanga (V2). Quant aux variables phytosanitaires, les insectes ravageurs identifiés avant, après la première application des produits phytosanitaires (bio et synthèse) sont les *Ootheca mutabilis*, *Thrips megalothrips*, *Mylabris ssp*, *Muracate vitrata* et les punaises de gousses. Après la deuxième application, l'*Aneplocnemis curvipes* est apparu alors que les *Thrips megalothrips* et *Mylabris ssp* n'ont plus été identifiés. Le nombre de ces insectes ravageurs décroît sensiblement après l'application des produits phytosanitaires, exception faite pour le traitement témoin (T0) dans lequel le nombre des insectes ravageurs croît avec le cycle de la culture de niébé.

MOTS-CLEFS: Ricin, ravageurs, niébé, rendement.

1 INTRODUCTION

Le niébé, *Vigna unguiculata* (L.) walp, est une des principales légumineuses alimentaires, cultivé sur plus de 9 millions d'hectares dans toutes les zones tropicales et dans le bassin méditerranéen. La production de graines dépasse 2,5 millions de tonnes dont les deux tiers proviennent principalement d'Afrique (Useni et al., 2014). Sur le plan alimentaire cette plante représente une source importante des protéines et d'énergie tant pour les humains que pour les animaux (Munyuli, 2009). Malheureusement au Kasai oriental cette légumineuse alimentaire se caractérise très souvent par des rendements faibles et instables (0,1 à 0,25T/Ha). Cela s'explique d'une part par la sensibilité aux contraintes abiotiques (froid, chaleur, dégradation du sol et perturbations climatiques) et d'autres parts par des contraintes biotiques (maladies et insectes ravageurs) (Mukendi, 2010, Munyuli et al, 2009).

Selon Kalonji (2017), le niébé est attaqué par une gamme très large d'insectes ravageurs au stade végétatif, à la floraison et à la fructification pouvant causer une perte de rendement de l'ordre de 80 à 100% si aucune précaution n'est envisagée. Le même auteur atteste que plus de cent (100) espèces d'insectes ravageurs ont été répertoriées en Afrique, mais les espèces telles que: *Aphis crassivora*, *Megalothrips sjostdii*, *Maruca vitrata*, *Mylabris ssp*, *Ootheca mutabilis* sont les principaux ravageurs les plus fréquents dans beaucoup de champs de niébé en République Démocratique du Congo.

Cependant, plusieurs techniques ont été préconisées pour lutter contre les ravageurs du niébé au champ, il s'agit de la lutte biologique, chimique et les pratiques culturales (Kpoviessi D. et al., 2017).

Pour faire face à la menace des ravageurs de la culture de niébé, l'utilisation d'insecticides chimiques de synthèse s'avère performante puisqu'elle donne des résultats satisfaisants dans l'accroissement du rendement du niébé enregistrés dans maintes régions (Djiéto, 2007).

Malgré ces résultats spectaculaires, l'utilisation d'insecticides chimiques de synthèse n'est pas une bonne stratégie recommandable aux agriculteurs du fait de leur toxicité aigue (à court terme) qui peut se manifester par une dépression du système nerveux central (perte de connaissance, arrêt cardiaque,...), des effets cutanés (dermite, allergie, brûlure,...) et de leur toxicité chronique qui peut se traduire par l'apparition d'asthme, de pneumonies, des paralysies, des malformations congénitales et des cancers et puis de leur toxicité subaiguë qui se manifeste généralement par des pathologies hépatiques tant pour l'homme que pour l'animal (Regnault, 2005a; Anonyme, 2000).

En dehors de la menace des pesticides chimiques de synthèse sur la santé publique s'ajoute celle des effets néfastes constatés sur les agro-écosystèmes et la biosphère qui se traduit par la destruction des insectes même ceux jugés utiles sans distinction, tel est le cas des insecticides organochlorés en occurrence le dichloro-diphényl trichloroéthane (DDT) (Regnault, 2008; Lufwa, 2008).

En outre, s'ajoute les problèmes liés aux économies locales des producteurs du niébé se trouvant dans la difficulté de se procurer ces produits compte tenu de leurs faibles revenus et à leur utilisation rationnelle et durable, et aussi à leur accessibilité (Anonyme, 2006).

Par ailleurs, Adetonah (2005) et Hoberg (1997) estiment que les orientations modernes de la défense des cultures et de la protection de l'environnement ont le regard désormais tourné vers les molécules botaniques naturelles biodégradables extraites des plantes, à effets insecticides et insectifuges. Ces plantes sont exploitées sous diverses formes afin de limiter les pertes dues aux attaques des insectes ravageurs soit entières, soit sous forme de poudres végétales, d'huiles essentielles ou d'extraits aqueux (Ketoh, 2008).

Au regard de ces innombrables problèmes associés à l'utilisation des pesticides notamment les insecticides chimiques de synthèse tel que souligné ci-dessus, nous estimons que l'extrait aqueux des feuilles de Ricin (*Ricinus communis sanguineus L.*) serait efficace contre les insectes ravageurs de la culture deux variétés du niébé; les variétés Diamant et Mujilanga (H36) et dans la conservation de leurs graines.

Dans le but de valoriser les espèces végétales locales et disponibles à propriétés insecticides et la recherche des méthodes alternatives à l'utilisation des insecticides chimiques, il est indispensable de mettre en place de bio-pesticides qui soient efficaces, moins onéreux, accessibles, faciles à manipuler par les paysans, respectueux de la santé humaine et de l'environnement. C'est dans cette optique que s'inscrit cette étude qui a pour objectif d'évaluer l'efficacité de l'extrait aqueux des feuilles de Ricin sur les ravageurs de deux variétés du niébé au champ: les variétés Diamant et Mujilanga (H36) Pour atteindre cet objectif un dispositif en split-plot à deux variétés de niébé avec quatre répétitions et cinq traitements a été installé sur terrain. La méthode hypothético-déductive couplée à la technique d'observation directe en prélevant les données sur terrain et indirecte par le truchement d'une documentation ont été également utilisées à cette même fin.

Spatio-temporellement, l'essai a été installé dans la commune de la Muya, quartier Kansele, sur le site de l'Université Officielle de MbujiMayi (UOM) pendant une période de 7 mois, soit allant du 01/11/2018 au 05/06/2019, dont 3 mois d'observation de la culture au champ.

Outre l'introduction et la conclusion, cette étude s'articule autour des points ci-après:

- Les Matériels Et Méthodes;
- Les Résultats Et La Discussion.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MILIEU D'ÉTUDE

L'étude a été menée dans la Province du Kasai-Oriental dans la Ville de Mbuji-Mayi, commune de la Muya, quartier Kansele sur le site de l'Université Officielle de Mbuji-Mayi dont les coordonnées géographiques de notre champ expérimental sont: latitude Sud: 06° 06 ' 55 " à 06°06'54,0", longitude Est: 023°36'01,9' à 023°36' 02,3", l'altitude: 602 à 603 m.

Le climat de Mbuji-Mayi est tropical humide, selon Koppen il est de type A (AW₃). La pluviométrie est de 1476 mm avec deux saisons dont une des pluies qui dure 8 à 9 mois et une saison qui dure en moyenne 4 mois. La température moyenne annuelle est de 25°C et l'humidité relative est de 77,7%. Les vents dominants sont des Alizés du Sud-Est en saison sèche et les Alizés du Nord-Est en saison des pluies (Kambi, 1995).

2.2 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Comme matériels biologiques, nous avons utilisé d'abord les graines de deux de variétés de niébé: Diamant et Mujilanga (H36) obtenues à l'INERA/NGANDAIKA, diffusé en 2000.

Deuxièmement les feuilles de ricin (*Ricinus communis var sanguineus* L.) pour la fabrication de l'extrait aqueux comme biopesticide.

2.3 MÉTHODES

➤ Le dispositif expérimental qui a été mis en place est celui de split-plot de deux facteurs, dont le facteur principal était la variété de niébé avec deux variétés: la variété Diamant (V1) et la variété Mujilanga (H36) (V2) avec chacune cinq traitements ou doses comme facteur secondaire (T0, T1, T2, T3, T4) de 2m la longueur et 1m de largeur, soit une superficie utilitaire de 2m². Ces traitements étaient répartis sur quatre blocs, ou quatre répétitions, soit au total 40 unités expérimentales, réparties en 20 unités expérimentales par chacune de deux variétés, en raison de 4 unités expérimentales par chacun de quatre blocs. Le dispositif expérimental avait une longueur de 13m et une largeur de 19m, soit une superficie totale de 247 m² dont 80m² de superficie emblavée et 40m² de superficie utile. La répartition des différents niveaux de facteur principal (variété) et des variantes de facteur secondaire (dose des pesticides) a été pris en compte.

- Le Facteur principal: variétés de niébé. **V1:** Niébé Diamant. **V2:** Niébé Mujilanga (H36)
- Facteur secondaire: Doses de pesticides et ricin:

T0: Témoin

T1: Insecticide chimique Zalang 50EC à la dose 1L/m²,

T2: extrait aqueux des feuilles de Ricin à la dose de 1,125 L/m²,

T3: extrait aqueux des feuilles de Ricin à la dose de 1,375 L/m²,

T4: extrait aqueux des feuilles de Ricin à la dose de 1,625 L/m².

Après la délimitation de notre essai, réalisée le 01/11/2018 à l'aide d'une corde, un décamètre et des piquets sur une superficie totale de 247 m² (19mx13m). La superficie emblavée étant de 80m² celle parcellaire de 2m² (2mx1m), celle parcellaire utile de 0,56m² et celle utile totale de 22,4m². Les travaux ci-dessous se sont succédés sur le même site:

- La préparation du terrain a commencé par le fauchage à la date du 01/11/2018 à l'aide d'une faucille qui nous a aidés à évacuer les mauvaises herbes sur le site;
- Un labour manuel est intervenu un jour après du 02 au 03/11/2018;
- Un hersage suivi du piquetage ont été réalisés, à la date du 04/11/2018; le piquetage nous a servi à la délimitation des parcelles;
- Le semis était réalisé le 05/11/2018 après des fortes pluies, aux écartements de 30cm x 30cm en raison d'une graine par poquet;
- La levée était remarquée, le 3^{ème} jour après le semis et dont le regarnissage avait eu lieu, le 08/11/2018;
- Le sarco-binage était réalisé, le 19/11/2018 à l'aide d'une houe qui nous a servi à enlever les mauvaises herbes;
- Le premier traitement de l'extrait aqueux des feuilles de ricin a été réalisé le 15/12/2018, soit 40 jours après le semis et le deuxième traitement le 24/12/2018 soit 49^{ème} jour après semis par une pulvérisation contrôlée à l'aide d'un pulvérisateur, un seau, un tamis et un bol d'un litre.
- La récolte a été échelonnée, dont la première avait eu lieu le 12 /01/2019.
- La deuxième récolte avait eu lieu le 18/01/2019.
- Les variables végétatives ci-après ont été étudiées:
 - Le taux de levée;
 - Le diamètre au collet (mm);
 - La longueur de la tige (cm);
 - Le nombre de ramification.

- Les variables de production ci-après ont été étudiées:
 - La longueur de gousse (cm); - Le nombre de gousse par plant;
 - Le nombre des graines par gousse; -Le poids de 1000graines (en gr);
 - La production parcellaire (en kg); -Le rendement en tonne par hectare.
- Les variables phytosanitaires ci-après ont été étudiées:
 - Le nombre d'insectes observés avant l'application de l'extrait des feuilles de ricin, entre 28ème et 37ème jours après le semis.
 - Le nombre d'insectes observés après la 1ère application de l'extrait des feuilles de ricin, entre 43ème et 48ème jours après le semis.
 - Le nombre d'insectes observés après la 2ème application de l'extrait des feuilles de ricin, entre 53ème et 58ème jours après le semis.
 - L'incidence d'attaque des insectes avant l'application de l'extrait des feuilles de ricin, 28ème et 37ème jours après le semis
 - L'incidence d'attaque des insectes après l'application de l'extrait des feuilles de ricin, entre 43ème et 48ème jours après le semis.
 - La période d'apparition des ravageurs;

Les différents types d'insectes ravageurs ont été identifiés à l'aide d'une clé d'identification des ravageurs et maladies des plantes en région tropicale établie par Zi Oloumi (1989).L'indice d'attaque (en pourcentage), est obtenu par le rapport entre les sujets attaqués d'une variété donnée et la totalité de sujets de la même variété multiplier par 100.

