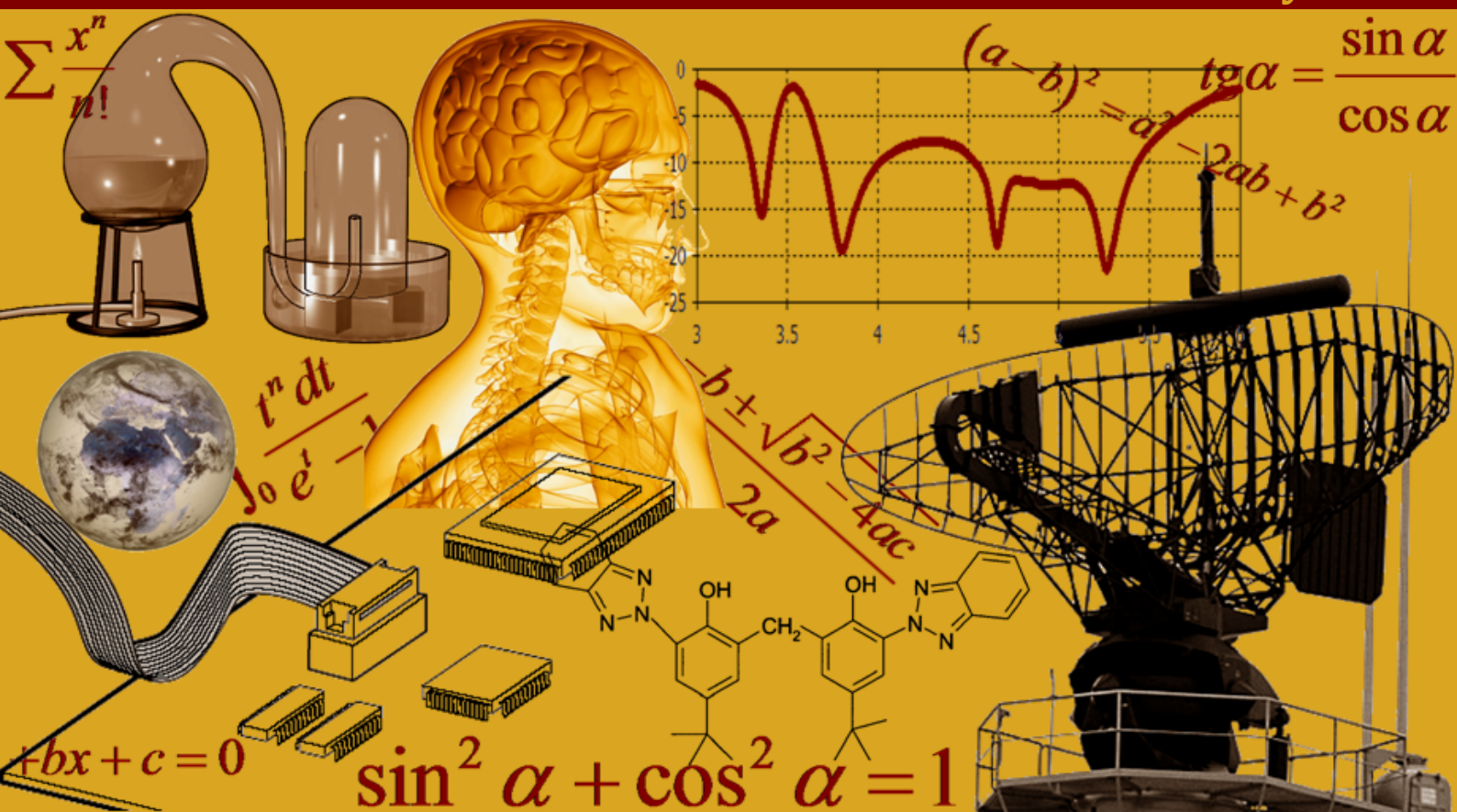


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND SCIENTIFIC RESEARCH

Vol. 54 N. 2 May 2021



International Peer Reviewed Monthly Journal



International Journal of Innovation and Scientific Research

International Journal of Innovation and Scientific Research (ISSN: 2351-8014) 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
Avdhoot Walunj, National Institute of Technology Karnataka, India
Rehan Jamil, Yunnan Normal University, China
Sankaranarayanan Seetharaman, National University of Singapore, Singapore
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
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
Urmila Shrawankar, G H Raisoni College of Engineering, India
Goutam Banerjee, Visva-Bharati University, India
Santosh Kumar Mishra, S. N. D. T. Women's University, India
Anupam Kumar, Ashoka Institute of Technology & Management, India

Table of Contents

The reduction of bullwhip effect by Integrating Information Sharing, Forecasting, Economic Order Quantity (EOQ) - Vendor Management Inventory (VMI) - and Consignment (Cs) Approach <i>Emmalia Adriantantri and Sri Indriani</i>	56-63
Distance sampling technique in vegetation studies: A critical review <i>Gbènakpon Aubin Y. G. Amagnide, Ceptime Ahlonsou, and Romain Glele Kakaï</i>	64-76
Diversité floristique et structure des formations végétales de la Forêt Classée de Pénésoulou (Bénin, Afrique de l'Ouest) <i>Léonce O. S. N. Dossa, Aristide Cossi Adomou, Gbèwonmèdéa Hospice Dassou, and Gbènakpon Aubin Y. G. Amagnide</i>	77-89
Analyse de la variabilité des perturbations climatiques du bassin versant du fleuve Sassandra à Soubré (Ouest de la Côte d'Ivoire) <i>Kouao Armand Anoh, Zilé Alex Kouadio, Daouda Konaté, Kouakou Bernard Dje, Kouakou Hervé Kouassi, Tanoh Jean-Jacques Koua, and Dibi Brou</i>	90-101
La compositionnalité et la confixation au service de la didactisation des cours de terminologie médicale en amont et de l'acte communicationnel thérapeutique en aval: Le cas des facultés de médecine et de pharmacie au Maroc <i>Badr Aahadli</i>	102-112

The reduction of bullwhip effect by Integrating Information Sharing, Forecasting, Economic Order Quantity (EOQ) - Vendor Management Inventory (VMI) - and Consignment (Cs) Approach

Emmalia Adriantantri and Sri Indriani

Industrial Engineering, National Institute of Technology, Malang, East Java, Indonesia

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

ABSTRACT: This research aims to create a conceptual method, in order to reduce the effect of bullwhip by integrating information sharing, Forecasting, Economic Order Quantity (EOQ), Vendor Management Inventory (VMI), and Consignment (Cs) methods. The results are used to build an application that can be used for information sharing, simulation using forecasting, and Economic Order Quantity-Vendor Management Inventory-Consignment methods, which can reduce the effect of bullwhip. It can be concluded that through information sharing, the results obtained in the forecasting method is more accurate, because customer requests can be identified by suppliers and retailers. Also, the optimal product lot size and total cost was obtained by using the Economic Order Quantity-Vendor Management Inventory-Consignment model. These aforementioned integration steps were taken as an effort to reduce the effect of bullwhip.

KEYWORDS: Bullwhip Effect, Information Sharing, EOQ, VMI-Consignment, Inventory.

1 INTRODUCTION

In today's industrial world, the level of competition is getting higher, hence, companies should be able to compete in order to survive. This is because, the higher the level of competition, the more the consumers are able to benefit from the large selection of products or services available, such that they are increasingly critical about the quality of the products and services offered. Therefore, the company must be able to take strategic steps in order to compete in winning the market and achieve maximum production results to meet market demand. A strategic step that companies can take is to maintain good coordination between retailers, suppliers, and factories that form a chain called the supply chain. What often happens in the supply chain is information distortion, resulting in variations in demand, this event is called the bullwhip effect [1]

According to Jiang, Q. and Ke, G. (2019), the Bullwhip effect is a situation that occurs in the supply chain where demand from customers changes. These changes can cause various impacts, thereby resulting in the disruption of the supply chain. For instance, the amount of product demand that is always changing with fixed ordering times and the lack of accurate communication will cause various kinds of disruptions to the supply chain, such as an increase and varied demand from upstream to downstream [2]. Hence, adequate research is needed to be carried out in order to solve this problem.

The causes of the bullwhip effect include, the accumulation of orders, processing customer requests, waiting time for product orders to arrive, price changes, distrust from other parties, and the company's product inventory policy [4]. On the other hand, the ways to reduce this effect are, sharing information, reducing lead time, changing supply chain structures, creating price stability, and reducing costs [5].

Based on this description, it is necessary to integrate several methods that can be used to overcome the causes of this bullwhip effect. This will make products to be available in a timely manner and in quantity to meet customer demands.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 SUPPLY CHAIN

Supply Chain is a network of several companies that work together to deliver products to customers, including suppliers, industry, shops or retail [6]. In addition, supply chain management is a series of activities meant to integrate suppliers, industry, warehouse or other storage facilities, to ensure that products arrive at the customer's hands in a timely, quantity, and precise location, in order to minimize costs and provide satisfaction [7].

2.2 BULLWHIP EFFECT

Bullwhip is an event where demand for suppliers is greater than the real demand at retail, because the data in each distribution chain is less precise [8]. The changes in customer demand causes distortion at each stages of the supply chain, thereby making demand to be inaccurate [9]. As a result, it causes inefficiencies in the supply chain [10].

2.2.1 BULLWHIP EFFECT CALCULATION

The bullwhip effect equation can be written as follows [11]:

$$\text{Bullwhip Effect} = \frac{CV \text{ order}}{CV \text{ demand}} \quad (1)$$

$$CV \text{ order} = \frac{S(\text{order})}{\mu(\text{order})}$$

$$CV \text{ demand} = \frac{S \text{ demand}}{\mu \text{ demand}}$$

CV (order) = Variable orders to suppliers

CV (demand) = Customer demand variable

S (order) = The standard deviation of the order

μ (order) = Order request average

S (demand) = Standard deviation of customer requests

μ (demand) = Average customer demand

N = Period

$\bar{X}$ = Average value

2.2.2 BULLWHIP EFFECT CAUSES

According to Khan, M.H. and Ahmad, S., 2016 are [4]:

- Demand Signal Processing or Demand Fluctuation
- Order Batching
- Price Fluctuation
- Lead time

According to Dewi, F.R. and Garside, A.K., 2015 [5], Rationing and Shortage Gaming are also included in the causes of the bullwhip effect.

2.2.3 REDUCES BULLWHIP EFFECT

According to Dewi, F.R. and Garside, A.K., 2015 [5], the ways to reduce the Bullwhip effect include:

- **Information sharing**

This can be done through the construction of a WEB-based information sharing system facility, to monitor existing stocks at suppliers or retail [12]. For instance, Big Data can be used, where it is necessary to provide 'speed' data properties that have the greatest potential to improve performance in the supply chain management. Likewise its operation can be used in the analysis of control techniques [13], for the information to be well coordinated, such that calculations can be made to predict future demand [14].

- **Reducing the lead time**

The lead time can be reduced by shortening the supply chain structure, changing the means of transportation, making innovations such as cross docking, improving order handling management, rescheduling production, and better shipping. It can also be done by resetting the inventory model that is carried out, and its management can be done by a supplier known as the Vendor Management Inventory (VMI) method [15].

- **Shortening or changing the supply chain structure**

Improvements need to be made to the supply chain structure, to know the real demand and to shorten the supply chain [16]. This is because large number of suppliers for the same product will increase the bullwhip effect. Thus, it is better to have one reliable supplier supplying the product than more, that will cause uncertainties both in product quality, timeliness, and product availability [17].

- **Creating price stability**

To ensure price stability, various things can be done such as, price adjustments to always be in accordance with the changing circumstances [18]. Another way is to hold promotions, to reduce the effect of bullwhip during this period [19]. It should also be noted that, price control through discounting has a huge significance on the bullwhip effect [20].

- **Reducing fixed costs for production and delivery activities**

Reduction of fixed costs can be accomplished by reducing production setup time. Also, order lots can be reduced, to minimize the fixed costs which can make improvements and new breakthroughs in the transportation and distribution system. The company gets to track several bullwhip, either intra and the ones between companies, relating to certain products, suppliers, and customers. Through this, the source of the bullwhip would be known and its effect could be reduced. Likewise, the costs could be reduced to ensure an increase in the profits [21]. Good relations and communication between various parties involved in the supply chain greatly affect the costs in the supply chain and the bullwhip effect itself [22]. Likewise, with the calculations carried out in decision making related to capacity and safety stock (in this case, you can use the Taguchi approach), where later these two things will have an impact on the total costs incurred [23]. For this reason, it is very important to link the supply chain management, transaction cost theory, and the bullwhip effect. Here, the integration of the three is expected to reduce the bullwhip effect [24].

2.3 FORECASTING

There are various forecasting methods that can be used [25], one of which is the Time Series with the following formulas,

Moving Average

Simple Moving Average

$$F_{t+1} = \frac{\sum_{i=0}^n D_{t-i}}{n}$$

For $l = 0, 1, 2, \dots, n-1$

Weighted Moving Average

$$F_{t+1} = \sum_{i=0}^n W_{t-i} D_{t-i}$$

For $i = 0, 1, 2, \dots, n - 1$

Exponential Smoothing

$$F_{t+1} = \alpha D_t + (1 - \alpha) F_t$$

Trend Enhanced or Holt model

$$F_{t+1} = L_t + T_t$$

Where,

$$L_t = \alpha D_t + (1 - \alpha) (L_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \beta (L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta) T_{t-1}$$

The determination of the forecasting method depends on historical data patterns [26].

2.4 ECONOMIC ORDER QUANTITY (EOQ) -VENDOR MANAGEMENT INVENTORY (VMI) -CONSIGNMENT

Furthermore, the Economic Order Quantity (EOQ), integrates the inventory management for buyers, retailers, and suppliers [27].

EOQ VMI MODEL

$$Q_S = \sqrt{\frac{2 \times (S_S + S_B) \times y}{h_S}} \quad (2)$$

Total buyer Inventory Cost (Retailer):

$$T_B(Q_S) = wy + \left(\frac{h_B Q_S}{2}\right) \quad (3)$$

Total supplier inventory cost:

$$T_S(Q_S) = cy + \left(\frac{(S_S + S_B)y}{Q_S}\right) + \left(\frac{h_S Q_S}{2}\right) \quad (4)$$

EOQ VMI WITH CONSIGNMENT MODEL

$$Q'_S = \left(\frac{2y(S_S + S_B)}{(H_B + H_S)}\right)^{1/2} \quad (5)$$

Total buyer Inventory Cost (Retailer):

$$T_B(Q'_S) = wy \quad (6)$$

Total supplier inventory cost:

$$T_S(Q'_S) = cy + \left(\frac{(H_B + H_S) Q'_S}{2}\right) + \left(\frac{(S_S + S_B)y}{Q'_S}\right) \quad (7)$$

3 SIMULATION CASE

3.1 BULLWHIP EFFECT

Table 1. Bullwhip Effect calculation

Description	Number of Requests (unit)	Order Amount (Unit)
Total	22.100	25.400
Average	1.841,67	2.116,7
Standard Deviation	235,327	530,58
Customer / Order Variance Coefficient	0,128	0,251
Bullwhip Effect	1,962	

From this table, it can be seen that between the number of customer requests and the number ordered by retailers to suppliers, the bullwhip effect of 1,962 was experienced, which means that the demand variability has increased by 1,962 times. Therefore, corrective steps is needed to be taken to reduce this effect, which include, *information sharing, forecasting, calculation of Economic Order Quantity using traditional EOQ, EOQ VMI model and EOQ VMI with Consignment model.*

3.2 INFORMATION SHARING

One of the steps to perform information sharing is by building a WEB-based application that will provide information to both retailers and suppliers. Which include, the number of customer demands or requests, the number of retailer orders to suppliers, the number of product stock at the retailer, the number of product stock at the supplier, the number of products sent to the retailer, and whether there is a bullwhip effect or not. When there is a bullwhip effect, the supplier will not confirm the retailer's request.