Les analyses statistiques de données récoltées ont été réalisées à l'aide du logiciel Statistix 8.0. L'analyse de la variance (ANOVA) associée au test de LSD au seuil de 5% ont été réalisés pour évaluer la différence des moyennes des traitements, d'identifier les traitements qui diffèrent significativement des autres. La différence significative entre les moyennes est présentée par les lettres alphabétiques différentes.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 RESULTATS

Les résultats relatifs aux différentes variables végétatives, notamment le taux de levée, le diamètre au collet, la hauteur des plants et le nombre des ramifications par plant sont consignés dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1. Moyennes de variables végétatives

Variété	Dose	Taux de levée (%) et	Diamètre au Collet (cm)	Nombre de Ramification	Hauteur de la tige (cm)
		Ecart-Types	Ecart-T	Ecart-Types	Ecart-Types
V1	D0	94±0,3 ^B	8±1,1 ^D	4±0,6 ^C	54±1,2 ^D
	D1	95±1,1 ^{AB}	12±0,7 ^A	6±0,6 ^A	79±1,7 ^A
	D2	96±0,9 ^A	9±0,3 ^D	4±0,8 ^C	72±1,2 ^C
	D3	95±0,6 ^{AB}	10± 1,1 ^B	5±0,9 ^B	75±1,4 ^B
	D4	95±1,1 ^{AB}	9±±1,1 ^C	5±0,8 ^B	72±1,4 ^{BC}
	Moyenne	95±0,8	10±0,5	5±0,5	70±1,8
	CV (%)	1,30	4,62	4,96	3,31
V2	D0	94±1,0 ^B	8±0,7 ^D	4±0,4 ^C	53±0,6 ^D
	D1	94±1,2 ^{AB}	12±7 ^A	6±0,2 ^A	78±1,5 ^A
	D2	95±1,5 ^A	9±0,6 ^D	4±0,8 ^C	70±1,8 ^C
	D3	93±1,5 ^{AB}	10±0,9 ^B	5±0,8 ^B	74±1,4 ^B
	D4	95±1,4 ^{AB}	10±0,3 ^C	5±0,6 ^B	71±1,5 ^{BC}
	Moyenne	94,96	10±0,4	5±0,4	69±1,8
	CV (%)	1,23	3,79	6,30	3,18
Moyenne de l'essai		95,17	10,26	5±0,4	70±1,3
CV de l'essai(%)		1,27	4,22	5,66	3,24

Les moyennes suivies d'une même lettre dans la même colonne ne diffèrent pas significativement au seuil de probabilité de 5% selon LSD.

De la lecture des résultats du tableau 1, il ressort ce qui suit:

Pour la variété V1, le taux de levée varie entre 94,15 à 96,36 % avec une moyenne de 95,29%.L'analyse de la variance (ANOVA) montre une différence significative entre les moyennes de traitements soit $F_{cal}=1,82 > à p\text{-value}= 0,18$ au seuil de probabilité de 0,05. Tandis que pour la variété V2 ce taux varie entre 93,7 à 95,97% avec une moyenne de 94,96%. L'analyse de la variance (ANOVA) montre une différence significative entre les moyennes de traitements soit $F_{cal}=2,33$ supérieur à $p\text{-value}= 0,11$ au seuil de probabilité de 0,05.

Concernant le diamètre au collet (en mm), il varie entre 8,87 mm à 12,55 mm avec une moyenne de 10,26 mm. L'ANOVA montre une différence significative entre les moyennes de traitements, soit $F_{cal} = 39,89 > p\text{-value} = 0,00$ au seuil de probabilité de 0,05 pour la variété V1. Tandis que pour la variété V2, il varie entre 8,55mm à 12,50mm avec une moyenne de 10,26mm. L'analyse de la variance montre également une différence significative entre les variétés et les traitements (doses) soit $F_{cal} = 59,33 > p\text{-value} = 0,00$ au seuil de probabilité de 0,05.

Pour le nombre de ramification, il varie entre 4,52 à 6,5 avec une moyenne de 5,43. L'analyse de la variance montre une différence significative entre les variétés et les traitements (doses) soit $F_{cal} = 36,78 > p\text{-value} = 0,00$ au seuil de probabilité de 0,05 pour la variété de V1. Tandis que pour la variété V2, il varie entre 4,35 à 6,15 avec une moyenne de 5,28. L'analyse de la variance montre une différence significative entre les variétés et les traitements (doses) soit $F_{cal} = 19,07 > p\text{-value} = 0,00$ au seuil de probabilité de 0,05

En ce qui concerne la longueur de tige, elle varie entre 54,1 cm à 79,62 cm avec une moyenne de 70,68 cm. L'analyse de la variance (ANOVA) montre une différence significative entre les moyennes de traitements soit $F_{cal} = 69,77 > p\text{-value} = 0,00$ au seuil de probabilité de 0,05 pour la variété V1. Tandis que pour la variété V2 cette longueur varie entre 53,65 cm à 78,42 cm avec une moyenne de 94,96%. L'analyse de la variance (ANOVA) montre une différence significative entre les moyennes de traitements soit $F_{cal} = 73,03 > p\text{-value} = 0,00$ au seuil de probabilité de 0,05.

Le tableau 2 suivant présente les résultats des variables de production.

Tableau 2. Moyennes de variables de production

Variété	Dose	Nombre de gousses par plant et Ecart-Types	Longueur de gousses Et Ecart-Types	Nombre de graines par gousse et Ecart-Types	Poids de 1000 grai Ecart-Types	Production parcellaire Kg/0,56m ² Ecart-Types	Rendement (tonne/ha) Ecart-Types
V1	D0	10±1,0 ^D	10±0,8 ^D	11±0,1 ^E	98±1,0 ^E	0±0,030 ^{EF}	0±0,4 ^{EF}
	D1	18±0,5 ^A	20±0,3 ^A	18±0,5 ^A	118±1,1 ^A	0±0,077 ^A	1±0,3 ^A
	D2	11±0,5 ^{CD}	15±0,4 ^D	14±0,7 ^D	105±0,6 ^{EF}	0±0,03 ^D	0±0,6 ^D
	D3	16±0,8 ^B	17±0,9 ^B	16±0,8 ^B	112±0,5 ^B	0±0,052 ^B	0±1,0 ^B
	D4	14±0,6 ^C	15±0,5 ^C	14±0,9 ^C	108±1,2 ^{CD}	0±0,039 ^C	0±0,8 ^C
	Moyenne	14±0,5	15±1,0	15±0,3	108±1,1	0±0,041	0±0,8
	CV (%)	2,82	2,68	2,27	0,86	3,47	3,53
V2	D0	10±0,8 ^D	10±0,8 ^D	11±0,3 ^E	97±1,1 ^G	0±0,019 ^F	0±0,4 ^F
	D1	18±0,7 ^A	20±0,2 ^A	18±0,7 ^A	117±1,3 ^A	0±0,068 ^A	1±0,3 ^A
	D2	11±0,5 ^D	14±0,9 ^C	13±0,9 ^D	103±0,5 ^F	0±0,026 ^{DE}	0±0,5 ^{DE}
	D3	16±6 ^B	17±0,2 ^B	16±0,7 ^B	111±0,7 ^{BC}	0±0,051 ^B	0±1,0 ^B
	D4	14±0,3 ^C	15±0,8 ^C	14±0,8 ^C	106±1,2 ^{DE}	0±0,037 ^C	0±0,7 ^C
	Moyenne	14±0,4	15±0,8	15±0,1	107±0,7	0±0,040	0±0,8
	CV (%)	4,73	3,02	2,04	0,78	6,26	6,26
Moyenne	14±0,4	15±0,9	15±0,2	108±0,4	0±0,040	0±0,8	
CV	3,89	2,85	2,16	0,82	4,97	4,97	

Les moyennes suivies d'une même lettre dans la même colonne ne diffèrent pas significativement au seuil de probabilité de 5% selon LSD.

Il dénote du tableau 2 ce qui suit: Le nombre de gousse, il varie entre 10,875 à 16,600 avec une moyenne de 14,31. L'analyse de la variance montre une différence significative entre les variétés et les traitements (doses) soit $F_{cal} = > 259,02 > p\text{-value} = 0,00$ au seuil de probabilité de 0,05 pour la variété de V1. Tandis que pour la variété V2, il varie entre 10,675 à 18,500 avec une moyenne de 14,21. L'analyse de la variance montre une différence significative entre les variétés et les traitements (doses) soit $F_{cal} = 97,6 > p\text{-value} = 0,00$ au seuil de probabilité de 0,05.

La longueur de gousse varie entre 10,675cm à 20,150cm avec une moyenne 15,85cm pour la variété de V. L'analyse de la variance montre également une différence significative entre les variétés et les traitements (doses) soit $F_{cal} = 267,9 > p\text{-value} = 0,00$ au seuil de probabilité de 0,05. Tandis que pour la variété V2, il varie entre 10,675cm à 20,050cm avec une moyenne de 15,650cm. L'analyse de la variance montre également une différence significative entre les variétés et les traitements (doses) soit $F_{cal} = 210,19 > p\text{-value} = 0,00$ au seuil de probabilité de 0,05.

Le nombre de graine il varie entre 11,57 à 18,425 avec une moyenne de 15,24. L'analyse de la variance montre une différence significative entre les variétés et les traitements (doses) soit $F_{cal} = 220,33 > p\text{-value} = 0,00$ au seuil de probabilité de 0,05 pour la variété de V1. Tandis que pour la variété V2, il varie entre 11,250 à 18,675 avec une moyenne de 14,77. L'analyse de la variance montre une différence significative entre les variétés et les traitements (doses) soit $F_{cal} = 338,95 > p\text{-value} = 0,00$ au seuil de probabilité de 0,05.

Le poids de 1000 graines varie entre 98,63 à 108,71 avec une moyenne de 108,71. L'analyse de la variance montre une différence significative entre les variétés et les traitements (doses) soit $F_{cal}=258,7 > p\text{-value}=0,00$ au seuil de probabilité de 0,05 pour la variété de V1. Tandis que pour la variété V2, il varie entre 97,72 à 117,90 avec une moyenne de 107,37. L'analyse de la variance montre une différence significative entre les variétés et les traitements (doses) soit $F_{cal}=335,00 > p\text{-value}=0,00$ au seuil de probabilité de 0,05.

La production parcelaire varie entre 0,020kg à 0,067kg avec une moyenne de 0,0418kg. L'analyse de la variance montre une différence significative entre les variétés et les traitements (doses) soit $F_{cal}=644,26 > p\text{-value}=0,41$ au seuil de probabilité de 0,05 pour la variété de V1. Tandis que pour la variété V2, il varie entre 0,0197 kg à 0,068kg avec une moyenne de 0,040kg. L'analyse de la variance montre une différence significative entre les variétés et les traitements (doses) soit $F_{cal}=227,82 > p\text{-value}=0,00$ au seuil de probabilité de 0,05.

Le rendement à l'hectare varie entre 0,373T à 1,203T avec une moyenne de 0,748T. L'analyse de la variance montre une différence significative entre les variétés et les traitements (doses) soit $F_{cal}=314,25 > p\text{-value}=0,00$ au seuil de probabilité de 0,05 pour la variété de V1. Tandis que pour la variété V2, il varie entre 0,353T à 1,223T avec une moyenne de 0,720T. L'analyse de la variance montre une différence significative entre les variétés et les traitements (doses) soit $F_{cal}=121,39 > p\text{-value}=0,00$ au seuil de probabilité de 0,05.

Tableau 3. Nombre moyen d'insectes ravageurs observés avant l'application d'extrait aqueux des feuilles de ricin, entre le 28^{ème} et 37^{ème} jours après semis

Variété	Dose	<i>Ootheca mutabilis</i> et Ecart-Types	<i>Thrips mégalo</i> <i>Thrips</i> et Ecart-Types	<i>Mylabri</i> <i>Ssp(Méloïdes)</i> et Ecart-Types	<i>Maruca</i> <i>Vitrata/</i> Ecart- Types	Punaise de gousses et Ecart-Types
V1	D0	4±0,52 ^A	2±0,93 ^{AB}	2±0,35 ^A	1±0,21 ^A	1±0,1 ^A
	D1	4±1,17 ^{AB}	2±0,85 ^{AB}	2±0,2 ^A	1±0,28 ^A	1±0,19 ^A
	D2	4±0,32 ^{AB}	2±1,03 ^A	2±0,17 ^A	1±0,28 ^A	1±0,1 ^A
	D3	4±0,33 ^{AB}	2±0,95 ^{AB}	1±1,07 ^{AB}	1±0,16 ^A	1±0,13 ^A
	D4	3±1,0 ^B	2±1,03 ^A	2±0,12 ^A	1±0,23 ^A	1±0,1 ^A
	Moyenne	4±0,27	2±0,96	2±0,17	1±0,175	1±0,13
	CV (%)	9,92	5±0,68	10,12	10,85	6,32
V2	D0	4±0,20 ^{AB}	2±0,88 ^{AB}	2±0,17 ^A	1±0,16 ^A	1±0,15 ^A
	D1	4±0,37 ^{AB}	2±0,90 ^{AB}	2±0,17 ^A	1±0,26 ^A	1±0,23 ^A
	D2	3±1,15 ^{AB}	2±0,73 ^B	1±1,02 ^{AB}	1±0,18 ^A	1±9,15 ^A
	D3	4±0,32 ^{AB}	2±0,93 ^{AB}	2±0,10 ^A	1±0,26 ^A	1±0,23 ^A
	D4	3±1,07 ^{AB}	2±0,88 ^{AB}	2±0,10 ^A	1±0,21 ^A	1±0,18 ^A
	Moyenne	4±0,22	2±0,86	2±0,12	1±0,22	1±0,19
	CV (%)	5,38	4,61	7,64	8,94	8,94
Moyenne		4±0,24	2±0,91	2±0,14	1±0,22	1±0,16
CV (%)		8	5,15	9	9,95	7,81

Les moyennes suivies d'une même lettre dans la même colonne ne diffèrent pas significativement au seuil de probabilité de 5% selon LSD.

Il dénote du tableau 3, qu'avant l'application des produits phytosanitaires (bio et synthétiques): le nombre d'*Ootheca mutabilis* varie entre 3 à 5 pour la variété V1 tandis qu'il varie de 3 à 4 pour la variété V2; celui de *Thrips mégalo* est entre 2 à 6 pour la variété V1 tandis qu'il est entre 2 à 5 pour la variété V2; celui de *Mylabri* entre 1 à 2 aussi bien pour les deux variétés V1 et V2; celui de *Maruca vitrata* est de 1 pour les deux variétés V1 et V2 et celui des punaises est également de 1 pour les deux variétés V1 et V2.

Tableau 4. Nombre moyen d'insectes observés après 1ère application de l'extrait aqueux des feuilles de ricin, entre 43^{ème} et 48^{ème} jours après semis

Variété	Dose	<i>Ootheca mutabilis</i> / Ecart-Types	<i>Thrips Megalo</i> <i>Thrips</i> / Ecart-Types	<i>Mylabri</i> <i>Ssp(Méloides)</i> / Ecart-Types	<i>Maruca</i> <i>Vitrata</i> / Ecart-Types	Punaise de gou/ Ecart-Types
V1	D0	5±0,75 ^A	6±0,28 ^A	5±0,41 ^A	5±0,38 ^B	5±0,29
	D1	1±0,352 ^B	1±0,25 ^B	1±0,16 ^B	0±0,58 ^D	0±0,71
	D2	1±0,65 ^B	1±0,53 ^B	1±0,34 ^B	0±0,73 ^{CD}	0±0,86
	D3	1±0,35 ^B	1, ±0,33 ^B	1±0,29 ^B	0±56 ^D	0±0,76
	D4	1±0,67 ^B	1±0,53 ^B	1±0,49 ^B	0±78 ^{CD}	0±0,94
	Moyenne	2±0,35	2±0,38	2±0,14	1±0,61	1±0,71
	CV (%)	13,85	11,46	4,74	15,01	11,88
V2	D0	5±1,12 ^A	6±0,53 ^A	5±0,71 ^A	5±1,03 ^A	5±0,86
	D1	1±0,25 ^B	1±0,48 ^B	1±0,66 ^B	0±0,81 ^{CD}	0±0,59
	D2	1±0,40 ^B	1±0,4 ^{53B}	1±59 ^B	0±0,93 ^{CD}	0±0,84
	D3	1±0,27 ^B	1±0,40 ^B	1±0,61 ^B	0±0,81 ^{CD}	0±0,64
	D4	1±0,42 ^B	1±0,4 ^{53B}	1±0,76 ^B	0±1,01 ^C	0±0,89
	Moyenne	2±0,32	2±0,41	2±0,3	1±0,76	1±0,74
	CV (%)	11,03	12,36	6,8	11,79	10,24

Les moyennes suivies d'une même lettre dans la même colonne ne diffèrent pas significativement au seuil de probabilité de 5% selon LSD.

Ce tableau révèle qu'après l'application de l'extrait aqueux des feuilles de ricin le nombre des *Ootheca mutabilis* varie entre 1 à 6, celui de *thrips mégalothrips* entre 1 à 6, celui de *Mylabri* entre 1 à 6, celui de *Marucate vitrata* entre 0 à 6 et celui des punaises entre 0 à 6.

Tableau 5. Nombre moyen d'insectes observés après 2ème application de l'extrait aqueux des feuilles de ricin, entre 53^{ème} et 58^{ème} jours après semis

Variété	Dose	<i>Ootheca mutabilis</i> / Ecart-Types	<i>Maruca</i> <i>Vitrata</i> / Ecart-Types	Punaise de gou/ Ecart-Types	<i>Anoplocnemis</i> <i>Curvipes</i> / Ecart-Types
V1	D0	6±0,29 ^A	6±0,87 ^A	6±0,32 ^A	6±0,63 ^B
	D1	0±0,60 ^{7CD}	0±0,54 ^C	0±0,69 ^B	0±0,75 ^C
	D2	0±0,42 ^D	0±0,69 ^{CD}	0±0,84 ^B	0±0,75 ^C
	D3	0±0,57 ^{CD}	0±0,55 ^C	0±0,74 ^B	0±0,58 ^C
	D4	0±0,74 ^{CD}	0±0,62 ^C	0±0,69 ^B	0±0,66 ^C
	Moyenne	1±0,73	1±0,84	1±0,85	1±0,86
V2	D0	5±0,57 ^B	5±0,99 ^B	6±0,92 ^A	7±0,60 ^A
	D1	1±0,08 ^C	0±0,44 ^C	0±0,57 ^B	0±0,86 ^C
	D2	1±0,12 ^C	0±0,54 ^C	0±0,82 ^B	0±0,98 ^C
	D3	0±0,72 ^{CD}	0±0,54 ^C	0±0,62 ^B	0±0,86 ^C
	D4	0±0,92 ^{CD}	0±0,84 ^C	0±0,87 ^B	0±1,06 ^C
	Moyenne	1±0,88	1±0,67	1±0,96	2±0,27
	Moy t	1±0,81	1±0,76	1±0,91	1±1,05
CV t	21,15	20,38	22,62	17,21	

Les moyennes suivies d'une même lettre dans la même colonne ne diffèrent pas significativement au seuil de probabilité de 5% selon LSD.

Ce tableau révèle qu'après la 2ème application de l'extrait aqueux des feuilles de ricin le nombre des *Ootheca mutabilis* varie entre 0 à 6, celui de *Marucate vitrata* entre 0 à 7, celui des punaises entre 0 à 7 et *Anoplocnemis curvipes*.

L'incidence d'attaque avant l'application de l'extrait aqueux des feuilles de ricin de 28^{ème} à 37^{ème} jours après semis est présentée sur le tableau 6 ci-après.

Tableau 6. Incidence avant application de l'extrait aqueux des feuilles de ricin, de 28^{ème} à 37^{ème} jour après semis

Variété	Dose	Nombre total des plants	Nombre des plants attequés	Incidence d'attaque %
V1	D0	64	26	40,6
	D1	64	30	46,9
	D2	64	29	45,3
	D3	64	30	46,9
	D4	64	25	39
	Moyenne	64	28	43,74
V2	D0	64	27	42,1
	D1	64	32	50
	D2	64	30	46
	D3	64	31	48,4
	D4	64	28	43,8
	Moyenne	64	29,6	46,06

Le tableau 6 révèle qu'avant l'application de l'extrait aqueux des feuilles de ricin l'incidence d'attaque varie entre 39 % à 46,9 % avec une moyenne de 43,74% pour V1 et entre 42,1% à 50% avec une moyenne de 46% pour V2.

L'incidence d'attaque après l'application de l'extrait aqueux des feuilles de ricin de 43^{ème} à 48^{ème} jour après semis est présentée sur le tableau 7 ci-après.

Tableau 7. Incidence après application de l'extrait aqueux des feuilles de ricin, de 43^{ème} à 48^{ème} jour après semis

Variété	Dose	Nombre total de plants	Nombre des plants attequés	Incidence d'attaque (%)
V1	D0	64	42	65,6
	D1	64	7	10,9
	D2	64	12	18,7
	D3	64	9	14
	D4	64	15	23,4
	Moyenne	64	17	26,5
V2	D0	64	40	62,5
	D1	64	8	12,5
	D2	64	14	21,9
	D3	64	10	15,6
	D4	64	12	18,8
	Moyenne	64	18,8	29,3

Il a été constaté à la lecture de tableaux 6 et 7, une réduction de nombre des insectes ravageurs de 46,9 % avant à 10,9 % pour la variété Diamant (V1) et de 50% avant à 12,5% pour la variété Mujilanga (V2) après l'application de la Zalang (D1); de 45,3% avant à 18,7% pour la variété Diamant (V1) et de 46% avant à 21,9 % pour la variété Mujilanga (V2) après l'application de l'extrait aqueux à la dose de 1,125 l/m² (D2); de 4,9% avant à 14 % pour la variété Diamant (V1) et de 48,4% avant à 15,6% pour la variété Mujilanga (V2) après l'application de l'extrait aqueux à la dose de 1,375 l/m² (D3); de 39 % avant à 23,4% pour la variété Diamant (V1) et de 43,8% avant à 18,8% pour la variété Mujilanga (V2) après l'application de l'extrait aqueux à la dose de 1,625 l/ m² (D4). Par contre le nombre des insectes ravageurs a augmenté de 40,6% avant à 65,6% pour la variété Diamant (V1) et de 42,1 % avant à 6,5 % pour la variété Mujilanga (V2) concernant le témoin (D0).

Le tableau 8 suivant présente la période d'apparition des différents ravageurs observés durant l'expérimentation.

Tableau 8. Période d'apparition des ravageurs (jours après semis)

Nom de l'insecte	Période d'apparition des ravageurs (jours après semis)
<i>Ootheca mutabilis</i>	28-75
<i>Maruca vitrata</i>	32-75
<i>Thrips mégalothrips</i>	40-75
<i>Mylabris ssp</i>	45-75
<i>Anecplocnemis cu</i>	50-75
Punaises	50-75

Il ressort de ce tableau que les insectes ravageurs apparaissent à des périodes différentes et selon l'âge de la culture, à partir de 28^{ème} jour jusqu'au 75^{ème} jour. *Ootheca mutabilis* apparaît dès le 28^{ème} jour après le semis, suivi de *Maruca vitrata* au 32^{ème} jour, suivi de *thrips mégalothrips* au 40^{ème} jour, puis des *Mylabris ssp* au 45^{ème} jour et enfin les *Anecplocnemis* et punaises au 50^{ème} jour après semis.

3.2 DISCUSSION

Après un examen minutieux des résultats enregistrés dans cette étude sur les variables végétatives, productives et phytosanitaire, il ressort que les résultats varient selon le traitement pour toutes les variables. De même l'analyse de la variance a révélé une différence significative entre les traitements pour toutes les variables. Ces différences seraient dues à l'efficacité des produits phytosanitaires (bio-pesticide et pesticide de synthèse) qui ont protégé la culture contre les insectes ravageurs.

En ce qui concerne le rendement; pour la variété V1, la valeur varie entre 0,373tonne/ha⁻¹ à 1,20 tonne/ha, avec un rendement de 0,748 tonne/ha, tandis qu'il varie entre 0,353tonne/ha à 0,1223 tonne/ha, avec un rendement moyen de 0,720tonne/ha pour la variété V2.

Le rendement moyen obtenu dans cette étude est inférieur à celui trouvé par Anonyme (2008), qui avait enregistré un rendement de 1500kg/ha en milieu contrôlé. De même USENI et al (2014) dont le rendement de niébé en milieu contrôlé avait atteint 1500 kg/ha à 2,057kg/ha. En outre, il en de même pour Mangole (2015), le rendement en milieu contrôlé était de 1850 kg/ha contre 1680 kg/ha en milieu non contrôlé. De même pour Tshibanda (2017), qui avait obtenu un rendement en milieu contrôlé de 2,347 kg/ha contre 1176 kg/ha en milieu non contrôlé.

Cette différence trouvée entre les résultats obtenus dans cette étude et ceux des autres chercheurs serait due à la fertilité du sol des terrains exploités par ces chercheurs, mais aussi certains d'entre eux auraient utilisés les pesticides chimiques de synthèse, que nous présumons avoir plus de pouvoir non seulement insecticide mais aussi inhibiteur voir répulsif.

Pour les ravageurs *Ootheca mutabilis*, *Thrips mégalothrips*, *Mylabris*, *Muracate vitrata* et les punaises de gousses ont été identifiés comme insectes ravageurs avant et après l'application des produits phytosanitaires (bio et synthèse). Il sied de noter que l'insecticide de la Zalang 50EC (D1) s'est avéré très efficace dans la réduction des dégâts et la destruction des insectes ravageurs sur les deux variétés de culture du niébé par rapport à d'autres traitements, soit 47% pour la variété Diamant (V1) et 50% pour la variété Mujilanga (V2) des plants attaqués avant l'application de la Zalang 50EC à 12% pour la variété Diamant (V1) et 13% pour la variété Mujilanga (V2) après l'application, tel qu'illustré dans les tableaux 5 et 6 relatifs à l'incidence d'attaque d'insectes ravageurs avant et après application des produits phytosanitaires.

Cependant l'application de l'extrait aqueux des feuilles de ricin à la dose 1,375 L /m² (D3) s'est également montré efficace dans la réduction et la destruction des insectes ravageurs sur les deux variétés de culture du niébé, soit de 47% pour la variété Diamant (V1) et 48 % pour la variété Mujilanga (V2) des plants attaqués avant l'application de bio-pesticide à 14 % pour la variété Diamant (V1) et 16 % pour la variété Mujilanga (V2) après l'application de bio-pesticide.

Ces résultats corroborent à ceux trouvés par Youdeowei (2004), qui a conclu que les feuilles de ricin contiennent une substance (Ricinine) qui est efficace sur les insectes à corps mou à l'exemple des jeunes chenilles, des pucerons et des aleurodes. Aussi des résultats similaires ont été rapportés par ToBi (2006), Bodji et Yao (2007), Kodro (2008), Yao (2010) et Gnago et al., (2010) sur d'autres cultures maraichères notamment la tomate, l'épinard, les aubergines, les poivrons, la salade, les choux, le gombo, la carotte, etc.

4 CONCLUSION

Le présent travail intitulé « Effets d'extrait aqueux des feuilles de Ricin sur les ravageurs de la culture de niébé dans la région de MbujiMayi » avait pour objectif d'évaluer l'efficacité de l'extrait aqueux des feuilles de Ricin sur les ravageurs de deux variétés du niébé du champ: les variétés Diamant et Mujilanga (H36) et dans la conservation de leurs graines et d'en déterminer la meilleure dose qui favorise un bon rendement.

L'hypothèse ainsi formulée était que les extraits aqueux des feuilles de Ricin (*Ricinus communis sanguineus*) seraient efficaces contre les insectes ravageurs de deux variétés du niébé (*Vigna unguiculata L. Walp*) à savoir les variétés diamant et mujilanga (H36) au champ et à la conservation de ses graines.