The application design can be seen in the following figure:

Fig. 1. Input Display for Retailers and Suppliers

In this picture, some data will be inputted by both retailers and suppliers, thus both parties can always monitor the development of data on the latest product stock and orders.

Bullwhip effect

Period	Product	Amount	Retail	Status
1/1/2021	Product 1	5	Retailer A	OK
1/1/2021	Product 2	3	Retailer A	NO
1/2/2021	Product 3	7	Retailer B	OK

DISTRIBUTOR STOCK

Product :

Stock :

Bullwhip effect

Period :

BE :

RETAILER STOCK

Product :

Stock :

Fig. 2. Display Report for Retailers and Suppliers

Also, in the picture above, a Abstract of the products ordered by the retailers and stocks owned by both retailers and suppliers is displayed. When information sharing is carried out effectively, demand forecasting can be done more accurately. Hence, this forecasting needs to be done to enable the retailers and suppliers to predict the future demand.

3.3 FORECASTING

As previously mentioned, the forecasting results will be accurate when information sharing has been carried out effectively. Therefore, in this section, the forecasting that is needed to predict future customer demand will be simulated, to ensure that the product ordered from suppliers are closer to the actual value. Through the use of the exponential smoothing forecasting method (determined from the results of the scatter simulation data), the following shows the total forecasting, actual demand, and the data on the number of products ordered by retailers to suppliers. Where each data is entered into the traditional EOQ calculation and then compared with the results of the total cost. Hence, the importance of forecasting before retailer's place orders on suppliers can be seen.

Table 2. Traditional EOQ Calculation Results

Description	Quantity (Unit)	EOQ (Unit)	Order Frequency (Unit/Year)	Total Cost (Rp)
Order Data	25.400	2287,49	11,1	Rp. 7.646.649.000,00
Forecasting Data	21.263	2092,93	10,16	Rp. 6.403.282.000,00
Actual Data	22.100	2133,73	10,36	Rp. 6.654.858.000,00

In the table, it can be seen that the amount of EOQ and the total cost obtained from the results of calculations using order data is 8.51% and 16.26% greater, respectively, when compared to using data from forecasting results. This shows that the use of forecasting is better done, compared to placing orders with suppliers without doing forecasting calculations. Furthermore, the data can be used in the calculation process of Economic Order Quantity (EOQ) -Vendor Management Inventory (VMI) - Consignment.

3.4 ECONOMIC ORDER QUANTITY (EOQ) -VENDOR MANAGEMENT INVENTORY (VMI) -CONSIGNMENT

In this research, the simulation uses actual data because the data is a constant pattern and the results of the forecasting method cannot generate demand in one year. Meanwhile, the calculation of EOQ-VMI-Consignment requires annual demand data.

Here are some of the data used:

Order Cost Buyer: Rp. 1.200.000, - (SB)

Holding Cost Buyer: Rp.11.650, - (HB)

Unit Cost: Rp. 300.000, - / unit (w)

Set Up Cost Distributor/Supplier: 12.000.000, - (Ss)

Holding Cost Distributor/Supplier: Rp. 14.000, - (Hs)

Distribution Production Cost: Rp. 250.000, - (c)

Sales Cost: Rp. 350.000, -/unit (p)

Demand (d) = 22.100 unit/year

Table 3. Comparison of EOQ and Cost Values between Traditional EOQ methods, EOQ VMI Model and EOQ VMI Model with Consignment

Description	Traditional EOQ	EOQ VMI Model	EOQ VMI Model with Consignment
Q_B / Q_S	$Q_B = 2.133$ unit	$Q_S = 6.456$ unit	$Q_S = 4.769$ unit
Total Inventory Buyer Cost	Rp6.654.857.916,24	Rp6.667.606.200,00	Rp6.630.000.000,00
Total Inventory Supplier Cost	Rp5.664.225.668,23	Rp5.615.380.936,70	Rp5.647.332.481,62
Total Cost	Rp12.319.083.584,48	Rp12.282.987.136,70	Rp12.277.332.481,62

From the table above, it can be seen that by using the EOQ VMI model, the total cost is 0.29% lower than the total cost using the traditional EOQ calculation. Meanwhile, by using the EOQ VMI with the consignment model, the total cost is 0.34% lower than the total cost using the traditional EOQ calculation, and 0.05% lower when compared to using the EOQ VMI model calculation.

Therefore, it can be concluded that the lowest total cost is obtained from the calculation using the EOQ VMI with the consignment model. Basically, the requirements for using the EOQ VMI model with consignment are, the total cost of EOQ VMI $\leq$ traditional EOQ. Where EOQ VMI Consignment is a calculation model in which the distributor or supplier determines the number of orders and delivery schedules. While the EOQ VMI Model is a calculation that is used to determine the number of orders from distributors or suppliers.

Table 4. Comparison of Profit Rate using Traditional EOQ method, EOQ VMI Model and EOQ VMI Model with Consignment

Profit rate	Traditional EOQ	EOQ VMI Model	EOQ VMI Model with Consignment
buyer / retailer profits	Rp1,080,142,083.76	Rp1,067,393,800.00	Rp1,105,000,000.00
Supplier profits	Rp965,774,331.77	Rp1,014,619,063.30	Rp982,667,518.38

From this table, it can be seen that the level of buyer's profit using the EOQ VMI model is 1.18% lower than the traditional EOQ, but the supplier's profit rate is higher by 4.81%. Meanwhile, the profit level of buyers and suppliers using the EOQ VMI with Consignment model is higher by 2.25% and 1.72% respectively, when compared to the traditional EOQ. However, when compared to the EOQ VMI model, the buyer's profit rate is 3.40% higher, but the supplier's profit is 3.15% lower.

4 CONCLUSION

Through the use of good information sharing, the calculation results of the forecasting method used for predicting future demand is more accurate. Hence, it can be used in the calculation of the EOQ-VMI method with the Consignment model as a basis for determining the number of economical product lots, where the total cost of buyers and suppliers is smaller than using the traditional EOQ and the EOQ VMI Model. In conclusion, these integration steps were taken as an effort to reduce the effect of bullwhip.

REFERENCES

- [1] Yosefa, Sitompul C, Alfian. Perancangan Model VMI (Vendor Managed Inventory) dengan Satu Pemasok dan Banyak Retailer yang Meminimasi Ongkos Total Rantai Pasok. *J Rekayasa Sist Ind*. 2015; 4 (2): 88.
- [2] Jiang Q, Ke G. Information sharing and bullwhip effect in smart destination network system. *Ad Hoc Networks*. 2019; 87: 17–25.
- [3] Wiedenmann M, Größler A. The impact of digital technologies on operational causes of the bullwhip effect – A literature review. *Procedia CIRP [Internet]*. 2019; 81: 552–7. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.154>.
- [4] Khan MH, Ahmad S. Ranking Operational Causes of Bullwhip Effect in Supply Chain Using AHP: Perception of Managers in FMCG Sector. *Metamorph A J Manag Res*. 2016; 15 (2): 79–90.
- [5] Dewi FR, Garside AK. Pengurangan Bullwhip Effect dengan Metode Vendor Managed Inventory. *J Optimasi Sist Ind*. 2016; 14 (2): 292.
- [6] Anas AS. Efek Domino Bullwhip Effect Supply Chain Management pada Manajemen Perguruan Tinggi (Studi Kasus : Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer Lombok). 2015; 7 (4).
- [7] Maserih M. Analisis Bullwhip Effect Dan Day Of Inventory (Doi) Serta Implikasinya Terhadap Supply Chain Management. *J STEI Ekon*. 2017; 26 (01): 123–35.
- [8] Lestari P, Irena L, Widyadana IGA, Studi P, Industri T, Petra UK. EFFECT. 2017; XII (1): 49–56.
- [9] Aji GG, Yaqoub AM. Identifikasi Penyebab Bullwhip Effect Pada Distribusi PT Alfian Jaya Di Bali. *J Manaj Teor dan Ter J Theory Appl Manag*. 2016; 8 (2): 115–30.
- [10] Effect AB, Rawindadefi N, Hendayani R. Analisis Bullwhip Effect (Nissa Rawindadefi, Ratih Hendayani) *SOSIOHUMANITAS*, XVII (2), Agustus 2015. 2015; (2): 144–52.
- [11] Rahmatulloh ME, Ilmaniati A. Perancangan Vendor Manage Inventory (VMI) Pada Usaha Kayu. 2019; 3 (1): 30–6.
- [12] Fatkhiyah E, Parwati CI. Information Sharing System Untuk Meminimalisasi Resiko Bullwhip Effect Pada Supply Chain Management. *J Inf Technol*. 2018; 3 (1): 37–44.
- [13] Hofmann E. Big data and supply chain decisions: the impact of volume, variety and velocity properties on the bullwhip effect. *Int J Prod Res*. 2017; 55 (17): 5108–26.
- [14] Chiang CY, Lin WT, Suresh NC. An empirically-simulated investigation of the impact of demand forecasting on the bullwhip effect: Evidence from U.S. auto industry. *Int J Prod Econ [Internet]*. 2016; 177: 53–65. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.04.015>.
- [15] Dai J, Peng S, Li S. Mitigation of Bullwhip Effect in Supply Chain Inventory Management Model. *Procedia Eng [Internet]*. 2017; 174: 1229–34. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.291>.
- [16] Braz AC, De Mello AM, de Vasconcelos Gomes LA, de Souza Nascimento PT. The bullwhip effect in closed-loop supply chains: A systematic literature review. *J Clean Prod*. 2018; 202: 376–89.
- [17] Tombido L, Louw L, van Eeden J. The Bullwhip Effect in Closed-Loop Supply Chains: A Comparison of Series and Divergent Networks. *J Remanufacturing*. 2020; 10 (3): 207–38.
- [18] Ma J, Ma X, Lou W. Analysis of the complexity entropy and chaos control of the bullwhip effect considering price of evolutionary game between two retailers. *Entropy*. 2016; 18 (11).
- [19] Trapero JR, Pedregal DJ. A novel time-varying bullwhip effect metric: An application to promotional sales. *Int J Prod Econ [Internet]*. 2016; 182: 465–71. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.10.004>.
- [20] Ma J, Lou W, Tian Y. Bullwhip effect and complexity analysis in a multi-channel supply chain considering price game with discount sensitivity. *Int J Prod Res*. 2019; 57 (17): 5432–52. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.1526420>.
- [21] Jin M, DeHoratius N, Schmidt G. Want to reduce the bullwhip? Measure it. Here's how. *Supply Chain Manag*. 2017; 22 (4): 297–304.
- [22] Khan MH, Ahmed S, Hussain D. Analysis of Bullwhip effect: A Behavioral Approach. *Supply Chain Forum [Internet]*. 2019; 20 (4): 310–31. Available from: <https://doi.org/10.1080/16258312.2019.1661756>.
- [23] Hussain M, Khan M, Sabir H. Analysis of capacity constraints on the backlog bullwhip effect in the two-tier supply chain: a Taguchi approach. *Int J Logist Res Appl*. 2016; 19 (1): 41–61.
- [24] Coti-Zelati PE, Queiroz MJ de, Araújo DLA de. The bullwhip effect in Brazilian supply chain of organic products: an analysis from the perspective of transaction cost theory. *Indep J Manag Prod*. 2019; 10 (3): 1015.
- [25] Samangi A, Perdana T. Pemilihan Metode Peramalan dalam Manajemen Persediaan Produk Pertanian (Studi Kasus pada Locarvest di Kota Bandung). *J Agroekoteknologi dan Agribisnis*. 2018; 2 (1): 59–67.
- [26] Wilck JH. MANAGING THE BULLWHIP EFFECT. 2016; (January).
- [27] Amran TG. Inventory Model Design Of Raw Material With Economic Order Quantity- Inventory Model Design Of Raw Material With Economic Order Quantity – Vendor Management Inventory - Consignment Approach. 2018; (January).

Distance sampling technique in vegetation studies: A critical review

Gbènakpon Aubin Y. G. Amagnide, Ceptime Ahlonsou, and Romain Glele Kakai

Laboratoire de Biomathématiques et d'Estimations Forestières, Faculté des Sciences Agronomiques,
04 BP 1525 Cotonou, Benin

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

ABSTRACT: Plotless sampling techniques, linear recordings of distances among random trees or points and trees were developed to overcome some limitations of plot-based or quadrat methods by reducing time consuming, sampling effort, etc. However, research works proved that some points need to be clarified in order to provide a more useful guidelines for ecologists. The main objective of this study is to make a critical review of literature on plotless sampling techniques in vegetation studies. For this purpose, most original studies published and focused on plotless techniques in plant communities were identified via Keywords searching on scientific database websites and additional references from retrieved articles. Thereafter, about hundred papers were sampled in this review through careful reading of the abstract, methods and results. This study revealed that plotless sampling methods are mainly used to estimate population density. Furthermore, this study showed that among the plotless sampling methods that were described, some remains slightly documented in ecology to date. Results obtained also showed that the spatial distribution of organisms impacted the performance of these methods. All plotless sampling methods recorded their best performance when the population is randomly distributed. When the population is uniformly or contagiously (clump) distributed, most of them produced the largest bias of density estimate. However, over all spatial patterns, distance measurements at least to the third nearest neighbour were the best preferred methods. Therefore, further research works need to control this bias, to continue some investigations on those methods mainly on measurement errors and detection process.

KEYWORDS: Sampling, plotless techniques, quadrat methods, density estimation, plant community.