Pour atteindre notre objectif, nous avons opté pour la méthode hypothético-déductive et utilisé les techniques d'observations directe et indirecte. Un dispositif complètement randomisé en split plot à quatre blocs et cinq traitements a été mis en place, notamment le témoin (T0), la Zalang 50EC à 1 L/m² (T1), l'extrait aqueux des feuilles de ricin à 1,125 L/ m² (T2), l'extrait aqueux des feuilles de ricin à 1,375 L/ m² (T3) et l'extrait aqueux des feuilles de ricin à 1,625 L/ m² (T4).

Au terme de cette étude, les résultats obtenus, révèlent une disparité des valeurs moyennes végétatives, de production et phytosanitaires. L'analyse de variance a montré une différence significative entre les traitements et le traitement à base de Zalang 50EC et extraits aqueux de feuilles de ricin T2, T3 et D4 ont induit les meilleurs résultats que ceux de traitement témoin (T0).

En ce qui concerne les variables de production les meilleurs traitements ayant induits un rendement élevé sont T1 avec 1,20T/ha et T3 avec 0,935 T/ha pour la variété diamant (V1) et T1 avec 1,22T/ha et T3 avec 0,915T/ha pour la variété Mujilanga (V2).

Quant aux variables phytosanitaires, les insectes ravageurs identifiés avant et après la première application des produits phytosanitaires (bio et synthèse) sont les *Oothea mutabilis*, *Thrips megalothrips*, *Mylabris ssp*, *Muracate vitrata* et les punaises de gosses. Après la deuxième application, en sus d'*Oothea mutabilis*, *Muracate vitrata* et les punaises de gosses, est apparu l'*Aneplonemnis curvipes* alors que les *Thrips megalothrips* et *Mylabris ssp* n'ont plus été identifiés. Le nombre de ces insectes ravageurs décroît sensiblement après l'application des produits phytosanitaires, exception faite pour le traitement témoin (T0) dans lequel le nombre des insectes ravageurs croît avec le cycle de la culture de niébé.

La Zalang 50EC (D1) s'est avéré très efficace dans la réduction des dégâts et la destruction des insectes ravageurs sur les deux variétés de culture du niébé par rapport à d'autres traitements, soit 47 % pour la variété Diamant (V1) et 50% pour la variété Mujilanga (V2) des plants attaqués avant l'application de la Zalang 50EC à 12 % pour la variété Diamant (V1) et 13% pour la variété Mujilanga (V2) après l'application, tel qu'illustré dans les tableaux 5 et 6 relatifs à l'incidence d'attaque d'insectes ravageurs avant et après application des produits phytosanitaires. Cependant l'application de l'extrait aqueux des feuilles de ricin à la dose 1,375L/m² (T3) s'est également montré efficace dans la réduction et la destruction des insectes ravageurs sur les deux variétés de culture du niébé, soit de 47% pour la variété Diamant (V1) et 48% pour la variété Mujilanga (V2) des plants attaqués avant l'application de bio-pesticide à 14 % pour la variété Diamant (V1) et 16 % pour la variété Mujilanga (V2) après l'application de bio-pesticide.

Ainsi recommandons la dose de 1,375 L/m² (T3) d'extrait aqueux de feuille de ricin) ayant donné un rendement entre 0,915T/ha à 0,935T/ha qui s'est avérée efficace sur plusieurs paramètres par rapport aux autres traitements dans la lutte contre les insectes ravageurs de culture de niébé dans la région de MbujiMayi.

Comme perspectives d'avenir, nous suggérons, compte tenu des vertus thérapeutiques et fertilisantes du Ricin, la poursuite des essais expérimentaux sur des cultures autres que le Niébé et le chou de chine afin de continuer à prouver davantage non seulement l'efficacité de ricin sur les ravageurs mais aussi à démontrer son pouvoir bio fertilisant sur les sols tout en intégrant les aspects de la rémanence lors de la conservation, la vulgarisation et dans l'agrobusiness.

REFERENCES

- [1] Adetonah Jean Michel 2005: Persiste negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. Basic and applied ecology, 11 (2), 97-105p.
- [2] Anonyme, 2006: Recherche et développement de bio-pesticides et pesticides naturels à faible toxicité pour les organismes non ciblés et respectueux de l'environnement – Rapport final – Volet entomologie, 125p.
- [3] Anonyme, 2010: Principaux ennemis du Niébé et leur contrôle: projet nigéro canadien de protection des végétaux, phase 5, 42p.
- [4] Anonyme, 2013: Guide technique pour la production des semences initiales des principales cultures vivrières à graines en R.D. Congo, INERA, 12-35pp.
- [5] Ben Tenni et Kayombo, 2017: Contribution à l'étude nutritionnelle de trois variétés de Niébé *Vigna unguiculata L., Walp* cultivées dans la région de Tlemcen, 26-30pp.
- [6] Jeroen, 2004: Les pesticides: Composition, utilisation et risques. In série Agrodok 29, 1ère édition. Edition Digigrafi et Wigeningen, Pays-bas, 2-8p.
- [7] Kambi Dibayi Alphonse, 1995: Données préliminaires sur l'écosystème de la ville de MbujiMayi, in annale de l'ISP Mbujimayi, 16p.
- [8] Parquet, R.S et Baudoin, JP, 1997: le niébé in charrier: l'Amélioration des plantes tropicales (CIRAD et ORSTOM), Montpellier, France, 483-505pp.
- [9] Tamo, 2014: Efficacité comparée des insecticides de natures différentes dans la gestion des insectes ravageurs du Niébé au centre Bénin, 25-48pp.
- [10] INERA, 2008: Programme National Légumineuses, fiches d'identification des variétés améliorées du niébé, Ngandajika, 124-139pp.

- [11] Kayombo, 2014; Effet de Neem sur les graines de niébé en stock dans la région de Mbujimayi, Madose, 39-53pp.
- [12] Useni, 2014: Effets de la date de semis et des écartements sur la croissance et le rendement du niébé (*Vigna unguiculata L. Walp*) à Lubumbashi, RD Congo in International Journal of Innovation and Applied Studies, 132-158pp.
- [13] Yalombe *et al*, 2007: De l'influence de la date de semis sur la production et les prédateurs du niébé (*Vigna unguiculata*) à Bakwa-Bisampu, annales de l'ISP/MBUJIMAYI, 183-199p.
- [14] Yalombe et Al, 2017: Effet de l'écimage et de la récolte des feuilles combinées ou non au *Tithonia diversifolia* ou au *Chromolaena odorata* en meetch sur le rendement du niébé à Mbujimayi en RDC in Journal animal and plan science, 2017, Vol34, issue 3: 5509-5517pp.
- [15] Mukuna, 2015: Effet comparatif du paillage avec *tithonia diversifolia* et *chromolaena odorata* dans la lutte contre les ravageurs du niébé dans les conditions édaphique et climatique de Mbuj-Mayi, TFE/ UOM, inédit.
- [16] Mulumba, 2015: Effet de différents amendements minéraux sur la croissance et la production de niebé dans les conditions édaphique et climatique de Mbuj-Mayi, TFE/ UOM, inédit.
- [17] Tshilumba Kabeya Jean-pierre, 2018: Effets de l'extrait aqueux des graines de ricin (*Ricinus communis spp sanguineus*) dans la lutte contre les insectes ravageurs du chou de chine (*Brassica sinensis L.*) dans la région de Mbujimayi, TFE/ UOM, inédit.
- [18] <http://fr.memoireonline.com>: Atlas des risques de la phytothérapie-ricin, le 16/12/2018 à 16: 34'.
- [19] <http://fr.oci-journal.org/articles:proprietes-et-utilites-de-lhuile-de-riin>, le 29/05/2019, 12: 18'.
- [20] <http://fr.naturalisteshutois:ricin,plante-d'appartement-et-insecticide>, le 24/12/2018 à 12: 29'.

Feuilles de Manioc (*manihot esculenta crantz*) Cultivées sur les Sols de Moanda Riche en Manganèse, Risques et Conséquences pour Santé des Consommateurs

[Cassava Leaves (*manihot esculenta crantz*) Grown on the Soils of Moanda Rich in Manganese, Risks and Consequences for Consumer Health]

Stéphane Mombo^{1,2}, Norbert Ondo Zue Abaga³, Albert Novy Messi Me Ndong⁴, Éphrem Nzengue⁵, Alexis Nicaise Lepengue¹, Dhert Souviens Ontod Tshi Tshi¹, Aurélien Mokéa-Niaty¹, Yaëlle Christie Massounga⁷, Alain Souza¹, and Camille Dumat²⁻⁶

¹Laboratoire de Physiologie Végétale et Protection des Plantes, Unité de Recherche Agrobiologie, Université des Sciences et Techniques de Masuku, Franceville, Gabon

²Réseau-Agriville, Gabon

³Laboratoire de Paléobiodiversité, Paléoenvironnement et Pétrologie, Unité de Recherche en Sciences de la Terre et de l'Environnement (URSTE), Université des Sciences et Techniques de Masuku, BP 913, Franceville, Gabon

⁴Laboratoire de Chimie des Matériaux Inorganiques, Département de Chimie, Université des Sciences et Techniques de Masuku, Franceville, Gabon

⁵Institut de Recherche en Écologie Tropicale (IRET), Centre Nationale de la Recherche Scientifique et Technologique (CENAREST), BP: 13345, Libreville, Gabon

⁶Centre d'Etude et de Recherche Travail Organisation Pouvoir (CERTOP), Axe Transition Ecologique, UMR5044, Université J. Jaurès - Toulouse II, France

⁷Institut National Supérieur d'Agronomie et de Biotechnologies (INSAB), Université des Sciences et Technique de Masuku (USTM), Gabon

Copyright © 2026 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: In the city of Moanda, where one of the world's largest manganese (Mn) deposits is located, the soils are very rich in manganese, which promotes the transfer of Mn from the soil to the various organs of fruits and vegetables that are grown near the manganese plateaus. Cassava is widely cultivated and consumed daily by the population of this region of Gabon. These cassava leaves pose a moderate but not negligible risk to the people who consume them daily. This study was conducted to assess the health risks to the population of this region who regularly consume cassava leaves. Manganese (Mn) concentrations in cassava leaves were measured at four sites in Moanda (La Gare, Leyima, L'Alliance, and L'Oasis), which have relatively high levels in the soil. The results show high concentrations of manganese in cassava leaves, concentrations above regulatory limits with a maximum of 48200 µg.kg⁻¹. The risk factor calculation indicates that these concentrations represent a moderate but not negligible risk factor for the health of the inhabitants of Moanda who regularly consume cassava leaves.

KEYWORDS: Manganese, cassava, absorption, potassium, health risk.

RESUME: Dans la ville de Moanda où se trouve l'un des plus grands gisements mondiaux de manganèse (Mn), les sols sont très riches en manganèse, ce qui favorise le transfert de Mn du sol vers les différents organes des fruits et légumes qui sont cultivés à proximité des plateaux manganésifères. Des nombreuses cultures de manioc sont cultivées et consommées tous les jours par les populations de cette région du Gabon. Ces feuilles de manioc présentent un risque modéré mais non négligeable pour les populations qui les consomment tous les jours. La présente étude a été réalisée pour évaluer les risques sur la santé des populations de cette région qui consomment régulièrement les feuilles de manioc. Les concentrations en Mn dans les feuilles de manioc ont été mesurées sur quatre sites à Moanda (La Gare, Leyima, l'Alliance, l'Oasis) qui présentent des teneurs relativement élevées dans le sol. Les résultats montrent des concentrations élevées en manganèse dans les feuilles de manioc, des concentrations au-dessus des concentrations réglementaires avec un maximum de 48200 $\mu\text{g.kg}^{-1}$. Le calcul du facteur de risque indique que ces concentrations représentent un facteur de risque modéré mais non négligeable pour la santé des habitants de Moanda qui consomment régulièrement les feuilles de manioc.

MOTS-CLEFS: Manganèse, feuilles de Manioc, absorption, santé risque.

1 INTRODUCTION

La ville de Moanda au sud-est du Gabon est une région au sol riche en Manganèse (Mn): On retrouve des zones avec des concentrations en Mn dans le sol pouvant atteindre 9200 et 3406 mg.kg^{-1} respectivement en Mn total et Mn biodisponible [1], des pics de concentration pouvant atteindre 17956 mg.kg^{-1} ont déjà été mesurés [2]. Dans cette ville minière, les plateaux manganésifères concentrent environ 25 % des réserves mondiale en Mn (Figure 1) avec deux principaux gisements [3], [4]. Le Gabon est le deuxième producteur Africain de manganèse après l'Afrique du Sud [5], le manganèse représente 19 % des ressources totales africaines [6]. Les concentrations élevées en Mn dans les sols de Moanda constituent un risque d'exposition pour les populations qui consomment les feuilles de manioc dans cette région.

Le manioc (*Manihot esculenta*, Crantz) est une plante largement cultivée à Moanda du fait de sa forte consommation par les populations, les feuilles de manioc aussi bien que les tubercules sont consommés. C'est une plante classée parmi les aliments de base des populations gabonaises. Cette plante peu exigeante, est capable de pousser sur des sols pauvres [7]. Le manioc se retrouve dans la quasi-totalité des champs des populations des Moanda, on retrouve les feuilles de manioc dans tous les marchés de Moanda. En effet, c'est un aliment qui est très accessible du fait de son faible coût avec un apport énergétique considérable, jusqu'à 1038,84 calorie/j/personne [8].

Le manganèse est un oligoélément très important pour les végétaux [9]; il participe à plusieurs réactions métaboliques qui favorisent la croissance des plantes [10]. Cependant, à forte concentration, il peut être toxique et favoriser des effets négatifs [11], [12]. Pour les feuilles de manioc culture essentielle dans l'alimentation à Moanda, il n'y actuellement pas d'études disponibles sur les conséquences sanitaires de ces dernières lorsqu'elles sont cultivées sur les sols riches en Mn et consommées quotidiennement par les populations. Les objectifs de cette étude sont de mesurer les concentrations en Mn dans les feuilles de manioc cultivées à Moanda, organes largement consommés dans cette région afin d'évaluer les risques encourus par les populations qui les consomment régulièrement.

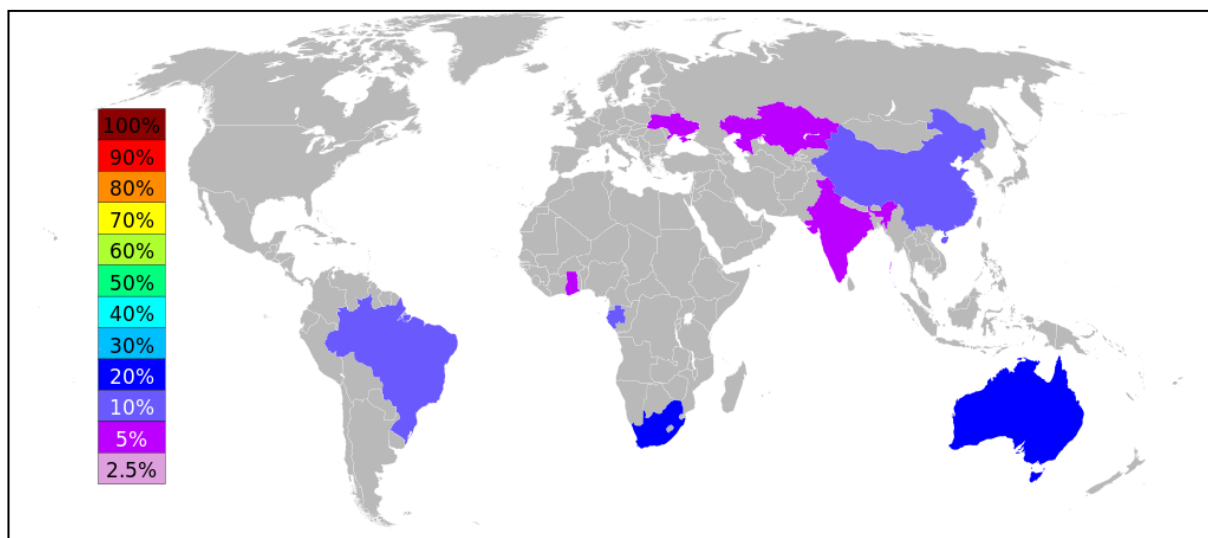


Fig. 1. Pourcentage de manganèse exporté par pays en 2006 dans le monde (Lisa A, 2009)

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal utilisé pour cette étude est le manioc (*Manihot esculenta*, Crantz). Les boutures de manioc ont été achetées au marché potos de Franceville. Elles correspondent à des tiges de 30 cm à 50 cm de longueur, contenant 10 à 20 nœuds (Photos 1).



Photo 1. Boutures de manioc prête à être mise en terre pour culture

2.2 CULTURE DES PLANTES DE MANIOC

Quatre sites expérimentaux ont été choisis à Moanda à proximité des champs déjà présent sur place, la distance entre les 4 sites est d'environ 5 km.

Pour chaque site, 3 blocs de 20 boutures de manioc ont été cultivés sur un terrain préalablement aménagé. Les cultures ont été réalisées selon les techniques qui recommande une couverture complète des boutures de manioc en position horizontale dans le sol. Les plantes ont été naturellement irriguées par les pluies, ce qui correspond à une fréquence de précipitation comprise en 1800 et 3500 mm.an⁻¹ [13]. Les sites ont été maintenus par contrôle constant des mauvaises herbes toutes les 3 semaines, pendant 14 mois correspondant à la maturité générale des plantes.

2.3 COLLECTION D'ÉCHANTILLONS ET DOSAGE MINÉRAL

Les feuilles de manioc ont été récoltées et ensachées avant d'être transportées au laboratoire. Au total, vingt-quatre (24) sacs, soit six (6) sacs par site, ont été constitués.

Afin de déterminer les concentrations en Mn dans les feuilles de manioc et ensuite d'évaluer les risques pour la santé humaine, les échantillons ont été soigneusement lavés pour éliminer la poussière comme cela se fait couramment pour la consommation humaine [14], [15]. Puis les échantillons ont ensuite été rincés à l'eau du robinet pendant 30 secondes, avant d'être immergés dans deux bains d'eau distillée pendant 1 min et rincés encore une fois avec de l'eau distillée [16]. Les échantillons ont ensuite été séchés pendant 72 h à 70 °C à l'étuve (JP SELECTA, 56491, France). Après séchage, les feuilles de manioc ont été broyées. Deux (2) grammes de chaque échantillon ont été prélevés, placés dans un bécher et minéralisés par addition de 20 ml d'acide sulfurique et 5 ml de peroxyde d'hydrogène. Les béchers ont ensuite été chauffés dans de l'eau bouillante jusqu'à ce que la minéralisation soit totale. Tous les béchers ont ensuite été ajusté avec 50 ml avec l'eau distillée après refroidissement, puis laissé au réfrigérateur pour analyse.

Les concentrations en Mn ont été mesurées par spectrométrie d'émission atomique à l'aide d'un appareil analytique (CIBA CORNING, modèle 410).

2.4 CARACTÉRISTIQUES DES SOLS ET CONCENTRATION EN MN DANS LES DIFFÉRENTS SITES

Les sols ont été échantillonnés de manière aléatoire sur les quatre sites entre 0 et 10 cm de profondeur. Pour chaque site, trois réplicats ont été effectués.

2.4.1 LE PH

La méthode utilisée est celle indiquée dans la norme NF ISO10390 (AFNOR 1994b). La prise d'essai est d'au moins 5 g de sol sec mis dans des tubes auxquels est ajoutés 5 fois son volume en eau distillé ayant une conductivité inférieure ou égale à 0,2 mS/m à 25° C. Les tubes ont ensuite été agités énergétiquement à 400 tpm pendant 5 min sur une table d'agitation à température ambiante et la suspension est mise à reposer au moins 4 h. Le mélange est agité énergétiquement avant la mesure du pH.

2.4.2 TEXTURE DES SOLS

La granulométrie a été effectuée au laboratoire de Génie civil de l'Université de Sciences et Technique de Masuku. 200 g de sol ont été pesés et mis à l'étuve à 105° C pendant 24 h, 50 ml d'eau distillée ont été ajoutés. Pendant une semaine, tous les deux jours, le sol était homogénéisé. Puis les sols séchés et placés dans une colonne de tamis de maille décroissante en Inox AFNOR NFX 11504 ont été tamisés à l'aide d'une tamiseuse électrique pendant cinq minutes. Les refus des différentes fractions (gravier, sable, limon et argile) ont ensuite été pesés et le pourcentage de chaque fraction a été déterminé.

2.4.3 ANALYSE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

La détermination de la matière organique a été faite par minéralisation sèche (calcination) selon la méthode [17]. L'échantillon de sol a été séché à l'étuve pendant 24 heures à 105°C. Les creusets vides ont été pesés (P₀), puis 2 g de sol séchés ont été ajoutés. Les creusets ont été à nouveau pesés (P₁). Les creusets contenant 2 g de sol ont ensuite été placés dans un four à moufle à 800°C pendant 6 h. Après calcination de la matière organique, les creusets ont été à nouveau pesés (P₂) après refroidissement. Le pourcentage en matière organique a été calculé à partir de l'équation suivante.

$$\% MO = \frac{(p1 - p0) - (p2 - p0)}{p1 - p0} \times 100$$

Avec:

M.O: Matière organique

P0: Poids du creuset à vide.

P1: Poids du creuset avec 2 g de sol

P2: Poids du creuset après calcination de matière organique

2.5 CONCENTRATIONS EN MN DANS LES FEUILLES ET RISQUE POUR LA SANTÉ

Afin d'évaluer les risques sur la santé humaine liés à l'ingestion du Mn par la consommation régulière des feuilles de manioc, l'apport journalier (AJ, $\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$) a été déterminé à partir des concentrations en Mn mesurées dans les feuilles de manioc ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). L'équation 1 (Eq. 1) ci-dessous est généralement utilisée pour calculer l'apport journalier du Mn [18], [19], [20], pour les concentrations en Mn dans chaque site de Moanda et la quantité journalière de feuilles de manioc ($\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$) consommées. Pour une personne de masse corporelle de 72 kg, la masse moyenne des hommes est de 75 kg et les femmes 69 kg.

$$AJ = \frac{\text{concentration en Mn dans les feuilles de manioc (}\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{ poids frais)} \times 0.085 \times \text{consommation journalière (}\text{g}\cdot\text{J}^{-1}\text{)}}{\text{la masse du consommateur (kg)}}$$

Apport journalier de Mn (AJ, $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{J}^{-1}$) par les feuilles de manioc

Les quantités journalières maximales de manioc consommées à Moanda pour évaluer les risques sanitaires et déterminer la Dose Journalière Tolérable (DJT) du manganèse peuvent donc être calculées avec l'équation 2 (Eq. 2):

$$DJT_f = \frac{\text{concentration journalière acceptable } \mu\text{g kg}^{-1}\text{ j}^{-1}}{\text{la concentration en Mn dans les feuilles de manioc (}\mu\text{g kg}^{-1}\text{)}}$$

DJT_f = Consommation journalière de feuilles de manioc (par kg de poids corporel et par jour)

2.6 ANALYSE STATISTIQUE

Les concentrations pour chaque site ont été considérées comme des répliques. Le traitement statistique a été effectué à l'aide du logiciel R studio 4.4.1. Les concentrations en Mn ont été soumises au test de normalité. Pour la comparaison des différents traitements, une analyse de variance (ANOVA) à un critère d'évaluation a été effectuée sur les différents sites, suivi du test de comparaisons multiples de Tukey lorsque l'hypothèse nulle était rejetée au seuil 5%.

3 RÉSULTATS

3.1 CARACTÉRISTIQUES PHYSICO CHIMIQUES DES SOLS

Le tableau 1 montre les caractéristiques physico-chimiques des sols des quatre sites d'échantillonnage. Tous les sols présentaient un pH acide compris entre 5,65 et 5,72, avec aucune différence significative entre les valeurs de pH des différents sites. Les pourcentages en MO des sols sont sensiblement les mêmes sur les différents sites. Cependant, les teneurs en argile, en limons et sable des sols diffèrent significativement entre certains sites étudiés, ce qui expliquerait l'évolution de la texture qui est sablo-limoneuse pour les sites Leyima et Oasis, et sableuse pour les sites La gare et l'Alliance (Tableau 1).

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques des sols

	pH _{eau}	MO (%)	Argiles (%)	Limon (%)	Sable (%)	Texture
Leyima	5,66±0,3	14,116±0.4	15,16	16,66	68,17	Sablo-argileuse
Oasis	5,72±0,6	15,72±0.5	14,9	15,83	71,83	Sablo-argileuse
La gare	5,68±0,2	14,133±0.4	8,66	13,66	77,66	Sableuse
L'alliance	5,65±0,4	12,56±0.2	1,5	9,33	89,16	Sableuse

CONCENTRATION EN MN DANS LES FEUILLES DE MANIOC

Les mesures des concentrations en Mn dans les feuilles de manioc donnent des concentrations moyennes comprises entre 43900 de 48200 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Fig. 1).

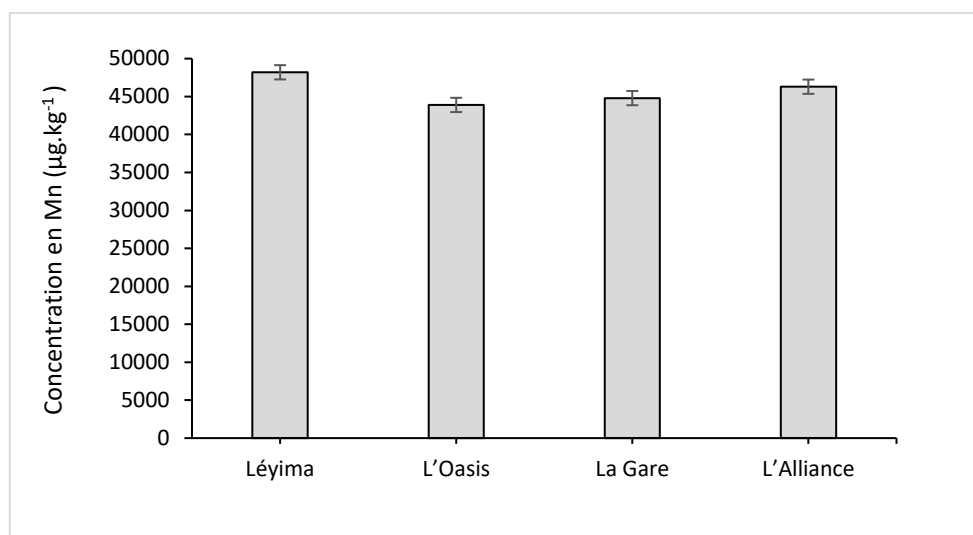


Fig. 2. Concentration en Mn contenue dans les feuilles de manioc en fonction des différentes localités (Leyima, Oasis, la Gare and Alliance) étudiées

FACTEUR DE RISQUE ET EXPOSITION DES POPULATIONS DE MOANDA

Le tableau 2 présente les facteurs de risques d'exposition pour les personnes qui consomment quotidiennement les feuilles de manioc.