1 INTRODUCTION

Sampling consists of techniques for selecting a sample from a large population with techniques for efficient and accurate estimating of some parameters of that entire population from measurements made on the sample [1]. Before 1980, in quantitative ecology, sampling techniques were one of the least well understood tools [2]. Many research works have been focussed on sampling techniques in vegetation since quantitative data are fundamental to an appropriate characterization of vegetation. Thus, sampling is a basic but an important step for quantitative analysis in plant community research. It is known that sampling techniques are linked with whether the study outcomes can reveal the community pattern [3]. Indeed, in vegetation study with a large number of trees, a census which technically means a survey for which the intended sample is the entire study area is impracticable due to manpower, material resources, and time constraints. In ecological research, an accurate assessment of the size and composition of plant in communities is required to design more effective conservation actions and develop appropriate strategies for restoration purposes (e.g. see [4], [5]). For instance, when assessing the size of a plant community, the parameter of interest is density which expresses the number of individuals per unit of area. The most useful method to estimate density is tree counting. However, counting all individuals in plant community is very time consuming and generally impracticable [6] and when possible, the information obtained would not be useful and reliable than those derived from an adequate sampling schemes ([7], [8]). From ecological literature, two main sampling techniques can be distinguished: Plot-based or quadrat methods and Plotless or distance sampling methods. Plot-based methods are traditional sampling techniques used by ecologists to measure the abundance (count, cover, density, frequency) of a given species [9]. These methods are based on plots with fixed defined areas in which counting and measurements on individuals are made ([8], [10]). Plot pattern (size, shape and direction) constitutes an important issue for ecologists to survey plant community ([11], [12]). [13] and [14] showed that characteristics of quadrats greatly

affect density estimates and spatial pattern of individuals from non-random populations. Therefore, plot-based methods become impracticable in some situations where plants in community are sparsely or unevenly distributed, or when it is too hard to draw quadrats borders in dense vegetation (e.g. plants arranged in clump distribution) ([15], [16]). To overcome the limitations of plot-based sampling methods, plotless sampling techniques were developed by replacing quadrat measurements with linear recordings of distances among random trees or points and trees. The starting point of these techniques development coincided with the description of Pairs of Randomly Selected Trees method in forest survey [17]. Thus, sampling unit is reduced into a point, avoiding problems of size and shape of quadrat. According to [2], plotless sampling techniques are more advantageous than common plot ones, by allowing a low sampling effort to collect relevant data. For instance, [18] reported savings of at least 90 per cent in sampling time to obtain the same results in vegetation studies. However, these techniques were developed assuming a random spatial pattern as tree population distribution in community. Thus, many studies were designed to assess their robustness in case of non-random distribution of plants within a community ([19], [20], [21], [22], [23], [24]). Plotless sampling techniques were initially used to estimate population density (see [17], [25], [26]) based on distance measurements from two main schemes: (i) tree-to-tree/plant-to-plant approach wherein individuals are selected randomly from the population and from each of them, distance to nearest neighbour is measured and (ii) point-to-tree/point-to-plant approach wherein random points are located in the study area from which distance to the nearest or nth nearest individuals is measured. Moreover, many others investigations (e.g. see [27], [28], [29], [30]) focused on the use of distance in plant communities to determine spatial pattern of plant individuals. Plotless sampling techniques can be summarized in the following methods: variable area transect, closest individual, point-centered quarter, T-square sampling, nearest neighbour, random pairs, quartered neighbour method, angle-order method, ordered distance, N-tree method and triangle method. However, there exists more than twenty density estimators based on these techniques. A survey of ecological literature suggests that there are many points needed to be clarified in order to provide a more useful guideline for ecologists when using plotless sampling techniques. Indeed, according to several authors ([23], [31], [32]), some problems are also associated with these sampling techniques. To date, there is no published study which makes a comprehensive Abstract of plotless sampling techniques. Therefore, the current study aims at making a synthesis of literature on these sampling techniques by (i) describing the principles of plotless sampling techniques and (ii) comparing the two main sampling techniques (Plot-based versus Plotless methods).

2 MATERIEL ET METHODES

The study material is constituted of articles and books. They were identified via keyword searching (sampling, plotless techniques, density estimation, quadrat methods, and so on) on scientific database websites (Googlescholar, Sci-hub.cc) and additional references from retrieved articles. The main inclusion criterion used for studies was the scope of papers (papers published and focused on sampling methods in particular on plotless techniques in vegetation studies most specifically in plant communities). A census through careful reading of the abstract, methods, and results was made to select papers that meet considered criteria. Thereafter, a total of 88 papers were sampled in this literature review, mainly from following journals: Ecology, PLoS ONE, Environmetrics, Ecological Modelling, Journal of Plant Ecology, Journal of Applied Ecology, Forest Ecology and Management, Canadian Journal of Forest Research and Conservation biology. Papers considered allowed us to (i) describe plotless sampling techniques (point-to-tree and tree-to-tree approaches), (ii) summarize comparison already made between plot-based and plotless methods and (iii) assess optimality conditions and relative efficiency of plotless sampling techniques.

3 RESULTATS

A literature review provides the description and the principles of plotless sampling methods, emphasizing studies that dealt specifically with plotless methods, comparison between plot-based and plotless methods or between plotless methods, introduced new concepts.

3.1 PLOTLESS SAMPLING TECHNIQUES

Sampling plants with fixed area plots is not the only alternative to mark-recapture estimation of abundance. Quadrats are not natural sampling units and one must always decide what size and shape of plot to use. One alternative is to use plotless sampling procedures. These techniques have been developed by plant ecologists and have been applied recently by animal ecologists. Plotless methods provide a third general class of methods for estimating abundance in plant community, and in addition to mark-recapture and quadrat counts provide an important tool for the field ecologist. The plotless sampling techniques can be summarized in the following methods: variable area transect, closest individual, point-centered quarter, T-square sampling, nearest neighbour, random pairs, angle-order, ordered distance, N-tree, quartered neighbour and triangle methods.

3.1.1 POINT-TO-TREE TECHNIQUES

3.1.1.1 POINT-CENTERED QUARTER METHOD

Also called quadrant method, Point-centered quarter method (PCQ) is a very old distance one applied in ecological sampling. Based on point-to-tree sampling approach, it has been firstly described by [25]. At each random point, the area around it is divided into 90° quadrants and the distance to the nearest tree is measured in each of the four quadrants according to the orientation given by the search direction. From [25] and [18], the average of the four distances measured is the square root of the mean area occupied by a single plant. The main advantage of PCQ is that the method does not require any correction factor in estimating population abundance or density [18]. In addition, PCQ provides more information on tree species per sampling point and is least susceptible to subjective bias. Contrasting to previous noticed advantages, the method produces misleading results in the case of non-random spatial distribution of plant community and requires more time per sampling point ([32], [33]).

3.1.1.2 CLOSEST INDIVIDUAL METHOD

Here, a set of random points is selected and at each point, the closest plant is identified and its distance from the point is measured. Closest individual is the most simple of the point-to-tree sampling approach. Easiness in implementation is the main advantage of closest individual method. However, the average distance from point to closest individual required multiplication by a correction factor of 2 in order to obtain the mean of distances [18]. The disadvantages are the unreliability of the method when the spatial pattern deviates from random distribution of plant community and the variability of the parameters estimated [34].

3.1.1.3 RANDOM PAIRS METHOD

As firstly described by [35], the random pairs method is based on the principle of angle of exclusion to select some pairs of plant individuals for vegetation sampling. First of all, the closest individual to each of the sampling points is selected. Then, an exclusion angle is established on each side of the line between the sampling point and the closest individual. The technique state that the nearest individual to the first individual (second tree of the random pair), must be selected outside of this angle of exclusion [36]. 160° exclusion angle was firstly suggested by [35], and later, [36] recommended 180° exclusion angle for convenience in field. According to [36], the correct distance is obtained after multiplication by a factor of 0.80. It is known that random pairs method produces less variable results and is more accurate, even if the mathematical theory behind the method has not been succeeded [35].

3.1.1.4 VARIABLE AREA TRANSECT METHOD

Variable area transect (VAT) can be considered as a combination of distance and quadrat methods where a fixed transect width or strip is searched from a random point until the g-th individual is encountered in the strip [23]. It has been developed by [37] in order to overcome some issues about closest individual, nearest neighbours and point centered quarter methods (see [31] for details). In this method, the length of transect is measured from the random point to point at which the g-th individual occurred [37]. Thus, the area covered to encounter the g-th from a given point vary from one sample point to another implying the name variable area transect. The number of individual sampled should be small (<5) in order to keep the method practical and efficient [38]. When a population exhibits a special case of aggregation, [39] proposes an unbiased version of the density estimator. VAT is an appropriate sampling method that would be quick and easy to implement across a wide range of habitat types [38]. It is less time consuming implementation and outperforms even if plant communities are spatially clumped [19]. However, the method become impracticable when distance from the sampling point to the g-th individual is too long [19].

3.1.1.5 T-SQUARE SAMPLING

This method is developed in order to cancel the bias due to non-randomness in distribution pattern associated with the nearest neighbour distance measurement [40]. T-square sampling scheme involves the measurement of two distances: one from random point (O) to nearest individual (I) and another from the nearest individual to its nearest neighbour (N). However, the angle OIN must be more than 90°. When the nearest neighbour is not within OIN, the next closest individual is considered until the researcher find one that satisfies the angle assumption. The method is known to control the bias due to non-randomness in distribution pattern.

3.1.1.6 ANGLE-ORDER METHOD

This method which derived from PCQ, has been developed by [39] in order to overcome the problem of non-randomly distributed individuals. Angle-order method (AOM) consists in dividing the area around the random sample point into k equiangular sectors where the individuals are arranged randomly and then the distance to the g -th closest individual in each sector at each sample point is measured (g is considered as the number of individuals to be located in each sector) [39]. considered $k = 4$ and $g = 3$ as practical. In particular, let $r_{ij}(g)$ denotes the distance from the i -th sample point to the g -th closest individual in the j -th sector [39]. proposed in addition two unbiased estimates of the density when populations are not randomly distributed. This consists to divide the total area into subplots with areas sufficiently small so that no further aggregation exists in each. Within each subplot, either the population is distributed randomly, possibly with different densities for each subplot; or uniformly, again possibly with different densities for each subplot. AOM can be applied in plant or herbaceous community (shrubs, forbs, grass, etc.) or in animal surveys. AOM is flexible, less biased in random distribution and not affected by small sizes. One drawback of this method is that it is more onerous to perform.

3.1.1.7 ORDERED DISTANCE METHOD

This plotless sampling procedure was first derived by [39] and further developed by [41]. It involves measuring the distance from the random sampling point to the g -th closest individual (hence the ordering). It is one of the most practical plotless sampling methods [23] [41]. and [23] demonstrated in their study that the accuracy of this method performed when $g \leq 3$ both in random and clumped patterns. Beyond this value, this method may be impracticable in the field. One main advantage of this estimator is the simplicity both of the sampling scheme and of computation [42].

3.1.1.8 N-TREE METHOD

This method has taken place during the past decade under the constraints of terrain, vegetation and realization conditions in developing countries [43]. It is based on selection of the n trees (generally comprised between 1 and 7) closest to a sampling point located in a given plant population. Then, we draw a plot of circular shape of radius from sampling point to the centre of the n -th tree closest to the point. All n trees inside the plot are measured [44]. The radius of plot can be measured to mid diameter of n -th tree (usual method) or to half distance between trees n and $n+1$ (adjusted method). It is suggested by [45] and [46] for application in forest management inventories with $n=6$. N-tree method has several advantages. On the one hand, it requires only a 2-man crew. On the other hand, it is easy to measure trees selected at sampling points, and the area of the sample varies with the stand density. Furthermore, this method is attractive since the number of trees measured per plot is constant ([47], [48]). However, it requires more time and labor efficient [48]. This method has been used by [19] in comparison to other sampling methods in saxaul shrub-land and proved as being the best performing methods overall to estimate density and cover. It has also been applied in natural forests of northern Iran by [49] where it showed a weak performance due to clumped pattern.

3.1.1.9 NEAREST NEIGHBOURS METHOD

Reviews of the literature suggest that [50] was the first to suggest the use of nearest neighbours (NN) measurements to characterize the spatial patterns in plant populations. In this method, two distance measurements are made: one from random points to the closest individual in the population and another from closest individuals to their nearest neighbour. An additional measurement is made from the nearest neighbour to its nearest neighbour called second nearest neighbour. As used by [25], NN is the average distance from each individual in the population to its closest neighbours. NN involves multiplication of observed distances by a correction factor of 1.67 instead of the theoretical 2.0, to obtain the correct square root of the mean area. This method can be used in grassland vegetation, in saxaul shrub land or in phytosociological sampling. NN is very simple, provides less variable results and unbiased results in random pattern [18]. It has been shown by [27] that the distance to nearest neighbour can be used in the detection of nonrandomness in spatial pattern. This method is sometimes labour intensive and yield biased results in non-random pattern.

3.1.1.10 QUARTERED NEIGHBOUR METHOD

This method constitutes a new plotless density estimator which has received little attention [3]. It is a combination of the point-centered quarter method and nearest neighbour's method. This method is just like the point centered quarter method and consists in dividing the area around the sampling point (considered to the centre) into four quadrants. The distance from the closest individual in each quadrant to its closest neighbour in the same quadrant is measured.

3.1.1.11 TRIANGLE METHOD

This plotless sampling method is developed recently to improve the precision of plotless sampling method [51]. It is based on the random selection of sampling point. At each sampling point, the closest individual is determined and the distance from this individual to its closest neighbour (t_1), the secondly closest neighbour (t_2) and the thirdly closest neighbour (t_3) are measured respectively. Then, the average of them is computed and the tree density is estimated according to [51]. One attractive feature of this method is its goodness and the easiness of the sampling in forest survey work [51].

3.2 PLOT-BASED VERSUS PLOTLESS SAMPLING TECHNIQUES

Plot-based and plotless methods constitute the two broad categories of sampling techniques used to survey vegetation in order to estimate some key parameters such as population density, basal area, biomass, etc. Among studies on these techniques, fifteen focused on comparison of the two kinds of sampling techniques. Quadrat methods constitute the oldest sampling methods used by most ecologists and based on plots establishment within plant communities. Quadrat pattern is important issue in its use, since quadrat can be of any size or shape (square, rectangular or circular). However, it is known that increasing plot size improve estimation while circular plots seem to be more accurate than rectangular or square ones [52]. In contrast, plotless methods involve measuring distances either from a random point to its i -th nearest tree or from a random tree to its nearest neighbour assuming a random spatial distribution for the study population ([17], [25], [26], [27], [53]). The development of these distance sampling techniques reduced the sample unit into a point, avoiding constraints of quadrat pattern. Some of the studies that we considered found that quadrat sampling is simple and estimates vegetation parameters accurately with a minimum effort ([6], [25], [54]). Furthermore, it is found that this method is more consistent when the density is low and performs well under regular, random and aggregate distributions ([20], [37]). Moreover, some authors concluded at the end of their study that in spite of the simplicity of this method, the size and shape of quadrat affect its estimation [55]. In addition, [25] added in their study that this method is time consuming and tedious. Beside the studies mentioned above, most of the authors opt for plotless sampling techniques. Then their choice may be justified by the fact that the plotless methods are more efficient in term of time consuming, require less effort, more economical than quadrat methods ([7], [20], [25], [37], [56], [57]). It is also found that they are more flexible and faster. Indeed, [38] compared variable area transect and fixed area plot with field datasets and simulation test. They found out that in the field, variable area transect was significantly more efficient than fixed area plot and perform well under random distribution. In addition, they added that there is no difference between plot-based and plotless sampling methods in term of vegetation parameters estimates. According to other authors, they can be considered as an alternative sampling method to quadrat methods when organism is randomly distributed and supplement quadrat in the case of low abundance ([37], [56]). Furthermore, plotless sampling techniques are useful in some cases where quadrat methods are impracticable in other words when vegetation are sparse or unevenly distributed [7]. It has been proved that the plotless sampling techniques gave more satisfactory results than plot ones [32] [58]. as for them investigated on two new density estimators for distance sampling and found that the plotless methods were more accurate than fixed area plot. However, it is noteworthy through our review that the plotless sampling techniques are unreliable for aggregated spatial pattern and that their accuracy depend on the number of individuals sampled ([20], [25]). They recommend the use of quadrat methods or a large sample in order to produce satisfactory results for plotless methods [38]. studied comparative efficiency and accuracy of variable area transect versus square plots for sampling tree diversity and density. Indeed, they found that the plotless sampling techniques are biased under non-random spatial distribution. In the same point of view, [59] found that distance sampling using the nonparametric estimator was severely biased contrary to quadrat sampling which yielded unbiased estimates of density and recommended a particular attention on using multiple distances as described by [22] [60]. in their study have taken into account this suggestion. They compared this method with plot-based belt transect using point simulations and field studies of snags and shrub stems and found that Batcheler-corrected point distance (BCPD) performed well under a range of clustered and random dispersion patterns. In addition, the BCPD was cost-effective relative to belt transect. According to [32], he found that none of these methods could be useful for field ecology even if they gave acceptable accuracy and precision. So, he suggested that the sample points be related to each method. Indeed, we can notice that almost all the authors suggest the usefulness of plotless methods in a wide range of vegetation ([38], [57]). On the other hand, other studies suggest the use of quadrat methods with the condition that an appropriate quadrat size be used ([20], [55]). One study recommends that further investigations be done in order to continue the analysis [7]. According to [54], optimal methods for the quantitative habitat description of grassland, desert, edge and town situations will be recommended in a later paper.