DOSE JOURNALIÈRE TOLÉRABLE

Tableau 2. Quantités quotidiennes maximales des feuilles de manioc exposés aux Mn (g jour⁻¹, poids sec) qui peuvent être consommées sans dépasser l'apport journalier acceptable

Localités	Consommation journalière des feuilles de manioc g.j ⁻¹	Concentrations journalière acceptable de Mn (µg.kg ⁻¹ .j ⁻¹)	Concentration dans les feuilles de manioc (µg.kg ⁻¹)	Apport journalier Mn (µg.kg ⁻¹ .j ⁻¹)	Quantité journalière maximale des feuilles manioc pour un adulte de 71 kg (g.j ⁻¹)	Conclusion : risques potentiels pour la santé
L'Oasis	500	2000 et 5000	43900	25739,4	3,7	Risques modérés d'exposition
La Gare			44800	26338	3,6	
Léyima			48200	28732,3	3,3	
L'Alliance			46300	27535,2	3,5	

4 DISCUSSION

LES CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS, CONCENTRATION EN MN

A Moanda, les sols sont acides, le pH pour tous les sites est au tour de 5. La texture des sols est sablo-limoneuse pour les sites Leyima et Oasis, et sableuse pour les sites La gare et l'Alliance, avec un faible taux de matière organique (Tableau. 1). La concentration en Mn disponible est variable selon les endroits, elle se situe autour de 3406 mg.kg⁻¹ [1]. Des études ont montré que la concentration en Mn total dans les sols ou sont cultivées des cultures maraichères peut atteindre jusqu'à 17956 mg.kg⁻¹ [2], [21]. Les concentrations en Mn dans un sol considéré comme non pollué varient entre 40 et 900 mg.kg⁻¹ [22] celles considérées comme valeurs d'alertes pour les sols sont de 1500 mg.kg⁻¹ et les concentrations qui représentent les valeurs d'interventions 2500 mg.kg⁻¹ [23]. Les concentrations en Mn que l'on retrouve dans les sols de Moanda sont 19 à 450 fois au-dessus des limites acceptables règlementés, 20 fois au-dessus des valeurs d'alertes et 7 fois au-dessus des valeurs d'interventions [24]. Le sous-sol de Moanda est naturellement riche en Mn, l'exploitation de la mine de manganèse favorise

l'augmentation des concentrations en Mn biodisponible dans les sols de la ville et l'agglomération par le transfert atmosphérique [16]. Le labour des champs de manioc par les agriculteurs avant l'exploitation, le pH acide et la faible quantité de matière organique pourraient favoriser le transfert du Mn du sol vers la plante et donc vers les feuilles de manioc organes largement consommés populations [9], [25]. Ces fortes concentrations en Mn dans les sols constituent un sérieux risque d'exposition pour les consommateurs réguliers des feuilles de manioc dans cette région.

RISQUE DE TRANSFERT SOL-PLANTE

Les concentrations en Mn retrouvées très élevées dans les feuilles de manioc démontrent les risques d'expositions qu'encourent les populations de Moanda qui les consomment régulièrement. Les concentrations en Mn retrouvées dans les feuilles de manioc pour les 4 sites d'études varient entre 43900 de 48200 $\mu\text{g.Kg}^{-1}$ avec la plus forte concentration à Lékima et la plus faible à l'Oasis bien qu'ils n'existent pas de différences significatives entre les quatre différents sites. Lékima est le site de culture le plus proche de la mine, la distance entre la mine et les champs pourrait avoir un effet sur les concentrations en Mn retrouvées dans les feuilles de manioc. En effet, une étude a démontré un gradient de concentration croissant en Plomb sur le sol en se rapprochant d'une usine de recyclage de batterie automobile [26]. La direction du vent, le fait qu'on soit en saison de pluie ou non, sont aussi des facteurs non négligeables qui peuvent avoir un rôle important sur les concentrations en Mn dans les feuilles de manioc. Pendant la saison des pluies, les poussières qui sont sur les feuilles de manioc sont régulièrement nettoyées par les pluies abondantes de cette région. Les concentrations en Mn dans les sols considérés comme toxiques pour les plantes se situent entre 1500 et 3000 mg.Kg^{-1} [23], pour notre étude les concentrations retrouvées dans les sols sont bien au-dessus générant une toxicité avérée pour les plantes de manioc. Le pH du sol acide facilite la mobilité du Mn dans la solution du sol et ainsi son transfert vers ses différents organes. Selon [24], les sols acides se lessivent plus vite favorisant la phytodisponibilité du Mn comparativement aux sols avec des pH neutres et basiques. Le faible pourcentage de matière organique va limiter les liaisons entre ces dernières et le Mn, favorisant leurs transferts vers le manioc [27]. A Moanda, une étude sur 10 plantes potagères cultivées dans différents jardins a montré que 2 plantes l'oseille et le manioc avaient des concentrations supérieures à 1000 mg.Kg^{-1} dans leur feuilles [2] qui correspond à la concentration de Mn considérée comme toxiques pour les végétaux [28].

La consommation quotidienne moyenne de des feuilles de manioc pour un adulte de masse moyenne: 69 kg peut être variable selon les pays. En Afrique, elle varie entre 30 et 500 g par personne et par jour; en Afrique central, elle représente entre 7 et 35 % d'apport en protéines total [29], [30], [31]. Au Gabon la quantité journalière moyenne des feuilles de manioc consommée par personne n'est pas connue, nous pouvons supposer qu'elle est approximativement égale à celle du Cameroun et Congo pays voisins avec quasiment les mêmes habitudes alimentaires où elle varie entre (30 et 500 g.j^{-1}) [32].

TOXICITÉ HUMAINE EXPOSITION DES POPULATIONS DE MOANDA

Les populations de Moanda et des environs qui consomment quotidiennement les feuilles de manioc encourent finalement des risques modérés d'exposition au Mn comme l'indique le calcul de risque d'exposition (Tableau 2). Les sociétés de nutrition d'Allemagne, d'Autriche et de Suisse recommandent un apport de journalier de manganèse entre 2000 et 5000 $\mu\text{g.j}^{-1}$ pour les adultes et les enfants de plus de 10 ans [33], [34]. A Moanda, les apports journalier de Mn peuvent atteindre jusqu'à 29565.2 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$. Ce qui est dans l'intervalle des concentrations admissibles et constitue un risque modéré d'exposition pour les populations qui consomment les feuilles de manioc quotidiennement. On peut supposer que le transfert atmosphère-plante qui s'effectue par l'air a un impact important sur l'augmentation de la concentration dans les feuilles pouvant aller jusqu'à 12% de la surfaces des stomates [35] a un impact modéré. La forte pluviométrie dans la région de Moanda pourrait en être l'une des raisons. Bien que les populations de Moanda consommant régulièrement les feuilles de manioc dépassent modérément la dose journalière admissible, comme indiqué dans le Tableau 2. Le fait de consommer régulièrement pourrait favoriser l'accumulation du Mn dans les organes comme les os ou la demi-vie est plus longue. La demi-vie du Mn dans les os est variable, elle varie 77 et 429 jours respectivement dans le fémur ou humérus elle peut aller jusqu'à 9 ans [36], [37], ce qui favorise le risque d'accumulation. Les concentrations dans les tubercules de manioc qui sont eux dans le sol pourraient certainement être plus importantes. Ces dernières doivent aussi être mesurées afin d'évaluer les réels risques d'exposition car le plus souvent, les feuilles de manioc sont consommées avec les tubercules de manioc. D'autres paramètres comme les concentrations en Mn dans l'air, ainsi que dans l'eau que consomme les populations de Moanda doivent aussi être prises en compte pour avoir le réel risque d'exposition et les concentrations réelles du Mn dans les organismes des populations de cette région.

5 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les populations de Moanda qui consomment les feuilles de manioc quotidiennement présentent un risque modéré d'exposition au Mn en dépit des concentrations très élevées que l'on retrouve dans les sols. La consommation additionnelle d'autres aliments concentrés en Mn pourrait considérablement augmenter le facteur de risque et ainsi augmenter l'exposition des populations de cette localité. Il serait judicieux de prendre en compte l'ensemble des aliments cultivés sur ces sols et majoritairement consommés pour réévaluer le calcul du facteur de risque.

REMERCIEMENTS

Ce travail a bénéficié du soutien des agricultrices de Moanda pour le désherbage des sites. Au Dr André MULUWAY KALENDA et toute l'équipe du laboratoire de physiologie végétale de l'USTM. Un grand merci au Réseau international d'innovations pédagogiques et de recherches participatives pour les agricultures urbaines (Agriville), pour l'ensemble d'informations accessible sur leur site (<https://reseau-agriville.com/>).

REFERENCES

- [1] F. Eba, J. A. Ondo, S. Emane Mba, M. Ollui-M'boulou, and J. Omva-Zue, «Taux de manganèse accumulé dans quelques plantes vivrières cultivées dans la région manganésifère de Moanda (Gabon),» *J. la Société ouest-africaine Chim.*, vol. 023, no. 23, pp. 69–74, 2007.
- [2] J. Aubin Ondo, F. Eba, R. Menye Byogo, P. Prudent, M. Ollui-Mboulou, and J. Omva-Zue, «Characteristics of a manganese-rich soil and metal accumulation in edible parts of plants in the region of Moanda, Gabon,» *African J. Agric. Res.*, vol. 9, no. 25, pp. 1952–1960, 2014, doi: 10.5897/AJAR11.2082.
- [3] J. A. Ondo *et al.*, «Accumulation of soil-borne aluminium, iron, manganese and zinc in plants cultivated in the region of Moanda (Gabon) and nutritional characteristics of the edible parts harvested,» *J. Sci. Food Agric.*, vol. 93, no. 10, pp. 2549–2555, 2013, doi: 10.1002/jsfa.6074.
- [4] E. Nzengué *et al.*, «Effets des Terrils de Manganèse de la Mine de Moanda (Gabon) sur Quelques Caractères Morphométriques de l'Arachide (*Arachis hypogea* L),» 2019. [Online]. Available: <http://www.europeanjournalofscientificresearch.com>
- [5] C. Clarke and S. Upson, «A global portrait of the manganese industry—A socioeconomic perspective,» *Neurotoxicology*, vol. 58, pp. 173–179, Jan. 2017, doi: 10.1016/J.NEURO.2016.03.013.
- [6] X. Guo, Y. Lu, Q. Zhang, J. Ren, and W. Cai, «The Geological Characteristics, Resource Potential, and Development Status of Manganese Deposits in Africa,» *Minerals*, vol. 14, no. 11, 2024, doi: 10.3390/min14111088.
- [7] S. Mombo and C. Dumat, Jardins nourriciers urbains à Libreville (Gabon) : opportunités pour les citoyens de développer les liens santé-environnement, vol. 1. Toulouse, 2023. Accessed: Jul. 12, 2024. [Online]. Available: <https://www.decitre.fr/livres/agricultures-urbaines-en-afrique-subsaaharienne-francophone-et-a-madagascar-9782810712472.html#resume>.
- [8] S. Mombo, C. Dumat, M. Shahid, and E. Schreck, «A socio-scientific analysis of the environmental and health benefits as well as potential risks of cassava production and consumption,» *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 24, no. 6, pp. 5207–5221, 2017, doi: 10.1007/s11356-016-8190-z.
- [9] R. Millaleo, M. Reyes- Diaz, A. Ivanov, M. Mora, and M. Alberdi, «Manganese As Essential and Toxic Element for Plants: Transport, Accumulation and Resistance Mechanisms,» *J. soil Sci. plant Nutr.*, vol. 10, no. 4, pp. 470–481, 2010, doi: 10.4067/S0718-95162010000200008.
- [10] A. L. Smythers *et al.*, «Excess manganese increases photosynthetic activity via enhanced reducing center and antenna plasticity in *Chlorella vulgaris*,» *Sci. Rep.*, vol. 13, no. 1, pp. 1–14, 2023, doi: 10.1038/s41598-023-35895-x.
- [11] F. Kanwal, A. Riaz, S. Ali, and G. Zhang, «NRAMPs and manganese: Magic keys to reduce cadmium toxicity and accumulation in plants,» *Sci. Total Environ.*, vol. 921, p. 171005, Apr. 2024, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2024.171005.
- [12] M. Campagna, R. G. Lucchini, and L. Alessio, «Manganese Toxicity,» *Encycl. Met.*, pp. 1303–1308, Jul. 2023, doi: 10.1007/978-1-4614-1533-6_265.
- [13] Z. Menié Ovono and P. Pottier, «Le risque inondation dans les petits bassins-versants côtiers urbains de Libreville (Gabon) : exemple d'Ogombié et d'Indongui,» 2019.
- [14] G. Uzu, S. Sobanska, G. Sarret, M. Muñoz, and C. Dumat, «Foliar Lead uptake by lettuce exposed to atmospheric fallouts,» *Environ. Sci. Technol.*, vol. 44, no. 3, pp. 1036–1042, 2010, doi: 10.1021/es902190u.