3.3 OPTIMALITY OF PLOTLESS SAMPLING TECHNIQUES

Among the papers reviewed, 29 showed the different studies conducted by some authors on certain methods. One can notice that most of the studies focused on point-centered quarter ([8], [41], [56], [61], [62], [63], [64]) and variable area transect ([38],

[31], [37], [65], [66], [67]). Most of the studies that examined point-centered quarter found that this method perform well in random spatial pattern, very fast and easy to implement. This method requires also more time because four distances are measured at each sample point. Five of the seven studies found that some difficulties arise when using this method ([41], [56], [61], [62], [63]). The main problem of this density estimator is that the aggregation and small sample size biase its performance. It has been proved by [8] that point-centered quarter produced exaggerated mean basal area values in most New Zealand forest types. These errors are related to the wide range of size classes where individual species span only a part of the total range. They recommend then that further field be made in order to test the method both in New Zealand forests and abroad [62]. as for them showed that one limitation of point-centered quarter is the selection of any tree twice and recommended that more research effort should be made in order to evaluate the effect of considering an individual more than once in point-centered quarter [41]. has proved that it is difficult to decide in which quadrant a certain tree belongs in point-centered quarter and proposed a considerable care if this method should be used at all [63]. found some discrepancies which occur in distance measurements in the method. Furthermore, [3] have proved that although point-centered quarter is one of the best plotless methods, there is still a lack in distance measurement. In other words, the distance is measured from a point to a plant while the sample point is not chosen objectively from an existing individual but subjectively. Then, they proposed a new method called "Quatered neighbour method" for forest communities which is a combination of the quarter method and nearest neighbour's method. This method aims at improving the precision of sampling on the condition of no more workload. They suggest that further investigation be done to demonstrate whether the new method is applicable in all kinds of population spatial distribution patterns. Regarding variable area transect, three of the six studies found that this method is more suitable, speed, more efficient in term of man hour under random distribution and improve more estimation with g greater than 3 ([38], [37], [66]). On the other hand, the three remaining studies found that the transect width constitutes the main factor which affects the quality of density estimates and the relative bias of this estimator ([31], [65], [67]). Like all plotless sampling methods, the main difficulty with this method is its unreliability in non-random spatial pattern ([38], [66]). In other words, the density estimation by variable area transect is biased under aggregated and regular distribution. Some difficulties can also arise in determining transect boundaries, or in cases where the density is low ([37], [65]). In addition, it has been found that the precision and accuracy of plotless sampling in general and of variable area transect in particular depend on the number of samples and the number of measurement in each sample [31]. Some suggestions have been done in order to overcome these difficulties. Indeed, the use of this method is almost recommended as an alternative approach of Quadrat by the authors under random distribution because of its speed, efficiency and its reliability. Other study suggests that further studies are necessary in order to compare the implementation of variable area transect sampling with Quadrat [31]. Only two studies of the same authors investigated on random pairs. They found that this estimator is less labour intensive and requires little equipment [35]. Difficulty arised in the choice of angle of exclusion. More angle of exclusion increases, more distance measurement increases [36]. They recommended the use of 180° angle of exclusion because of its simplicity and satisfactory results, and a particular attention to this method for others appropriate correction. Only two studies investigated on angle-order method and only one study on T-square sampling and nearest neighbour [34]. showed that angle-order method is more accurate, applicable across all kind of spatial patterns and that there is no penalty for using it when trees are random [39]. came to the similar results and found that this method is one of plotless methods with greatest accuracy. They recommended both the practical use of this method unless the distribution within the aggregate is completely uniform [68]. as for them, showed in their study that the corrected T-square sampling is inaccurate for dispersed nests population and accurate for clustered nests population. This means that the accuracy of T-square sampling is influenced by the spatial pattern. Then, they suggest that an analysis should be done prior to determining the appropriate method in order to improve the accuracy of the population estimates. Regarding nearest neighbour, [30] showed that the distance to nearest neighbours constitutes a measure of the spacing between individual in a population of known density and also permits to detect the non-randomness in spatial pattern. Further to that, the distance between nearest neighbours is equal to one-half the square root of the mean area in a randomly distributed population. Some difficulties occur in the distance measurements when a given individual appears outside of specified area or when in some cases, some selected individuals are so closer to one another than any other individual. They suggested the use of this method in some populations where it is considered impracticable if the true density is known. Two studies of the twenty-nine literature reviews investigated on ordered distance and only one on closest individual [42] [34]. consider these two methods as one of the simplest plotless sampling methods both of the sampling scheme and of computation. But, despite its simplicity, some difficulty arise in closest individual from determining which individual is considered as closest and in non-random distribution where the performance of the method is biased. While [69] and [42] found that ordered distance produced low bias for random and dispersed distributions and higher bias for clustered distributions. Then the usefulness of a robust estimator is recommended like angle-order method or ordered distance of rank 3. Besides the reviewed studies on the distance methods mentioned above, five studies investigated on N-tree sampling technique. Indeed, [49] in his study on tree sampling in natural forests of Northern Iran found that N-tree sampling technique is not appropriate for this region and underestimate (negative bias) the true population parameter for each of the 6-, 7-, 8- and 9-tree. This bias may be due to clumped structure of natural forests or the insufficiency of the number of sample plots [43]. and [48] in their study came to similar results. They found that the statistical performance of N-tree sampling technique remains a problem despite its practicality and ease of implementation under many field condition. Its

performance depends considerably on spatial pattern of the population. Yet, according to [45], this method has potential for forest management and requires approximately 4 to 6 sampling point per hectare for the 6-tree sampling system which is not practicable for the natural forests of Northern Iran. The reason for which the statistical performance of this method remains a problem is because it leads to variable sample plot areas [47]. So, to remedy that shortcoming, they suggest a new density estimator based on point pattern reconstruction which differ slightly from N-tree sampling technique because it requires the coordinates of all n trees. They found that this new density estimator with $n=6$ is empirically superior in term of bias and relative root mean square error. Moreover, [70] proposed a new method denominated an adaptive composite estimator for N-tree sampling in order to lessen the sensitivity to the amount of extra Poisson variance. They found that this estimator performed well in terms of bias when n is at least 5. In addition, the performance appears too variable to be useful in practice. Then, ongoing researches need to continue some investigations on this method and apply it to other forest populations. In addition, to counterbalance the error introduced in point-distance estimates, [22] in his study suggested to employ a combination of distances between the nearest individual and its nearest neighbours in a linear function [60]. as for them, have taken into account in their study the suggestion done by [22] and considered this method as Batcheler-corrected point distance (BCPD). They found that BCPD performed well under a range of clustered and random dispersion patterns in reducing errors and was cost-effective. But, the measurement to the third object appears to be sensitive to measurement errors. In the studies that we reviewed, only the study of [51] investigated on triangle method. This method is an improved method of plotless sampling for forest communities aiming to improve the precision of sampling methods. They found that this method is a very good method, adequate and easy to use in wood engineering and forest survey work. But it has not been demonstrated in theory. Therefore, further investigations are required in order to demonstrate whether this method is applicable in all kinds of the population spatial distribution pattern.

3.4 COMPARISON OF PLOTLESS SAMPLING TECHNIQUES

Thirteen of the 113 papers reviewed focused on the comparison of some plotless sampling methods. There are several important conclusions that can be drawn from these papers. For example, we can notice that relatively few studies are based both on real datasets and simulated datasets ([16], [20], [23], [24], [71]). These two datasets complement one another because real datasets should be used to test the results obtained with the simulated datasets [18]. compared closest individual, nearest neighbour, random pairs and point-centered quarter and concluded that all these methods performed well in random distribution but the adequate sample size in order to obtain accurate results vary with the methods. They found that point-centered quarter is superior to other distance methods [72]. also compared these methods and concluded that point-centered quarter is the most accurate for estimating density and relative frequency than the other plotless sampling methods [71]. compared these methods in addition to 3rd nearest, closest individual in 2 sectors, 3rd nearest in 2 sectors and T-square sampling and concluded that the distance methods to the third nearest were less biased than other plotless methods [18]. recommended the use of point-centered quarter because it is least susceptible to subjective bias and requires no correction factor whereas [71] preferred Quadrat because it gives unbiased estimates across all type of vegetation [25]. compared closest individual, random pairs and point-centered quarter and found that random pairs is similar to point-centered quarter but differ from it in that the number of individuals in each subsample is constant. Moreover, point-centered quarter always measures 4 individuals at each point but random pairs measures 2 individuals while closest individual produces interesting and consistency results in term of density per unit area. They suggest that a larger sample be used in order to produce satisfactory results. This was true regardless of sampling method and could be achieved by increasing either the number or the size of the sampling units. In a study of [73], they compared closest individual, point-centered quarter, angle-order method and corrected-point distance which is equivalent to nearest neighbour and came to that angle-order method to the third nearest gives a reasonable good estimates of density. They proposed that additional theoretical work is necessary on the angle-order method [23]. compared 25 estimators that were grouped into subsections. They concluded that the distance methods to the third nearest neighbour (angle-order method, variable area transect and ordered distance) perform well over all spatial patterns. The same study has also been conducted by [16] but with slight differences about the simulation design and the distance estimators compared. They found that a compound of the basic distance estimator was more robust across all spatial patterns for sample size greater than 25. Despite of this slight difference, the two studies recommend the use of these methods in particular angle-order method in the field or in clumped pattern. For a general recommendation, it is not assumed that the investigator would be able to clearly define what sort of spatial pattern is followed by the population to be sample [23]. However, [24] compared point-centered quarter, nearest neighbour, Basic distances, ordered distance and variable area transect and found that none of these methods produced accurate results across all field. In addition, these methods are unreliable in aggregative spatial pattern. But they recommend firstly, to reconsider plot-based methods, by making a large scale comparison both on accuracy obtained and feasibility and secondly, to make a deeper investigation into the relation between the combinations of spatial patterns and the accuracy for each method [3]. as for them compared quartered neighbour method and point-centered quarter and concluded that quartered neighbour method is more robust and more precise than the oldest method point-centered quarter. In addition, they suggest that further investigation be made to demonstrate whether the new method quartered neighbour method is applicable in all kinds of population spatial distribution patterns [37]. in

comparing variable area transect, closest individual found that variable area transect is more useful and constitutes an alternative to others plotless sampling but these two methods provide an unbiased estimates of density with equal variances. They recommend the use of variable area transect in a wide range of biological sampling problems [19]. also come to the same conclusion in comparing point-centered quarter, joint-point method (JP), random pairs, T-square sampling and quartered neighbour method beside fixed area plot (FAP), N-tree and variable area transect and concluded that considering relative bias and time consuming, variable area transect and point-centered quarter appear to be the best methods respectively in clumped and random pattern and recommend the use of variable area transect where the spatial pattern of the population sampled is not clearly defined [20]. compared variable area transect, ordered distance and Byth's T-square sampling and concluded that for one sample study, all the three methods are very similar in random spatial pattern, but for an aggregated spatial pattern, the tree methods underestimate the density. In addition, T-square performed better than the two others. On the other hand, they found that for two sample study, no plotless sampling methods were robust. They advised plant ecologists to avoid those methods and to use Quadrat methods. Moreover, [51] have proposed a new method (Triangle method) aiming to improve the precision of plotless sampling method in forest communities. In their study, they compared this method with the old one (point-centred quarter method) and found that this method is adequate and easy to use in wood engineering and forest survey work. In addition, it is more accurate and precise than the old one. But, it is noteworthy that this new method has not been theoretically demonstrated. So, further investigations are required in order to demonstrate whether this method is applicable in all kinds of the population spatial distribution pattern. From the informations above, we can notice that each estimator has been developed to work better under the assumptions defined by a specific population. In other words, an estimator is just a function of the data, and whether it is biased, precise or accurate, that depends on what the researcher aims to estimate. Overall, the distance methods to the 3rd nearest neighbour like ordered distance, angle-order method are better than others plotless sampling methods in term of bias, followed by variable area transect.

4 DISCUSSION

4.1 PLOTLESS SAMPLING METHODS

Sampling constitutes a basic step in ecological research. Plotless sampling techniques is one of the main group of sampling methods used by researchers when surveying vegetation. From the surveyed papers, closest individual (CIM), nearest neighbours (NN), random pairs (RPM) and point-centered quarter (PCQ) are basic distance methods. It is known that others techniques are derived from the first four methods. Indeed, according to [16] and [23], basic distance estimators involve distance measurements either from random points to the closest individual or from individuals to their nearest neighbours (sometimes from the nearest neighbour to its nearest neighbour). Surveyed papers revealed that point-centered quarter method was the most used technique by researchers in their ecological investigations ([3], [6], [7], [8], [18], [19], [24], [25], [32], [33], [41], [54], [56], [61], [62], [63], [64], [71], [72], [73]). Indeed, the technique seems very simple in term of implementation ([41], [62], [64]). However, point-centered quarter method as well as others plotless techniques assumes a random spatial pattern of trees (measurements taken are closed to those used to determine indices of aggregation) [21] and it is well known that these methods do not perform well when the spatial pattern deviates from random ([23], [69], [41]). To handle limitations about spatial pattern, many studies were done to assess the robustness of these methods in case of non-random distribution of plants within a community. For instance, [39] developed the first distance estimators for non-randomly spaced populations. Then, he extended the estimation principle to angle-order and ordered methods mainly developed by [41] later [34]. used the ordered distance method to study some sampling characteristics of a series of aggregated populations. From their study, ordered distance method is simple for both sampling scheme and computation aspect. On its asymptotic limit, [42] found that the method produced lower bias for random and dispersed distributions and higher bias for clustered ones. Apart from previous sampling techniques (point-centered quarter, angle-order and ordered distance methods), another ones were developed in order to reduce the bias due to non-randomness in distribution. These techniques combine point-to-plant and plant-to-plant distance measurement (for example, see T-square sampling and variable area transect for more details). However, [3] reported that even if these methods could improve accuracy and precision of parameters estimates, they make distance measurements too complicated. Moreover, some of plotless methods remains slightly documented in ecology to date. For instance, according to [31], variable area transect method has received little attention in ecology despite having robust estimation properties. It is only from 2000 year that the method has been more used in the vegetation studies. It is known that the method presents a good performance compared to other methods since it is a combination of distance and quadrat methods ([23], [66], [67]) [37]. and [38] reported that VAT is more useful and constitutes an alternative to other plotless sampling, mainly in clumped pattern of trees. Nevertheless results from techniques like VAT remain unsatisfactory [56]. Thus, more recent methods (see N-tree method and triangle method for example), were introduced to accommodate field conditions and to improve the precision of plotless sampling techniques. Moreover, [3] noticed some weaknesses regarding choice criteria of random sampling point and concluded that sampling points were subjectively considered. To overcome this issue, the quartered neighbour method [3] has been proposed as being a more precise method than the classical

quarter method even if its theoretical aspects are not yet proved. The subjective choice of random point in this method can lead to measurement errors or to the variability of data obtained. This means that the results from repeated sampling of the same stand with different investigators can substantially differ.