- [15] T. Xiong, T. Leveque, M. Shahid, Y. Foucault, S. Mombo, and C. Dumat, «Lead and Cadmium Phytoavailability and Human Bioaccessibility for Vegetables Exposed to Soil or Atmospheric Pollution by Process Ultrafine Particles,» *J. Environ. Qual.*, vol. 43, no. 5, p. 1593, 2014, doi: 10.2134/jeq2013.11.0469.
- [16] T. T. Xiong *et al.*, «Kinetic study of phytotoxicity induced by foliar lead uptake for vegetables exposed to fine particles and implications for sustainable urban agriculture,» *J. Environ. Sci. (China)*, vol. 46, pp. 16–27, Aug. 2016. doi: 10.1016/j.jes.2015.08.029.
- [17] D. Baize, *Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France)*. France: Editions Quae, 1997. Accessed: Apr. 02, 2025. [Online]. Available: http://books.google.fr/books?id=w5eal_GfYxQC.
- [18] Y. J. Cui *et al.*, «Transfer of metals from soil to vegetables in an area near a smelter in Nanning, China,» *Environ. Int.*, vol. 30, no. 6, pp. 785–791, 2004, doi: 10.1016/j.envint.2004.01.003.
- [19] R. K. Sharma, M. Agrawal, and F. M. Marshall, «Heavy metals in vegetables collected from production and market sites of a tropical urban area of India.,» *Food Chem. Toxicol.*, vol. 47, no. 3, pp. 583–91, Mar. 2009, doi: 10.1016/j.fct.2008.12.016.
- [20] A. Okorie, J. Entwistle, and J. R. Dean, «Estimation of daily intake of potentially toxic elements from urban street dust and the role of oral bioaccessibility testing.,» *Chemosphere*, vol. 86, no. 5, pp. 460–7, Feb. 2012. doi: 10.1016/j.chemosphere.2011.09.047.
- [21] N. A. N. Messi-Me, «Impact des éléments traces métalliques sur les plantes alimentaires de la ville minière de Moanda (Gabon). Cas du Manihot esculenta Crantz,» *These Dr. en Chim. inorganique, Spec. Chim. l'environnement. Univ. Sci. Tech. Masuku*, vol. 2018/EDSFA, p. 132, 2018.
- [22] B. T. Pavilonis *et al.*, «Manganese concentrations in soil and settled dust in an area with historic ferroalloy production,» *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.*, vol. 25, no. 4, pp. 443–450, 2015, doi: 10.1038/jes.2014.70.
- [23] C. Dinu *et al.*, «Soil and vegetation pollution from an abandoned mining area situated in Hunedoara County, Romania,» *Rev. Chim.*, vol. 69, no. 1, pp. 14–20, 2018, doi: 10.37358/rc.18.1.6036.
- [24] R. G. Mihaileanu *et al.*, «Assessment of heavy metals (total chromium, lead, and manganese) contamination of residential soil and homegrown vegetables near a former chemical manufacturing facility in Tarnaveni, Romania,» *Environ. Monit. Assess.*, vol. 191, no. 1, 2019, doi: 10.1007/s10661-018-7142-0.
- [25] R. Daulta, M. Prakash, and S. Goyal, «Metal content in soils of Northern India and crop response: a review,» *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 2022 204, vol. 20, no. 4, pp. 4521–4548, Mar. 2022, doi: 10.1007/S13762-022-03953-Y.
- [26] T. Leveque, Y. Capowiez, E. Schreck, T. Xiong, Y. Foucault, and C. Dumat, «Earthworm bioturbation influences the phytoavailability of metals released by particles in cultivated soils.,» *Environ. Pollut.*, vol. 191, pp. 199–206, Aug. 2014, doi: 10.1016/j.envpol.2014.04.005.
- [27] M. Tan, L. Liu, M. Zhang, Y. Liu, and C. Li, «Effects of solution chemistry and humic acid on the transport of polystyrene microplastics in manganese oxides coated sand.,» *J. Hazard. Mater.*, vol. 413, pp. 125410–125410, Feb. 2021, doi: 10.1016/J.JHAZMAT.2021.125410.
- [28] S. Murtic, E. Sahinovic, H. Civic, and J. Jurkovic, «Health risk from heavy metals via consumption of food crops grown on the soils in the vicinity of manganese mine,» *Bulg. J. Agric. Sci.*, vol. 26, no. 2, pp. 452–456, 2020.
- [29] A. Ufuan Achidi, O. A. Ajayi, M. Bokanga, and B. Maziya-Dixon, «The use of cassava leaves as food in Africa,» *Ecol. Food Nutr.*, vol. 44, no. 6, pp. 423–435, Nov. 2005, doi: 10.1080/03670240500348771.
- [30] S. Latif and J. Müller, «Potential of cassava leaves in human nutrition: a review,» *Trends Food Sci. Technol.*, 2015, doi: 10.1016/j.tifs.2015.04.006.
- [31] M. A. Velázquez-Cedeño, A. M. Farnet, E. Ferré, and J. M. Savoie, «Variations of lignocellulosic activities in dual cultures of *Pleurotus ostreatus* and *Trichoderma longibrachiatum* on unsterilized wheat straw,» vol. 96, no. 4, pp. 712–719, 2017. doi: 10.1080/15572536.2005.11832919. <http://dx.doi.org/10.1080/15572536.2005.11832919>
- [32] S. Latif and J. Müller, «Potential of cassava leaves in human nutrition: A review,» 2015, Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.tifs.2015.04.006.
- [33] P. Chen, J. Bornhorst, and M. Aschner, *Manganese metabolism in humans*, vol. 23. 2018. doi: 10.25932/publishup-42743.
- [34] B. Sachse *et al.*, «Dietary Manganese Exposure in the Adult Population in Germany—What Does it Mean in Relation to Health Risks?,» Aug. 01, 2019, Wiley-VCH Verlag. doi: 10.1002/mnfr.201900065.
- [35] T.-T. Xiong *et al.*, «Foliar uptake and metal (loid) bioaccessibility in vegetables exposed to particulate matter.,» *Environ. Geochem. Health*, vol. 36, no. 5, pp. 897–909, Oct. 2014, doi: 10.1007/s10653-014-9607-6.
- [36] S. L. O'Neal *et al.*, «Manganese accumulation in bone following chronic exposure in rats: Steady-state concentration and half-life in bone,» *Toxicol. Lett.*, vol. 229, no. 1, pp. 93–100, Aug. 2014, doi: 10.1016/j.toxlet.2014.06.019.
- [37] D. Rolle-Mcfarland *et al.*, «Development of a cumulative exposure index (CEI) for manganese and comparison with bone manganese and other biomarkers of manganese exposure,» *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 15, no. 7, Jul. 2018, doi: 10.3390/ijerph15071341.

Étude qualitative des eaux de la nappe du Maastrichtien à Touba (Sénégal): Cas du fluor et du résidu à sec

[Qualitative study of water from the Maastrichtian aquifer at Touba (Senegal): The case of fluoride and dry residue]

Ibra Kandji¹, Papa Babacar Diop Thioune², and Mamadou Salif Diallo²

¹Laboratoire BIOGERENAT, Institut Supérieur Formation Agricole et Rural (ISFAR) BP 54, Université Alioune de Bambey, Senegal

²Université Alioune DIOP de Bambey, Senegal

Copyright © 2026 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 supply of quality drinking water in the religious city of TOUBA remains a major challenge for the state and local authorities. The aim of this study is to assess the hydrochemical quality of the Maastrichtian aquifer located in the TOUBA hydrogeological basin. Specifically, the study focuses on fluoride and dry residue concentrations. We worked with hydrogeological data received from the Water Resources Management and Planning Department from 54 boreholes that tap the Maastrichtian in Touba and the surrounding area. The results show that in the area, the quantity of dry residues and the concentration of fluoride are high, even exceeding the threshold set by the WHO in some boreholes. Fifty-two (52) out of fifty-four (54) of the boreholes studied, i.e. 96.3%, have a dry residue concentration above the WHO limit value (1000 mg/L), and only ten (10) of the 54 boreholes studied, i.e. 18.5%, have a concentration below 1.5 mg/L (WHO standard). Consumption of this water without prior treatment may constitute a public health problem in TOUBA.

KEYWORDS: groundwater, borehole, maastrichtian, Touba, fluoride, dry residues.

RESUME: L'approvisionnement en Eau Potable en qualité dans la cité religieuse de TOUBA reste un défi majeur pour les autorités étatiques et territoriales. L'objectif de ce travail est d'évaluer la qualité hydrochimique de la nappe du maastrichtien située dans le bassin hydrogéologique de TOUBA. Spécifiquement l'étude porte sur les concentrations du fluor et du résidu à sec. Nous avons travaillé avec les données hydrogéologiques reçues de la Direction de la Gestion et de La Planification des Ressources en Eau de Cinquante-quatre forages-puits qui captent le Maastrichtien à Touba et ses environnants. Les résultats montrent que dans la zone, la quantité de résidus à secs et la concentration de fluor sont élevées et dépassent même le seuil fixé par l'OMS au niveau de certains forages. Cinquante-deux (52) sur cinquante-quatre (54) des forages étudiés, soit un taux de 96,3% ont une concentration en résidus à sec supérieure à la valeur limite de l'OMS (1000 mg/L) et Seuls dix (10) forages des 54 étudiés, soit un taux e 18,5%, ont un une concentration inférieure à 1,5 mg/l (norme OMS). La consommation sans traitement préalable de ces eaux peut constituer un problème de santé publique à Touba.

MOTS-CLEFS: nappe, forage, maastrichtien, Touba, Fluor, résidus à sec.

1 INTRODUCTION

Touba est une ville religieuse située dans la région de Diourbel. En terme de démographie, c'est la deuxième la plus peuplée après Dakar. Les ressources en eau souterraine du Sénégal se trouvent au niveau de trois nappes (superficielle, semi profonde et profonde/maastrichtien). Les forages qui captent le maastrichtien sont profondes d'environ 250-450m.

Les eaux souterraines constituent une réserve d'eau importante pour la consommation d'eau potable et les activités industrielles et agricoles. Cependant, elles sont rarement pures de manière générale dans la nature. En effet, la composition physique, chimique et biologique de ces eaux dépendent de la nature de l'aquifère. Différents éléments peuvent altérer sa constitution de base par diffusion, dissolution et hydrolyse, ou même par un simple mélange (Savané et al, 2001).

A Touba, comme dans les autres localités du Sénégal, l'approvisionnement en eau potable en qualité cause un véritable problème du fait d'une démographie galopante, d'un manque d'investissement dans le secteur de l'eau notamment pour son traitement et sa distribution.

L'objectif du présent travail est d'évaluer la concentration du résidu à sec et la quantité du fluor contenues dans les eaux du Maastrichtien. L'étude a été rendue possible grâce aux données hydrogéologiques de cinquante-quatre forages-puits captant le Maastrichtien, reçues de la Direction de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eau (DGPRE).

La quantité de résidus à sec correspond à la quantité de minéraux qu'il reste après évaporation. Très souvent, elle s'exprime en milligrammes par litre. Plus concrètement, cela signifie que l'on prend un litre d'eau, qu'on le porte à 180 °C, qu'on attend que toute l'eau se soit évaporée et que l'on pèse ce qu'il reste pour obtenir la masse de résidus à sec. Si le taux de résidus à sec est supérieur à 1 500 mg/l, il s'agit d'une eau riche en minéraux. Si ce taux est compris entre 500 et 1 500 mg/l, l'eau est moyennement minéralisée. En dessous de 500 mg/l, l'eau est dite faiblement minéralisée et en dessous de 50 mg/l, très faiblement minéralisée (S. Houssaini, 2010). La concentration limite de résidu à sec pour une eau destinée à la consommation est égale à 1000mg/L (OMS)

Suivant les normes de l'OMS la valeur maximale de la teneur en fluor admise est de 1.5 mg/l. Au-delà de cette valeur, la consommation de l'eau devient dangereuse pour la santé publique. La fluorose dentaire apparaît à partir des concentrations de l'ordre de 2 mg/l alors que les formes de fluoroses graves (osseuse, dentaire et articulaire) apparaissent à partir de 4 mg/l.

2 METHODOLOGIE

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Siège de la confrérie musulmane des mourides, la ville de Touba est située à 194 km à l'Est de capitale DAKAR, dans le département de MBACKE. Ses coordonnées géographiques sont les suivantes:

Longitude: 15° 52 'Ouest;

Latitude: 14° 52' Nord.

Elle est géographiquement limitée:

- Au Nord par l'arrondissement de Darou Mousty;
- Au Sud par l'arrondissement de Kaël;
- L'Est par l'arrondissement de Sagatta Djoloff;
- A l'Ouest par un ensemble de communautés rurales que sont celles de Touba Fall et Dalla – Ngabo

La commune de Touba Mosquée est située à l'est du département de Mbacké et couvre à l'origine une superficie de 553 km². Aujourd'hui les dernières extensions s'étendent sur une superficie de 30 000 ha. Située dans le bassin arachidier, la zone de Touba est marquée par un relief pratiquement plat avec cependant quelques dépressions et vallonements plus ou moins prononcés que l'on constate le plus souvent au sud et au centre. Ce relief tabulaire devient une forte opportunité pour un étalement horizontal sans précédent de la ville. IL fait partie d'un vaste plateau monotone qui s'étend de la Casamance à la vallée du fleuve Sénégal.

Le climat est soudano-sahélien, chaud et sec, avec la juxtaposition de deux grandes saisons:

- Une saison dite pluvieuse qui va de Juillet à Septembre;
- Une autre dite non pluvieuse (ou sèche) allant d'octobre à Juin.

La topographie dans les 3 kilomètres entourant Touba est essentiellement plate, avec une variation de l'altitude de 19 mètres maximum et une altitude moyenne au-dessus du niveau de la mer de 46 mètres. Dans les 16 kilomètres, topographie essentiellement plate (54 mètres). Dans les 80 kilomètres, présente aussi seulement de légères variations de l'altitude (84 mètres).