4.2 COMPARISON OF PLOTLESS SAMPLING TECHNIQUES AND FACTORS AFFECTING THEIR PERFORMANCE

Plotless sampling methods reduce sampling unit into a point, avoiding issues that arise with size, shape and orientation of quadrat [74]. and [7] recorded that plotless methods require less effort and reduce sampling time than plot-based ones. They provide an accurate and rapid estimation of tree densities [18]. On the one hand, the results of these techniques can provide important information about interaction relationships between species (inter or intra) in plant communities and on the other hand help to determine spatial pattern of plants ([19], [24], [39]).

Contrary to [7], [18], [19], [24], [39] and [74], [54] reported that quadrat methods provide a maximum of accuracy and a minimum effort for vegetation parameter estimates. However, they pointed out that the size of the plot and the amount of field effort expended impact results obtained to an unexpected degree. Similarly to quadrat methods, it has been proved that the sample size (i.e. number of sampling points) impacts the performance of plotless sampling methods ([20], [25], [32]). By increasing the sample size, more accurate parameters estimates from plotless sampling methods. This is consistent with [25] results on the comparison three plotless methods (random pairs, point-centered quarter and closest individual) with quadrat method. According to [20], they observed that the accuracy of estimations from plotless sampling methods depends mainly on the sample size. For instance, they found out that the quality of density estimation increased with sample size. Nonetheless, increasing sample size does not always guarantee a good accuracy. According to [32] in surveying a shrub community, some plotless sampling methods did not produce accurate results whichever the sample size considered. It has been shown by [25] that a minimum of 30 sample is necessary before any statement can be made on a vegetation. However, the same authors in 1956 indicated that the size of an adequate sample varies with the sampling method. According to our field experience, the type of vegetation (savannah, mangrove forest, dense forest, gallery forest, etc.) can also help in the choice of a given plotless technique. Most of studied papers in this literature review did not provide an appropriate sample size that can improve the performance of plotless sampling methods. Another factor that affect the performance of plotless sampling methods is the degree of randomness (i.e. spatial pattern) of plant communities [24]. reported that for almost all methods, the sign of error (under or overestimation) depends on spatial pattern of the population (aggregation or regular pattern). So, when vegetation has a high degree of non-randomness, they gave the largest bias. This strongly justifies the main assumption of random spatial distribution for populations of plotless sampling techniques (see [35], [41], [13]). Because a random spatial pattern of populations rarely occurs in nature, some attempts have been made to modify plotless estimators in order to improve their robustness in case of non-random spatial patterns. For instance, [39] proposed angle-order method for estimating density in population of unknown distribution while [75] suggested some correction factors according to the degree of aggregation of populations [23]. and [16] noticed that estimations from plotless methods involving distance measurements from the starting step (a random point or a random tree) to 3rd nearest plant (see angle-order method, variable area transect and ordered distance for example) are less biased than the other plotless sampling methods. Furthermore, from surveyed studies, one notice that some issues occur with the transect width in variable area transect method. Only few studies have investigated the effects of varying transect width in variable area transect method on its density estimates and the easiness of implementation in field. For instance, [31] and [65] revealed that the transect width affect significantly the quality (accuracy and precision) of density estimates when using this technique. Also, [23] noticed that distance from each starting point to the third nearest neighbours ($g=3$) is more useful whereas [67] suggested to setup g at 5. From these two studies, one need to study more on variable area transect optimization (for example, optimal transect width and g value). Therefore, it is clear that the plotless sampling methods perform differently according to spatial patterns of communities. For [32], no technique of plotless sampling is particularly desirable. So, most specific studies must be done to provide guidelines to ecologists in their vegetation investigations.

4.3 LIMITATIONS OF SURVEYED STUDIES

Our discussion of plotless sampling methods up to this step assume optimal conditions of practical aspects. Many studies were designed to assess the robustness of plotless sampling methods in case of non-random distribution of plants within a community (see [19], [20], [21], [22], [23], [24]) without interesting to sources of bias which occurs in this case. Only very few studies investigated sources of bias that can occur when using these methods. This bias could be due to measurement errors. For instance, [76], [77] and [78] reported that although the distances are well measured and known in practice, there are often errors in measurement, but there is little research on this problem because the effect of measurement errors was unknown and methods for correcting these errors didn't exist. As noticed by [79], there are no exact measurement, there exists always some kind of error (additive error). Such errors can lead to potential impact on the bias and the precision of these estimators which cannot be reduced

by increasing survey effort ([76], [77], [78], [80]) [76]. found out that measurement errors can cause underestimation of the abundance. Moreover, [8] and [73] link the bias to the structure of the stands examined. For [18], the occurrence of this error can be due to two different sources. The first will be the fact that the distance must be squared before density may be computed and the second is the extreme variability by multiplying the number of trees per acre by basal area per tree at each point. The idea developed by these authors have not been investigated in other studies. They added that this bias is relatively unimportant and will influence the data obtained. Otherwise, the occurrence of these errors may be related to the measurement instrument and sampling ([81], [82]) [82]. reported that measurements to the tree in place of the center of the tree trunk may lead to errors of estimations. Nevertheless, some estimators have been proposed to remove this error in order to correct the bias. For instance, [81] proposed one approach for using simulation extrapolation estimation (SIMEX) to reduce measurement errors. They found out that SIMEX allows to reduce measurement error bias through an useful method. On the other hand, [76] proposed the nonparametric approach in particular methods of moments which require knowledge of error distribution. But this estimator has been proved insufficient to remove the bias in all cases [76]. It is therefore important for researchers to develop a technique for correcting the bias of distance sampling methods by including distance measurements either from point to plant or plant to plant. Moreover, the majority of studies that we reviewed used plotless sampling methods to estimate population density. Otherwise, these studies are more orientated to population density and minimize other parameters which are also of great importance in quantitative analysis in ecology. Indeed, [64] showed that there exists a wide variety of ecological attributes such as basal cover, species composition, inter-species association, species richness (number of species occurring in a particular community), etc. It has been proved by [83] and [84] that species richness and occurrence are also basic step in studying community ecology. According to [85], species richness is the most parameter widely used in biodiversity metric. Besides, plotless sampling methods can help to determine spatial patterns of plant. For instance, [27] revealed that the distance between individual and its nearest neighbour might be used to study randomness through a comparison of the observed distribution of such distances with those expected from theory. In the same idea, [28] used distance between nearest neighbours with the average distance between random points and closest individuals for measuring aggregation. So, researchers may be interested in how plotless sampling methods perform on other ecological parameters. Furthermore, it is well known that in plant community, not all individual present in sample area are detected; some of them will be overlooked and remain unobserved. Otherwise, the observer may be unable to detect the presence of the species ([86], [87], [88], [34]). According to these authors, it is a common sampling problem of imperfect detection. It is noteworthy that this problem has not been mentioned in the studies reviewed. Yet, it has been proved by [86] and [34] that this problem may lead to bias in estimating plant population size. According to [87], this may be related to observer error, species, lack of visibility at the time of the survey or environmental conditions (rain, temperature, etc.) [88]. came to similar results and found that this sampling problem arised when the population size is small and individuals are difficult to sample or sampling effort is limited. Therefore, we hope that our findings prompt more ecologists to consider carefully the detection process in the future researches.

5 CONCLUSION

This study has made a critical review of literature on plotless sampling techniques in vegetation studies. This study based on a careful examination of the literature, showed that there are several plotless sampling techniques in ecological studies and some of them have received little attention or have not theoretically demonstrated. Moreover, the performance of these methods depend on the type of spatial distribution of organism and the sighted objectives by researchers. The study has shown that plotless sampling methods have a good performance (unbiased) when the population is randomly distributed but when the population is uniformly or contagiously (clump) distributed, these methods produce the largest bias of density estimate in spite of all efforts done by some researchers in order to improve their robustness. We conclude this study by giving our opinions, based on the study results presented here, as to what plotless sampling technique we would consider when designing a field study. Then, in most situations, variable area transect is the best preferred method overall and one of the most practical plotless sampling methods because of its easiness. So, researchers need to do whatever they can to control this bias. It is therefore impossible to summarize all present and possible future developments, and we ask for forgiveness if we left out some promising research that we did not know about. We hope that this review will show what has already been achieved and point the way to more sophisticated studies of plotless sampling techniques. The outcomes of this study provide ample suggestions for future research. It is suggested that before implementing the plotless sampling methods, the vegetation study should be examined in order to detect the spatial pattern of plant communities and to prescribe the best method. The research should also be extended to control the bias, to continue some investigations on those methods mainly on measurement errors, detection process and to evaluate their performance on other parameters in plant community (for example, the species richness). We suggest that similar study be done to determine the best plotless sampling method that can answer the three basis criteria.

REFERENCES

- [1] G.G., Timothy and T.V. Harry, Sampling strategies for natural resources and the environment. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2007.
- [2] Y. Loya and B. Rinkevich, "Variability in the pattern of sexual reproduction of the coral *stylophora pistillata* at eilat, red sea: A long-term study," *The Biological Bulletin*, vol. 173, pp. 335-344, 1987.
- [3] X. Zhu and J. Zhang, "Quatered neighbor method: A new distance method for density estimation," *Front Biol China*, vol. 4, pp. 574 – 578, 2009.
- [4] R.M. Dorazio and A.J. Royle, "Estimating Size and Composition of Biological Communities by Modeling the Occurrence of Species," *Journal of the American Statistical Association*, vol. 100, pp. 389-398, 2005.
- [5] A.G. Amagnidé, V. Salako, M.D. Hounsodé, F. Sinsin, V. Orékan, C. Dan and R. Glèlè Kakaï, "Ecological consequences of anthropogenic pressure in Wari-Maró Forest Reserve (Benin, West Africa)," *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, vol. 109, pp. 271-289, 2015.
- [6] C.J. Patterson, D.A. James, "Speed and Accuracy of Methods for Obtaining Measurements of Forests," *The southwestern naturalist*, vol. 53, pp. 279 – 283, 2009.
- [7] Y. Loya, Plotless and transect methods. Departement of Zoology, The George S Wise Centre for Life Sciences, Tel-Aviv University, Tel-Aviv, Israël, 1972.
- [8] A.F. Mark, A.E. Esler, "An assessment of the point - centered quarter method of plotless sampling in some new zealand forests," *Proceedings of the New Zealand Ecological Society*, vol. 17, pp. 106-110, 1970.
- [9] C.J. Krebs, *Ecological methodology*. Benjamin/Cummings, 1999.
- [10] K. Mitchell, *Quantitative Analysis by the Point - Centered Quarter Method*. Departement of Mathematics and Computer Science Hobart and William Smith Colleges Geneva, NY 14456, 2015.
- [11] E.C. Pielou, The effect of quadrat size on estimation of parameters of Neyman and Thomas distributions, *Journal of Ecology*, vol. 45, pp. 31-47, 1957.
- [12] M.G. Efford and D.K. Dawson, "Occupancy in continuous habitat," *Ecosphere*, vol. 3, pp. 1-15, 2012.
- [13] A.K. Kershaw, *Quantitative and dynamic plant ecology*. Elsevier, New York, New York, USA, 1973.
- [14] M.T. Dale, *Spatial pattern analysis in plant ecology*. Cambridge University Press Cambridge, UK, 1999.
- [15] Buckland ST, Anderson DR, Burnham KP, Laake JL. *Distance Sampling: Estimating Abundance of Biological Populations*. Chapman and Hall, London. 1993.
- [16] White NA, Engeman RM, Sugihara RT, Krupa HW. A Comparison of Plotless Density Estimators Using Monte Carlo Simulation On Tottaly Enumerated Field Data sets. *BMC Ecology*. 2008; 8: 6 doi: 10.1186/1472-6785-8-6.
- [17] Cottam G. A point method for making rapid surveys of woodlands. *Bulletin of the Ecological Society of America*. 1947; 28: 60.
- [18] Cottam G, Curtis TJ. The Use of Distance Measures in Phytosociological Sampling. *Ecological Society of America*. 1956; 37: 451 - 460.
- [19] Kiani B, Fallah A, Tabari M, Hosseini SM, Parizi M-Hi. A Comparison of Distance Sampling Methods in Saxaul (*Halloxylon Ammodendron* C. A. Mey Bunge) Shrub Lands. *Polish Journal of Ecology*. 2013; 61: 207 - 219.
- [20] Steinke I, Hennenberg KJ. On the power of plotless density estimators for statistical comparisons of plant populations. *Canadian Journal of Botanique*. 2006; 84: 421 - 432.
- [21] Neil WA, Richard EM, Robert ST, Heather KW. A comparison of plotless density estimators using Monte Carlo simulation on totally enumerated field data sets. *BMC Ecology*. 2008; 8: 1472-6785.
- [22] Batcheler CL. Estimation of Density from a Sample of Joint Point and Nearest - Neighbor Distances. *Ecological Society of America*. 1971; 52 (4): 703 - 709.
- [23] Engeman RM, Sugihara RT, Pank LF, Dusenberry WE. A comparison of plotless density estimators using Monte Carlo simulation. *Ecology*. 1994; 75: 1769 - 1779.
- [24] Hijbeek R, Koedam N, Khan MNI, Kairo JG, Schoukens J. An Evaluation of Plotless Sampling Using Vegetation Simulations and Field Data from a Mangrove Forest. *PLoS ONE*. 2013; 8 (6): e67201. doi: 10.1371/journal.pone.0067201.
- [25] Cottam G, Curtis JT, Hala BW. Some sampling characteristics of a population of randomly dispersed individuals. *Ecology*. 1953; 34: 741 - 757.
- [26] Morisita M. Estimation of population density by spacing method. *Mem Fac Sci Kyushu Univ*, 1954; Ser E 1: 187-197.
- [27] Skellam JG. Studies in statistical ecology. I. Spatial pattern. *Biometrika*. 1952; 39: 346-362.
- [28] Hopkins B. A new method for determining the type of distribution of plant individuals. *Annal Botanique*. 1954; 18: 213-227.
- [29] Moore PG. Spacing in plant populations. *Ecology*. 1954; 35: 222-227.
- [30] Clark PJ, Evans FC. Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology*. 1954; 35: 445 - 453.

- [31] Dobrowski Z, Murphy KS. A Practical Look at the Variable Area Transect. *Ecological Society of America*. 2006; 87: 1856 - 1860.
- [32] Lyon LJ. An evaluation of density sampling methods in a shrub community. *Journal Range Management*. 1968; 21: 16 - 20.
- [33] Risser P, Zedler P. An evaluation of the grassland quarter method. *Ecology*. 1968; 49: 1006 - 1009.
- [34] Alexander HM, Reed AW, Kettle WD, Slade NA, Roels SAB, et al. Detection and Plant Monitoring Programs: Lessons from an Intensive Survey of *Asclepias meadii* with Five Observers. 2012; *PLoS ONE* 7 (12): e52762. doi: 10.1371/journal.pone.0052762.
- [35] Cottam G, Curtis JT. A method for making rapid surveys of woodlands by means of pairs randomly selected trees. *Ecology*. 1949; 30: 101 - 104.
- [36] Cottam G, Curtis JT. Correction for various exclusion angles in the random pairs method. *Ecology*. 1955; 36: 767.
- [37] Nath CD, Pélissier R, Garcia C. Comparative efficiency and accuracy of variable area transects versus square plots for sampling tree diversity and density. *Agroforestry System*. 2010; 79: 223 - 236.
- [38] Morisita M A new method for the estimation of density by the spacing method applicable to non - randomly distributed populations. *Physiology and Ecology - Kyoto*. 1957; 7: 134 - 144 (in Japanese).
- [39] Besag JE, Gleaves JT. On the detection of spatial pattern in plant communities. *Bulletin of the International Statistical Institute*. 1973; 45: 153 - 158.
- [40] Pollard JH. On distance estimators of density in randomly distributed forests. *Biometrics*. 1971; 27: 991 - 1002.
- [41] Kronenfeld BJ. A Plotless Density Estimator based on the Asymptotic Limit of Ordered Distance Estimation Values. *Geography/Geology*. 2009; 55: 283-292.
- [42] Kleinn C, Vilcko F. A new empirical approach for estimation in k-tree sampling. *Forest Ecology and Management*. 2006; 237: 522-533.
- [43] Lynch THB, Wittwer RF. n-Tree distance sampling for per-tree estimates with application to unequal-sized cluster sampling of increment core data. *Canadian Journal of Forest Research*. 2003; 33: 1189-1195.
- [44] Prodan M. Punkstichprobe für die Forsteinrichtung (in German). *Forst und Holzwirt*. 1968; 23 (11): 225-226.
- [45] Schöpfer W. Die 6-Baum-Stichprobe in der Forsteinrichtung. Teil 1 (6-tree sampling for forest management planning, part 1). *Allgemeine Forst Zeitung*. 1969; 25: 533-536.
- [46] Nothdurft A, Saborowski J, Nuske RS, Stoyan D. Density estimation based on k-tree sampling and point pattern reconstruction. *Canadian Journal of Forest Research*. 2010; 40: 953-967.
- [47] Lynch TB, Rusydi R. Distance sampling for forest inventory in Indonesian teak plantations. *Forest Ecology and Management*. 1999; 113: 215-221.
- [48] Zobeiry M. Tree sampling in natural forests of northern Iran. *Forestry Chronicle*. 1978; 54: 171-172.
- [49] Dice LR. Measure of the spacing between individuals within a population. *Contrib Lab Vert Biol Univ Mich* 55. 1952.
- [50] Zhu X-Z, Gao T, Zhang J-T. Triangle method: A new distance method for density estimation. *Advanced Materials Research*. 2014; 1010-1012: 1209-1214.
- [51] Kangas A, Maltamo M. *Forest inventory: methodology and applications*. Springer: Dordrecht. 2007.
- [52] Picard N, BarHen A. Estimation of density of a clustered point pattern using a distance method. *Environment of Ecological Statistic*. 2007; 14: 341 - 353.
- [53] James CF, Jr Herman Henry S. A Quantitative Method of Habitat Description. *National Audubon Society*. 1970; 24: 727 - 736.
- [54] Mohammad SM. Determination of an appropriate quadrat size and shape for detecting association between plant species. *Elsevier, Ecological Modelling*. 2011. 222: 1790 1792.
- [55] Pilliot DS, Arkle RS. Performance of Quantitative Vegetation Sampling Methods Across Gradients of Cover In Great Basin Plant Communities. *Rangeland Ecology & Management*. 2007; 66 (6): 634 - 647.
- [56] Stokes CJ, Yeaton RI. A line - based vegetation sampling technique and its application in succulent karoo. *Afr J Range For Sci*. 1994; 11: 1 - 7.
- [57] Magnussen S, Kleinn C, Picard N. Two new density estimators for distance sampling. *European Journal of Forest Research*. 2008; 127: 213 - 224.
- [58] Fairweather SE, Amrhein JF. A test nonparametric distance-based estimator for seedling density. *Canadian Journal of Forest Research*. 1989; 19: 1169-1173.
- [59] Robert S. Rempel, Douglas E.B. Reid, Jackson J. Batcheler-corrected point distance versus belt transect for sampling habitat and woody vegetation. *Canadian Journal of Forest Research*. 2012; 42: 2052-2063.
- [60] Bouldin J. Some problems and solutions in density estimation from bearing tree data: a review and synthesis. *Journal of Biogeography*. 2008; 35: 2000 - 2011.
- [61] Dahdouh-Guebas F, Koedam N. Empirical estimate of the reliability of the use of the Point - Centred Quarter Method (PCQM): Solutions to ambiguous field situations and description of the PCQM + protocol. *Forest Ecology and Management*. 2006; 228: 1 18.

- [62] Thomas J.K. Clarification of Distance Measurements in the Random Pairs and Other Plotless Distance. Philadelphia Botanical Club. 2000; 75 - 79.
- [63] Piao TF, Chung SH, Kang SK, Kim DY, Lee HS, et al. The evaluation of ecological attributes in a natural deciduous forest using point - centered quarter method. *Forest Science and Technology*. 2009; 5: 10 - 16.
- [64] Kiani B, Tabari M, Fallah A, Hosseini SM, Parizi M-HIN. Optimal Method to Determine Density of the scarce Vegetation in Dry Desert: Variable Area transect (VAT) applied to saxaul (*Haloxylon Ammodendron*) Community. *Polish Journal of Ecology*. 2011; 59 (4): 823-828.
- [65] Engeman RM, Sugihara RT. Optimization of Variable Area Transect Sampling Using Monte Carlo Simulation. *Ecology*. 1998; 79: 1425 - 1434.
- [66] Engeman RM, Nielson RM, Sugihara RT. Evaluation of Optimized Variable Area Transect Sampling Using Totally Enumerated Field Data sets. *Environmetrics*. 2005; 16: 767 - 772.
- [67] Murn C, Botha A. Assessing the accuracy of plotless density estimators using census accounts to refine population estimates of the vultures of Kruger National Park. *Journal of African Ornithology*. 2016; 1 - 6.
- [68] Cottam G, Curtis J, Catana A. Some sampling characteristics of a series of aggregated populations. *Ecology*. 1957; 38: 610 - 621.
- [69] Magnussen S, Fehrman L, Platt WJ. An adaptive composite density estimator for k-tree sampling. *European Journal of Forest Research*. 2011; 131: 307-320.
- [70] McNeill L, Kelly RD, Barnes DL. The Use of Quadrat and Plotless Methods in the Analysis of the Tree and Shrub Component of Woodland Vegetation. *Proceedings of the Annual Congresses of the Grassland Society of Southern Africa*. 2010; 12: 109 - 113.
- [71] Beasom SL, Hauke HH. A Comparison of Four Distance Sampling Techniques in South Texas Live Oak Mottes. *Journal of Range Management*. 1975; 28: 142 -143.
- [72] Laycock WA, Batcheler CL. Comparison of Distance - Measurement Techniques for Sampling Tussock Grassland Species in New Zealand. *Journal of Range Management*. 1975; 28: 235 - 239.
- [73] Thomas L, Buckland ST, Burnham KP. Distance sampling. *Encyclopedia of environmetrics* Chichester. 2002; 544 - 553.
- [74] Dombois DM. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. John Wiley and Sons; New York London Sydney Toronto. 1974.
- [75] Chen SX. Measurement Errors in Line Transect Surveys. *BIOMETRICS*. 1998; 54: 899-908.
- [76] Chen SX, Cowling A. Measurement Errors in Line Transect Surveys Where Detectability Varies with Distance and Size. *Biometrics* 2001; 57: 732-742.
- [77] Borchers D, Marques T, Gunnlaugsson T, Jupp P. Estimating Distance Sampling Detection Functions When Distances Are Measured With Errors. *Journal of Agricultural Biological, and Environmental Statistics*. 2010. DOI: 10.1007/s13253-010-0021- y.
- [78] Marques TA. Predicting and Correcting Bias Caused by Measurement Error in Line Transect Sampling Using Multiplicative Error Models. *Biometrics*. 2004; 60: 757-763.
- [79] Williams R, Leaper R, Zerbini AN, Hammond PS. Methods for investigating measurement error in cetacean line-transect surveys. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 2007; 87: 313-320.
- [80] Cook JR, Stefanski LA. Simulation-Extrapolation Estimation in Parametric Measurement Error. *Journal of the American Statistical Association*. 1994; 89: 1314-1328.
- [81] Ashby WC. Distance Measurements in Vegetation Study. 1972; *Ecology* 53: 980-981.
- [82] Boulinier T, Nichols JD, Sauer JR, Hines JE, Pollock KH. Estimating species richness: the importance of heterogeneity in species detectability. 1988; *Ecology* 79: 1018-1028.
- [83] Bornand CN, Kéry M, Bueche L, Fischer M. Hide-and-seek in vegetation: time-to-detection is an efficient design for estimating detectability and occurrence. *Methods in Ecology and Evolution*. 2014. doi: 10.1111/2041-210X.12171.
- [84] Kéry M, Royle JA. Hierarchical Bayes estimation of species richness and occupancy in spatially replicated surveys. *Journal of Applied Ecology*. 2008; 45: 589-498.
- [85] Lele SR, Moreno M, Bayne E. Dealing with detection error in site occupancy surveys: what can we do with a single survey? *Journal of Plant Ecology*. 2012; 5: 22-31.
- [86] Kellner KF, Swihart RK. Accounting for Imperfect Detection in Ecology: A Quantitative Review. *PLoS ONE*. 2014; 9 (10): e111436. doi: 10.1371/journal.pone. 0111436.
- [87] Gu W, Swihart RK. Absent or undetected? Effects of non-detection of species occurrence on wildlife-habitat models. *Biological Conservation*. 2004; 116: 195-203.

Diversité floristique et structure des formations végétales de la Forêt Classée de Pénésoulou (Bénin, Afrique de l'Ouest)

[Floristic diversity and structure of plant communities of the Pénésoulou Forest Reserve (Benin, West-Africa)]

Léonce O. S. N. Dossa¹, Aristide Cossi Adomou¹, Gbèwonmèdèa Hospice Dassou¹, and Gbènakpon Aubin Y. G. Amagnide²

¹Laboratoire de Botanique et Ecologie Végétale, Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, Benin

²Laboratoire de Biomathématiques et d'Estimations Forestières, Faculté des Sciences Agronomiques, Benin

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

ABSTRACT: The study assessed the floristic diversity and analysed the structure of plant groups in the Pénésoulou Forest Reserve (PFR). For this purpose, 234 plots of 50 m × 20 m each were installed in delimited floristically homogenous stands. An individualization of the different plant groups of the PFR was carried out using non-metric multidimensional scaling. Alpha diversity indices were used to evaluate the floristic diversity of the plant communities. Dendrometric parameters and size class structures of diameter and height were performed to understand the conservation status of the identified plant communities. Four plant communities was identified: G1 corresponded to woodlands and savannah woodlands with *Vitellaria paradoxa* and *Uapaca togoensis* as characteristic species, and including 81 woody species; G2 corresponded to forest gallery, dominated by *Anogeissus leiocarpa* and *Cola gigantea* and including 100 woody species; G3 corresponding to tree and shrub savannahs with *Vitellaria paradoxa* and *Parinari curatellifolia* as characteristic species, and including 64 woody species; and G4 corresponded to *Anogeissus leiocarpa* - *Lonchocarpus sericeus* dry forest that included 75 woody species. The dendrometric parameters varied significantly from a plant group to another (P-value < 0.05). The distribution of tree diameters was in an inverted «J» shape, characteristic of multi-species stands. As for the structures in height, they reflected a rarity of higher individuals (>20 m). The results showed an acceptable state of conservation and a good natural regeneration capacity of the forest, which must be improved through the implementation of a forest management plan.

KEYWORDS: Plant community, flora, dendrometry, protected area, Benin.

RESUME: L'étude a évalué la diversité floristique et analysé la structure des formations végétales de la Forêt Classée de Pénésoulou (FCP). Pour ce faire, 234 placeaux de 50 m × 20 m ont été installés. Une individualisation des différents groupements végétaux a été faite en utilisant le positionnement multidimensionnel. Les indices de diversité alpha ont été estimés pour évaluer la diversité floristique des groupements végétaux. La détermination des paramètres dendrométriques et l'établissement des structures en diamètre et en hauteur ont permis de caractériser la structure des différents groupements végétaux. Les résultats obtenus ont montré que la FCP comporte quatre groupements végétaux (G): G1 correspond au complexe forêt claire-savane boisée à *Vitellaria paradoxa* et *Uapaca togoensis* avec 81 espèces ligneuses; G2 correspond à la galerie forestière à *Anogeissus leiocarpa* et *Cola gigantea* avec 100 espèces ligneuses; G3 correspond au complexe savane arborée-savane arbustive à *Vitellaria paradoxa* et *Parinari curatellifolia* avec 64 espèces ligneuses et enfin G4 correspond à la forêt dense sèche à *Anogeissus leiocarpa* et *Lonchocarpus sericeus* avec 75 espèces ligneuses. Les paramètres dendrométriques ont varié significativement d'un groupement végétal à un autre (Prob. < 0,05). Les structures diamétriques du peuplement ligneux sont en «J renversé», caractéristique des peuplements naturels multispécifiques. Quant aux structures en hauteur, elles traduisent une rareté des individus de grandes hauteurs (>20 m). Les résultats obtenus montrent un état acceptable de conservation et un bon pouvoir régénératif de la forêt qui doivent être améliorés à travers la mise en œuvre d'un plan d'aménagement de ladite forêt.

MOTS-CLEFS: Groupement végétal, flore, dendrométrie, domaine protégé, Bénin.

1 INTRODUCTION

A l'échelle planétaire, les écosystèmes forestiers sont extrêmement précieux pour l'humanité toute entière car ils jouent un rôle essentiel grâce aux nombreux services écosystémiques qu'ils procurent tels que la production de bois et des produits forestiers non ligneux, la conservation de la biodiversité, le stockage de carbone, l'atténuation des effets des changements climatiques, la protection des eaux et des sols, les services culturels et cultuels ([1], [2]). La diversité biologique des forêts et la variabilité des écosystèmes forestiers sont donc à la base des biens et services, et constituent ainsi le fondement de la bonne santé et de la stabilité des forêts à long terme.

Malheureusement de nos jours, les écosystèmes forestiers du monde font l'objet de dégradation importante. Cette dégradation des écosystèmes forestiers, représente une des plus importantes causes de réduction de la biodiversité dans le monde ([1], [3]). Selon [4], 80% de la couverture forestière mondiale originelle a été abattue ou dégradée, essentiellement au cours des 30 dernières années. Les pays en voie de développement enregistrent les plus importants taux de réduction des surfaces forestières. L'Afrique est l'un des continents les plus durablement touchés par la perte de la couverture forestière avec une contribution de 49,33% à la réduction du couvert forestier mondial entre 1990 et 2000 [5]. Cette perte est plus perceptible en Afrique de l'Ouest en particulier où la régression annuelle du couvert forestier est depuis 1990, estimée à 1,17% [5]. Au Bénin, la perte moyenne annuelle des forêts est de 50.000 ha entre 2000 et 2010 [2], ce qui représente l'un des plus forts taux de la région (31% selon [4]). Cette situation est le résultat de l'agriculture itinérante sur brûlis, du pâturage extensif et des feux de végétation [6]. A ces facteurs, il convient d'ajouter l'exploitation forestière abusive aussi bien pour l'extraction du bois d'œuvre que du bois de feu.

Aux pertes de superficies correspondent des pertes proportionnelles en espèces. De ce fait, l'on assiste à un phénomène de disparition et de raréfaction d'un nombre important d'espèces végétales et animales abritées par ces écosystèmes. Face à cette menace que subit la biodiversité, l'Etat béninois a retourné les manches pour la gestion de certaines forêts classées, parcs nationaux et réserves forestières, aux fins de mieux y conserver la flore et la faune. Malheureusement, certaines aires protégées ont déjà fait l'objet d'une exploitation forestière frauduleuse et ont également servi au développement des activités agricoles. C'est le cas de la Forêt Classée de Pénésoulou (FCP) qui a subi dans un passé récent une exploitation forestière ayant conduit à une dégradation de certaines de ses formations avant sa délégation de gestion à l'Office National du Bois.