La zone d'étude se situe au point de vue géologique au centre du bassin Sénégal-mauritanien. Tous les âges (du socle cristallin au Quaternaire) sont représentés. Les études hydrogéologiques, les forages et les sondages réalisés dans le secteur nous ont permis d'établir la description lithologique ci-après:

LE QUATERNAIRE ET CONTINENTAL TERMINAL

Ils sont constitués essentiellement de sable jaune à sable argileux ou argile sableuse et des gravillons latéritiques utilisés dans le domaine du bâtiment et des travaux publics au niveau de la ville sainte.

L'EOCÈNE

Les formations de l'Eocène inférieur et moyen sont représentées dans notre zone d'étude, par des faciès argilo-marneux de calcaires marneux aux marno-calcaires et marnes grises. L'épaisseur de l'Eocène avoisine les 100 m.

LE PALÉOCÈNE

La formation du Paléocène s'étend sur une épaisseur moyenne de l'ordre de 100 m. Le Paléocène est également constitué de calcaires à calcaires marneux, de marnes. Il est limité à sa base par une couche d'argile noire constituant ainsi la zone de transition entre le Paléocène et le Maastrichtien.

LE MAASTRICHTIEN

Le Maastrichtien se compose de sable argileux à sable grossier avec des intercalations de grès et d'argiles. Les forages d'eau ne captant que la partie superficielle ne permettent pas de déterminer son épaisseur exacte.

À Touba, les ressources en eau sont réparties entre les eaux de surface et les eaux souterraines.

Les eaux de surface sont quasi inexistantes. Les quelques retenues d'eaux sont constituées par les opportunités qu'offrent quelques dépressions plus ou moins importantes.

Certaines caractéristiques des différents aquifères comme le maastrichtien qui est le plus exploité font que l'exploitation des nappes souterraines pour alimenter la cité pose d'énormes problèmes:

- La profondeur et la qualité médiocre des eaux,
- La température élevée de celles-ci (40° C),
- La progression de la salinité des eaux.

D'un autre point de vue, l'Eocène, le Paléocène et le Lutétien présentent les mêmes caractéristiques ci-dessus du point de vue de la grande profondeur et de la faiblesse des débits.

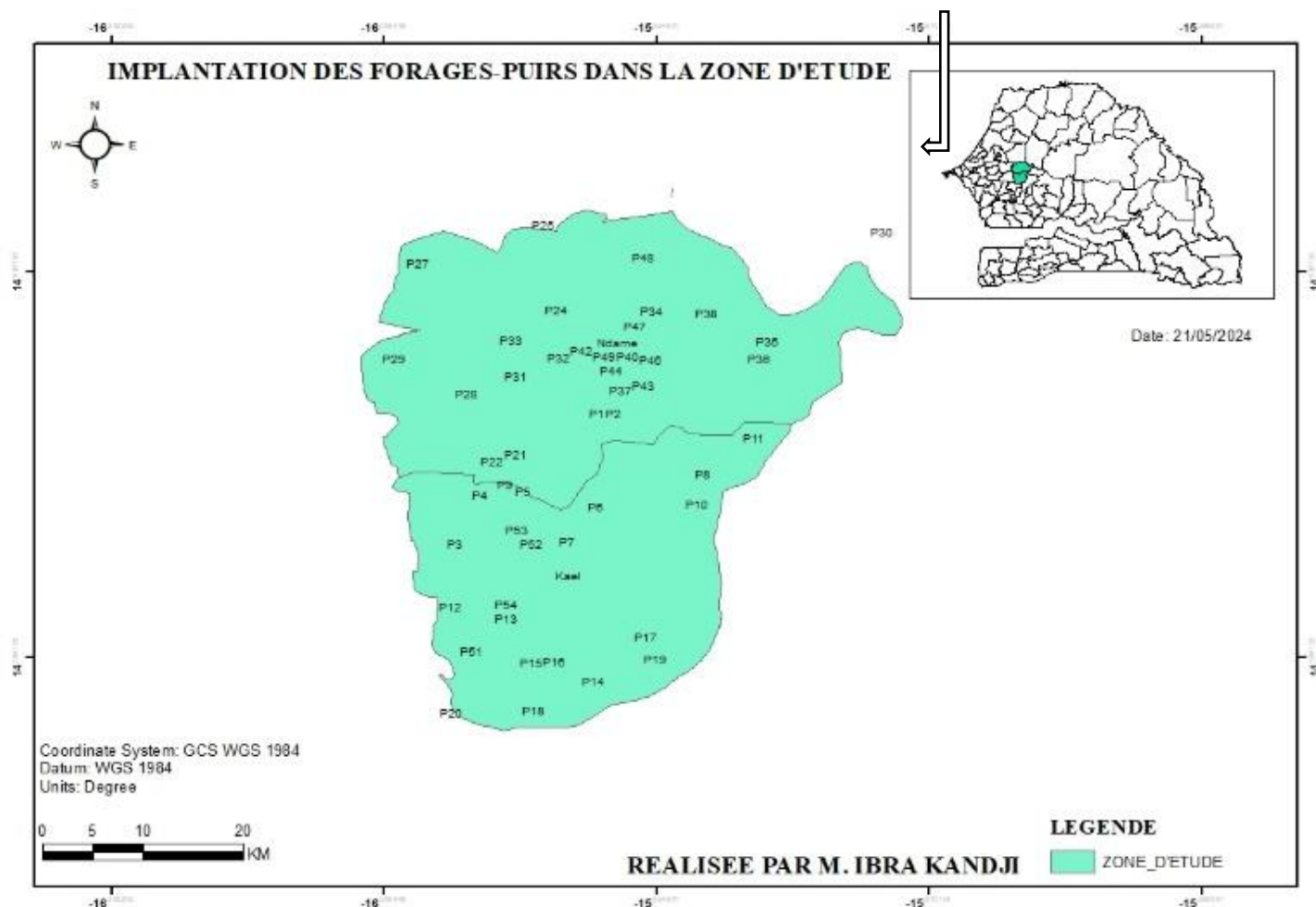


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

2.2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les données hydrogéologiques ont été fournies par la Direction de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eau (DGPRE). Il s'agit de la concentration du résidu à sec et de celle du fluor. Les mesures des paramètres hydrochimiques précitées ont été effectuées sur Cinquante-quatre (54) forages-puits captant le Maastrichtien. Sur la base des données de ces Cinquante-quatre (54) forages nous avons effectué une étude statistique afin d'analyser les différents paramètres étudiés. Les logiciels utilisés pour le traitement sont: GOOGLE EARTH pour la localisation des points et ARCGIS pour la réalisation des cartes.

3 RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 RÉSIDUS À SEC

Les valeurs de résidus à sec du Maastrichtien de Touba se situent entre 440 et 2675 mg/L avec une moyenne de 1653mg/L dépassant la limite de l'OMS (1000 mg/L). Cinquante-deux (52) sur cinquante-quatre (54) des forages étudiés, soit un taux de 96,3% ont une concentration en résidus à sec supérieure à la valeur limite de l'OMS (1000 mg/L). Les plus fortes valeurs sont enregistrées à l'Ouest, au Nord-Ouest, au centre et un peu au Sud de Touba avec une valeur maximale de 2667 mg/L à Touba Mosquée. Néanmoins, à Darou Koudous, les concentrations restent inférieures à 1000 mg/L, avec des concentrations comprises entre 440 et 660 mg/L (voir figure 2). Ce résultat montre que l'eau souterraine du Maastrichtien de Touba est riche en résidu à sec et sa consommation sans traitement au préalable constitue un danger à la santé publique. En fait, une eau fortement minéralisée peut avoir des effets surprenants sur l'organisme. Par exemple, une forte concentration en sulfates peut perturber le transit intestinal, provoquant des diarrhées et, à long terme, une déshydratation sévère¹.

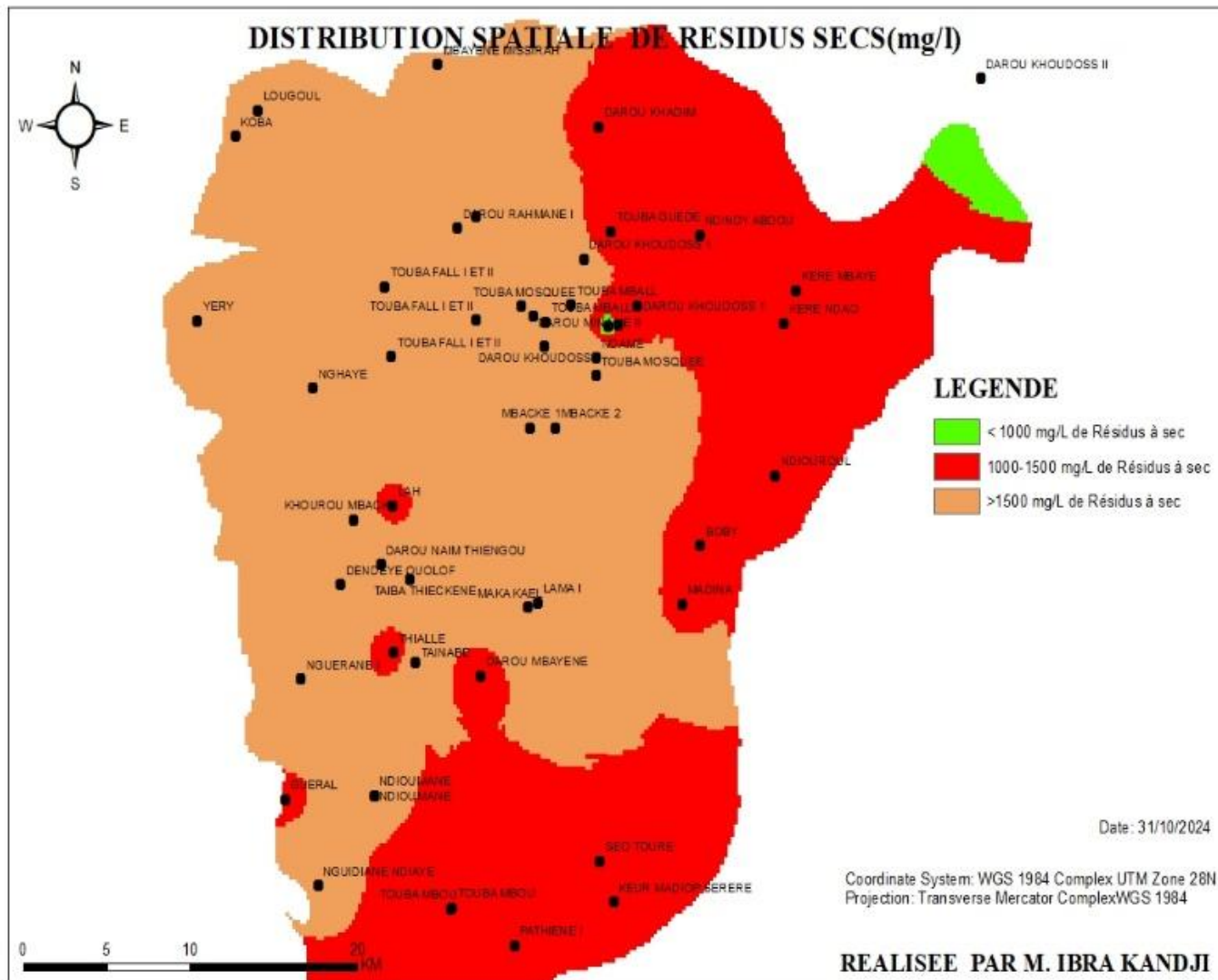


Fig. 2. Distribution spatiale de résidus à sec

3.2 LE FLUOR

Dans notre secteur d'étude, la teneur varie entre 0.1 et 7.5 mg/l avec une moyenne de 2,2 mg/l dépassant la limite de l'OMS (1,5 mg/l) (Figure 3). Seuls dix (10) forages des 54 étudiés, soit un taux de 18,5%, ont une concentration inférieure à 1,5 mg/l (norme OMS) et 77% des forages étudiés ont une concentration supérieure à 2mg/l, Seuil de l'apparition de la fluorose dentaire chez l'individu. La figure 3 montre que les valeurs les plus élevées sont enregistrées à NGUERANE I, Koba et TOUBA FALL avec comme valeurs respectives 4mg/g, 4mg/l et 7.5mg/l. Cela témoigne que la consommation sans traitement au préalable de l'eau de la nappe expose le consommateur à des risques de maladie comme les formes de fluoroses graves (osseuse, dentaire et articulaires)

- [6] K. TINE, «REACTUALISATION DE LA SITUATION HYDROGEOLOGIQUE DES AQUIFERES DU MAASTRICHTIEN ET DU PALEOCENE DE LA REGION DE MBOUR, SENEGAL, » Journal des Sciences et Technologies, 2011.
- [7] M. SANE, «NOTE SUR LES RESSOURCES EN EAUX DU SENEGAL: ZONES POTENTIELLES POUR LE TRANSFERT D'EAU, » MINISTERE DE L'HYDRAULIQUE ET DE L'ASSAINISSEMENT: DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE, DAKAR, Octobre 2015.
- [8] D. SOW, «Dynamique spatiale de 1930 à 2020 et gouvernance urbaine de la « ville » de Touba, » UNIVERSITE ASSANE SECK DE ZIGUINCHOR (UASZ), ZIGUINCHOR, février 2021.
- [9] M. M. Diouf, «Touba, ville sainte et exemple de développement durable, » TOUBA, 2019.
- [10] K. Sqalli Houssaini T, «Les eaux en bouteille au Maroc:, » 2010.