La FCP est un écosystème rare puisqu'elle regroupe des formations végétales écologiquement différentes, allant de la forêt dense sèche aux savanes. Selon [7], cet écosystème est doté d'une richesse faunistique et floristique très élevée. La FCP abrite un total de 450 espèces végétales dont 30 de valeur pour la conservation avec une communauté typique de plantes qui lui est inféodée [8]. Cette réserve forestière présente donc un intérêt considérable en matière de biodiversité, et nécessite d'être conservée. Malheureusement, la menace de disparition sur certaines espèces végétales et animales est encore pesante aujourd'hui. La dernière révision du plan d'aménagement de la FCP [9] note une disparition des espèces de singe telles que *Colobus polykomos* Zim. et *Procolobus verus* Van. & Ben. dans cet écosystème et de nombreuses autres espèces végétales menacées dont *Milicia excelsa* (Welw.) C. C. Berg et *Khaya grandifoliola* C. DC.

La conservation de cette forêt nécessite qu'elle étudiée de façon approfondie et aménagée en conséquence. Ceci passe par une bonne connaissance de la biodiversité de ses formations végétales, de leur structure y compris de la distribution des espèces qui s'y retrouvent. Dans ce sens, peu d'études spécifiques sont disponibles sur la forêt de Pénésoulou, ce qui justifie l'intérêt du présent travail. Les principales questions qui se posent sont les suivantes: Quel est l'état de la biodiversité dans les formations végétales de la FCP ? Qu'est-ce qui différencie, du point de vue structural ses formations végétales ? Comment les espèces sont-elles distribuées au sein de ses formations ? C'est pour répondre à ces questions que l'étude a pour objectifs spécifiques de (i) individualiser les différents types de végétation de la FCP, (ii) évaluer la diversité floristique des groupements végétaux de la FCP et (iii) caractériser la structure des formations végétales identifiées dans la FCP en vue de sa conservation.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MILIEU D'ÉTUDE

L'étude s'est déroulée dans la Forêt Classée de Pénésoulou (FCP) qui appartient à la zone soudano-guinéenne (Centre du Bénin) (Figure 1); elle est localisée entre 9°14' et 9°18' de latitude Nord et 1°30' et 1°35' de longitude Est avec une superficie de 5.717 ha. Le climat est de type tropical humide de transition. La pluviosité totale annuelle varie de 1165 à 1300 mm et la température moyenne mensuelle est de 27°C [10]. Le relief est dominé par des plateaux avec une altitude variant entre 200 et 250 m dans le Sud et 300 et 350 m dans le Nord. Les sols sont de types ferralitiques et ferrugineux tropicaux lessivés avec concrétions. La végétation naturelle est caractérisée par une mosaïque de savanes et de forêts claires parsemée de forêt galerie, de forêt dense sèche et de forêt dense semi-décidue [11]. La FCP fait partie intégrante du district phytogéographique de Bassila [12].

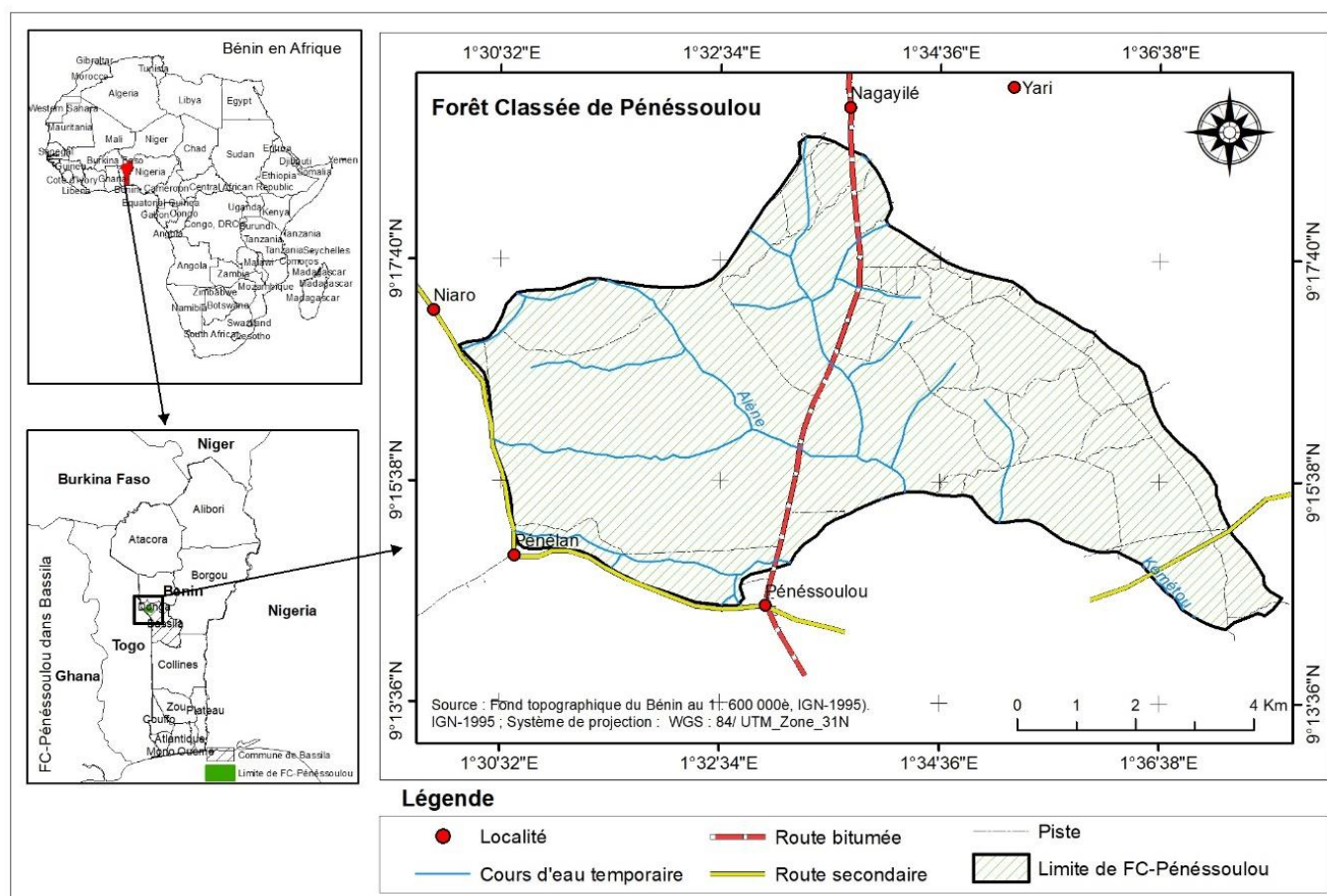


Fig. 1. Situation géographique de la Forêt Classée de Pénessoulou

2.2 ECHANTILLONNAGE ET COLLECTE DE DONNÉES

Un échantillonnage à deux niveaux a été utilisé dans le cadre de cette étude. Les unités du premier niveau sont des plateaux rectangulaires de 50 m × 20 m et les unités du deuxième niveau sont cinq quadrats de 2 m × 2 m établis au centre et aux quatre sommets de chaque plateau de 1000 m². Au total, 234 plateaux de 1000 m² ont été installés dans la forêt suivant un maillage (500 m × 500 m) de la carte de la forêt préalablement effectué au laboratoire de manière à couvrir l'ensemble des formations végétales de la FCP. Les plateaux ont été installés au centre de chaque maille.

Dans les plateaux de 1000 m², des relevés phytosociologiques ont été préalablement effectués suivant l'échelle de [13]. Les espèces collectées ont été identifiées sur le terrain et vérifiées à l'Herbier National du Bénin. Des inventaires forestiers ont été ensuite effectués et tous les arbres de diamètre à 1,30 m du sol (dbh) supérieur ou égal à 10 cm ont été dénombrés puis leurs diamètre, hauteur fût et hauteur totale mesurés respectivement à l'aide du ruban pi et du clinomètre. Les régénérations (individus de dbh inférieur à 10 cm) ont été dénombrées dans 1170 quadrats (5 quadrats par plateau × 234 plateaux) en tenant compte de leurs stades de développement (plantules: individus de hauteur ≤ 2 m, juvéniles: individus de hauteur ≥ 2 m et de dbh < 7 cm et jeunes arbres: individus de hauteur ≥ 2 m et 7 cm ≤ dbh < 10 cm). Les individus non identifiés sur le terrain ont été herborisés et ramenés à l'Herbier National pour identification.

2.3 TRAITEMENT ET ANALYSE STATISTIQUES DES DONNÉES

2.3.1 INDIVIDUALISATION DES GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

A partir des données des relevés phytosociologiques, la matrice d'abondance des espèces végétales (ligneuses et herbacées) recensées dans les 234 plateaux a été établie. Cette matrice a été soumise au positionnement multidimensionnel non-métrique (Non-Metric Multidimensional Scaling ou NMDS) en utilisant la distance de Bray et Curtis [14] et la fonction "nmds" à partir des bibliothèques (packages en anglais) *vegan* [15] et *labdsv* [16]. Le NMDS est en effet, une méthode d'ordination d'analyse indirecte de gradient écologique et permet de mettre en exergue les sites similaires de par leur composition floristique [17]. Des ellipses de confiance à 95 % de niveau de confiance ont été construites autour des relevés phytosociologiques en tenant compte de la

stratification a priori de la végétation. La matrice d'abondance a été préférée du fait de son efficacité relative prouvée à l'échelle d'une forêt.

Pour identifier les principales espèces caractéristiques de chaque groupement végétal, l'indice de valeur d'importance (*IVI*) de chaque espèce [18] a été calculé par groupement végétal. Ainsi, pour une espèce α , l'*IVI* est donné par:

$$IVI_{\alpha} = RD_{\alpha} + RF_{\alpha} + RC_{\alpha} \quad (1)$$

Où

$$RD_{\alpha} = n_{\alpha} / \sum_{i=1}^k n_{\alpha} \quad (2)$$

est la densité relative de l'espèce α ;

$$RF_{\alpha} = f_{\alpha} / \sum_{\alpha=1}^k f_{\alpha} ; f_{\alpha} = j_{\alpha} / k \quad (3)$$

est la fréquence relative de l'espèce α ; j_{α} est le nombre de placeaux dans lequel l'espèce a été observée et k le nombre total de placeaux;

$$RC_{\alpha} = C_{\alpha} / \sum_{\alpha=1}^n C_{\alpha} ; C_{\alpha} = a_{\alpha} N_{\alpha} / n_{\alpha} \quad (4)$$

est la dominance relative de l'espèce α ; a_{α} est la surface terrière de l'espèce α ; N_{α} est la densité de l'espèce α et n_{α} est le nombre total d'individus échantillonnés pour l'espèce α .

L'*IVI* varie de 0 à 3 et traduit le pourcentage d'importance. Il donne une estimation globale du niveau d'importance écologique d'une espèce végétale dans une communauté végétale [18]. Plus la valeur de l'*IVI* d'une espèce est élevée, plus cette espèce est écologiquement importante. Le diagramme en barre des valeurs de l'*IVI* a été établi pour les cinq espèces les plus écologiquement importantes (*IVI* > 10) par groupement végétal.

Par ailleurs, la similarité floristique des différents groupements végétaux a été examinée au moyen de l'indice de similarité de Sokal et Sneath [19].

2.3.2 DIVERSITÉ FLORISTIQUE DES GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Pour chaque groupement végétal, la richesse spécifique, l'indice de diversité de Shannon et l'équitabilité de Pielou [20] ont été calculés et comparés.

- *Richesse spécifique* (*S* en espèces): elle représente le nombre total d'espèces présentes dans un milieu donné.
- *Indice de diversité de Shannon* (*H* en bits), défini par la formule suivante:

$$H = - \sum_{i=1}^s \frac{n_i}{n} \log_2 \frac{n_i}{n} \quad (5)$$

n_i = nombre d'individus de l'espèce i et n = nombre total d'individus inventoriés dans les placeaux.

Cet indice est maximal quand tous les individus sont répartis d'une façon égale sur toutes les espèces.

- *Équitabilité de Pielou* (*Eq*): elle est une mesure de la stabilité du peuplement et équivaut au rapport de H à l'indice maximal théorique dans le peuplement (H_{max}):

$$Eq = \frac{H}{H_{max}} \quad \text{avec} \quad H_{max} = \log_2 S \quad (6)$$

Elle varie de 0 à 1; elle est maximale quand les espèces ont des abondances identiques dans le peuplement et minimal quand une seule espèce ou un petit groupe d'espèces domine tout le peuplement.

2.3.3 CARACTÉRISTIQUES DENDROMÉTRIQUES DES GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Les caractéristiques dendrométriques (Tableau 1) que sont la densité d'arbres, le diamètre moyen des arbres, la surface terrière, la hauteur totale (hauteur moyenne de Lorey) et la hauteur fût ([21], [22]) ont été calculés par groupement végétal. Ces paramètres ont été soumis à des analyses de variance (ANOVA: [23]) à un facteur fixe (groupement végétal) ou à défaut des tests de Kruskal-Wallis (lorsque les conditions d'application de l'ANOVA: normalité des populations et égalité des variances-populations ne sont pas satisfaites) pour tester si les différences entre groupements végétaux sont significatives. De plus, la contribution en surface terrière a été aussi calculée pour les deux principales espèces caractéristiques des groupements végétaux et a fait l'objet de comparaison entre ces derniers par des ANOVA à un facteur fixe (groupement végétal). Par ailleurs, l'indice de green a été déterminé pour apprécier l'arrangement spatial des arbres par groupement végétal. En ce qui concerne la régénération, elle a été analysée en déterminant la densité de régénération par stade de développement (plantules, juvéniles et jeunes arbres), par groupement et de façon globale.

2.3.4 ÉTABLISSEMENT DES STRUCTURES EN DIAMÈTRE ET EN HAUTEUR DES ARBRES DANS LES GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Les structures en diamètre sont révélatrices des événements liés à la vie des peuplements [21]. En effet, l'étude du regroupement des tiges par catégories de grosseur constitue un bon instrument d'appréciation de la dynamique des populations des essences ligneuses [24]. Ainsi, pour chacun des groupements végétaux, les structures en diamètre ont été établies. La distribution à trois paramètres a (paramètre de seuil), b (paramètre d'échelle) et c (paramètre de forme) de Weibull [25] a été ajustée aux structures observées. Des analyses log-linéaire ont été réalisées pour tester l'adéquation globale entre les distributions observées et celle théorique. Il a été alors possible à partir de ces paramètres de tirer des conclusions sur l'état de conservation des groupements végétaux. Par ailleurs, les structures en hauteur des arbres ont été établies pour chacun des groupements végétaux, puis ajustées à la distribution théorique à trois paramètres de Weibull.

Les analyses statistiques ont été réalisées dans le logiciel R version 3.5.3 [26] et le niveau de signification statistique a été fixé à 5 %. Les structures en diamètre ont été établies dans le logiciel Minitab version 14 [27].

Tableau 1. *Caractéristiques dendrométriques utilisées*

Paramètres dendrométriques	Formules	Descriptions
Densité du peuplement (N en arbres/ha)	$N = \frac{n}{s}$	n : nombre total d'arbres par plateau s : surface d'un plateau en ha
Diamètre moyen (D_g en cm)	$D_g = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^2}$	n : nombre d'arbres du plateau d_i : diamètre (cm) de l'arbre i
Surface terrière (G en m ² /ha)	$G = \frac{0,0001}{4s} \pi \sum_{i=1}^n d_i^2$	d_i : diamètre en centimètre (cm) de l'arbre i du plateau et s : surface du plateau en ha
Hauteur moyenne de Lorey (H_L en m)	$H_L = \frac{\sum_{i=1}^n g_i h_i}{\sum_{i=1}^n g_i} \quad \text{avec} \quad g_i = \frac{\pi}{4} d_i^2$	g_i : surface terrière de l'individu i h_i : hauteur totale de l'individu i
Contribution en surface terrière (C_s en %)	$C_s = 100 \frac{G_{pi}}{G}$	G_{pi} : surface terrière des individus de l'espèce i et G : surface terrière de l'ensemble des individus du plateau
Densité de régénération (N_r en plants/ha)	$N_r = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 dr_i \quad \text{avec} \quad dr_i = \frac{n_i}{sq}$	dr_i : densité de régénération dans le quadrat i , n_i : nombre de régénération et sq : surface du quadrat en ha

Les hauteurs fût et totale ont été adaptées de la formule de la hauteur moyenne de Lorey.

Source: [28]

3 RESULTATS

3.1 TYPOLOGIE DES GROUPEMENTS VÉGÉTAUX ET COMPOSITION FLORISTIQUE

La valeur de "stress" du positionnement multidimensionnel non métrique (NMDS), indice révélant la qualité de l'ordination, est de 0,196 (< 0,20) indiquant la fiabilité de l'ordination. Les résultats obtenus montrent une relative discrimination des plateaux au regard des formations végétales et de la stratification a priori de la végétation de la forêt (Figure 2). Le premier axe discrimine les

placeaux des peuplements fermés (G4 et G2: placeaux respectivement installés en forêt dense et en forêt galerie) des placeaux des peuplements ouverts (G3 et G1: placeaux respectivement installés en savanes arborée et arbustive et en forêt claire et savane boisée), suggérant un gradient de complexité structurale. Le deuxième axe oppose les placeaux de forêt dense et de savane arborée et arbustive aux placeaux de forêt galerie et de forêt claire et savane boisée, les premiers présentant les plus faibles richesses spécifiques globales (64 et 75 respectivement pour les groupements G3 et G4 contre 81 et 100 respectivement pour les groupements G1 et G2). Cette tendance est confirmée par la richesse spécifique moyenne par placeau ($12,91 \pm 26,55$ et $11,14 \pm 26,19$ respectivement pour les groupements G3 et G4 contre $14,55 \pm 20,23$ et $12,45 \pm 30,71$ respectivement pour les groupements G1 et G2) (Tableau 2), indiquant ainsi un gradient inverse de diversité spécifique.

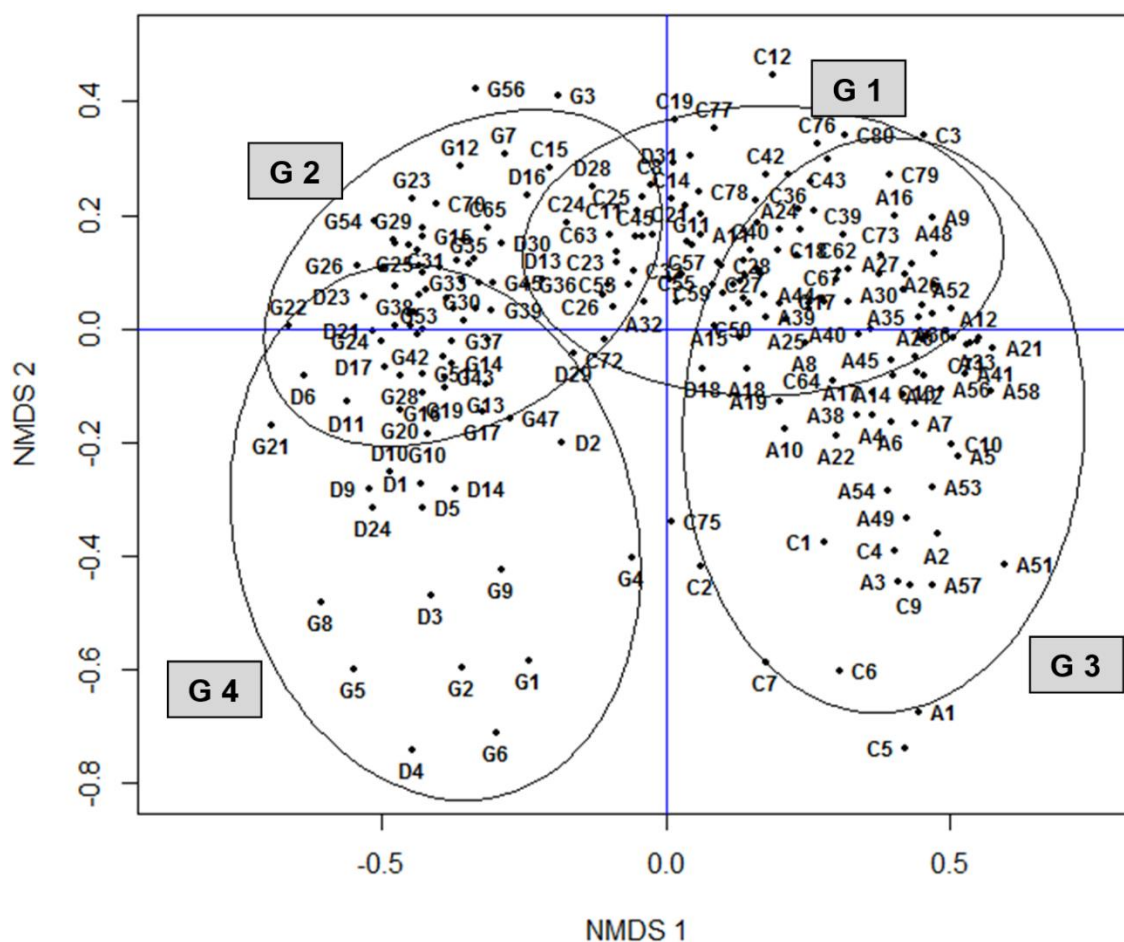


Fig. 2. Diagramme d'ordination du positionnement multidimensionnel non métrique des 234 relevés phytosociologiques effectués dans la forêt classée de Pénessoulou

Légende: G (relevé effectué en forêt galerie), D (relevé effectué en forêt dense), C (relevé effectué en forêt claire et savane boisée) et A (relevé effectué en savane arborée et arbustive).

Les plus grands chevauchements des ellipses de confiance sont observés entre les groupements G4 et G2 d'une part et les groupements G3 et G1 d'autre part, indiquant une similarité entre la composition floristique de ces groupements. L'absence de chevauchement entre les groupements G3 et G4 et le faible chevauchement des ellipses de confiance observé entre les groupements G1 et G2 révèlent une relative dissimilarité dans la composition floristique de ces groupements. Ces résultats sont confirmés par l'indice de similarité de Sokal et Sneath, indiquant une similarité relativement forte de la composition floristique des groupements G4 et G2 (0,30; 55 espèces en commun) et des groupements G3 et G1 (0,42; 54 espèces en commun); la plus faible similarité étant observée entre les groupements G3 et G4 (0,18; 32 espèces en commun). Le groupement G2 est le plus diversifié (100 espèces ligneuses) alors que le groupement G3 était le moins diversifié (64 espèces ligneuses), des tendances intermédiaires étant obtenu pour les autres groupements. Les valeurs élevées pour l'indice de diversité de Shannon et l'équitabilité de Piélou indiquent une bonne répartition de la végétation ligneuse entre les quatre groupements végétaux (Tableau 2).

En somme, ces différents résultats obtenus conduisent à retenir que la FCP regroupe quatre groupements végétaux:

- Forêt claire et savane boisée à *Vitellaria paradoxa* et *Uapaca togoensis* (G1) avec 81 espèces ligneuses;
- Galerie forestière à *Anogeissus leiocarpa* et *Cola gigantea* (G2) avec 100 espèces ligneuses;
- Savanes arborée et arbustive à *Vitellaria paradoxa* et *Parinari curatellifolia* (G3) avec 64 espèces ligneuses;
- forêt dense sèche à *Anogeissus leiocarpa* et *Lonchocarpus sericeus* (G4) avec 75 espèces ligneuses.

Tableau 2. Paramètres de diversité spécifique des groupements végétaux: moyenne (Moy.), coefficient de variation (Cv), valeur de probabilité (Prob.) et valeur globale

Paramètres	G1 (n = 78)		G2 (n = 71)		G3 (n = 55)		G4 (n = 22)		Prob.
	Moy.	Cv	Moy.	Cv	Moy.	Cv	Moy.	Cv	
Richesse spécifique moyenne (S_m , Espèces)	14,6	20,2	12,5	30,7	12,9	26,6	11,1	26,2	0,000
Richesse spécifique globale (S , Espèces)	81,0	-	100,0	-	64,0	-	75,0	-	-
Diversité de Shannon (H , Bits)	4,6	-	5,1	-	4,4	-	5,2	-	-
Equitabilité de Pielou, E_q	0,7	-	0,8	-	0,7	-	0,8	-	-

n = nombre de relevés

Ces groupements végétaux renferment globalement 149 espèces végétales ligneuses réparties en 104 genres et 36 familles avec des différences entre les groupements végétaux. Les familles les plus représentées en terme de nombre de genres sont Fabaceae réparties en 24 genres dont: i) Leguminosae Caesalpinoideae avec 12 genres (*Afzelia*, *Berlinia*, *Burkea*, *Cassia*, *Daniellia*, *Delonix*, *Detarium*, *Erythrophleum*, *Isobertinia*, *Piliostigma*, *Senna* et *Tamarindus*); ii) Leguminosae Mimosoideae comportant 6 genres (*Acacia*, *Albizia*, *Entada*, *Leucaena*, *Parkia* et *Prosopis*); iii) Leguminosae Papilionoideae contenant 6 genres (*Andira*, *Lonchocarpus*, *Millettia*, *Pericopsis*, *Pterocarpus* et *Aganope*). Ensuite vient la famille Rubiaceae répartie en 8 genres (*Crossopteryx*, *Fadogia*, *Mitragyna*, *Morinda*, *Pavetta*, *Sarcocephalus*, *Sericanthe* et *Tricalysia*), Malvaceae répartie en 6 genres (*Bombax*, *Ceiba*, *Christiana*, *Cola*, *Dombeya* et *Sterculia*) et Anacardiaceae comprenant en 5 genres (*Anacardium*, *Lannea*, *Mangifera*, *Sclerocarya* et *Spondias*). Les genres les plus représentés en terme de nombre d'espèces sont *Ficus* avec 9 espèces; *Combretum* et *Terminalia* avec 5 espèces chacun. Les cinq principales espèces les plus écologiquement importantes dans chaque groupement végétal sont présentées à la figure 3.

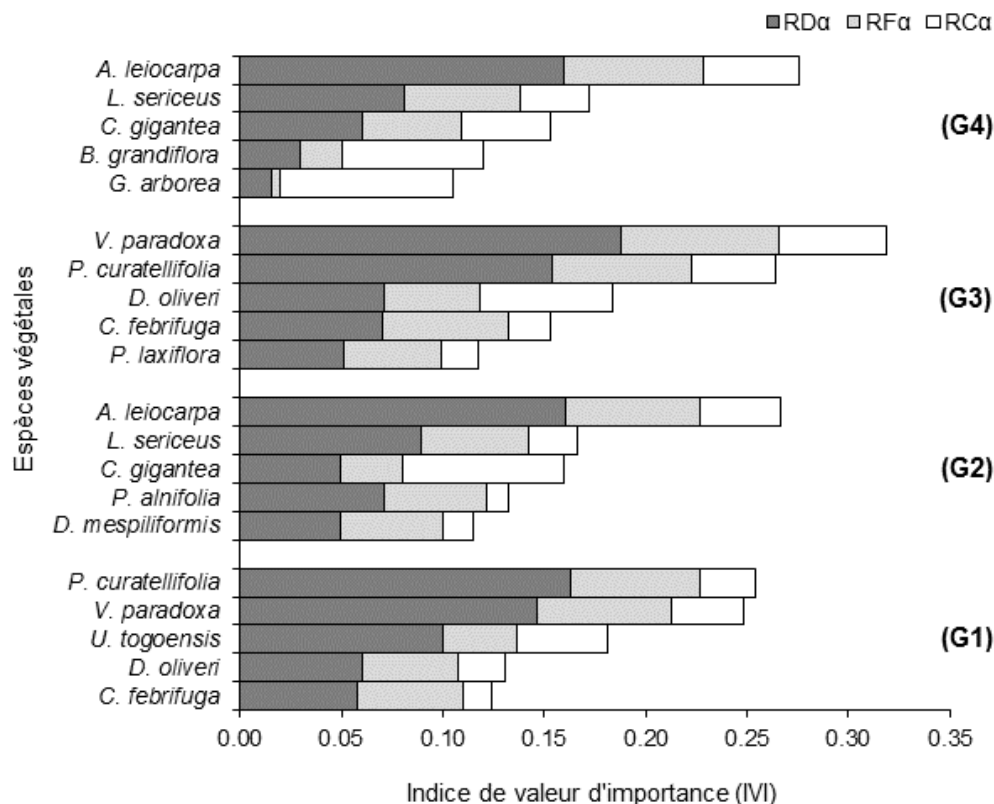


Fig. 3. Principales espèces caractéristiques des groupements végétaux

3.2 CARACTÉRISTIQUES DENDROMÉTRIQUES DU PEUPLEMENT LIGNEUX

3.2.1 VARIABILITÉ À TRAVERS LES GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Les deux principales espèces caractéristiques des groupements végétaux sont: *Vitellaria paradoxa* et *Uapaca togoensis* pour G1, *Anogeissus leiocarpa* et *Cola gigantea* pour G2, *Vitellaria paradoxa* et *Parinari curatellifolia* pour G3 et *Anogeissus leiocarpa* et *Lonchocarpus sericeus* pour G4 (Figure 3). Les résultats issus des analyses de variance (ANOVA) et des tests de Kruskal-Wallis (Tableau 3) indiquent que tous les paramètres dendrométriques (densité d'arbres, diamètre moyen, surface terrière et hauteur totale) varient significativement ($Prob. < 0,05$) selon les groupements végétaux pour le peuplement global (Tableau 3). L'analyse comparative des caractéristiques dendrométriques des groupements végétaux (Tableau 3) révèle que le groupement G 4 présente globalement les valeurs les plus élevées ($D = 31,82$ cm et $G = 27,37$ m²/ha) alors que le groupement G 3 en présente les plus faibles valeurs ($D = 19,73$ cm, $G = 12,70$ m²/ha et $H_L = 9,88$ m). Toutefois, en ce qui concerne la densité d'arbres, le groupement G1 présente la valeur la plus élevée (510,77 tiges/ha) alors que le groupement G4 présente la valeur la plus faible (347,73 tiges/ha), les arbres les plus hauts étant observés dans le groupement G2 ($H_L = 17,74$ m). Par ailleurs, l'indice de Green varie de 0,009 à 0,037 indiquant un arrangement spatial aléatoire des arbres au sein des groupements végétaux quel que soit le groupement végétal considéré. Les résultats révèlent que la première espèce caractéristique était plus nombreuse dans les groupements G1 (75 tiges/ha) et G3 (77,5 tiges/ha). En revanche, les individus de la première espèce caractéristique étaient plus gros (diamètre > 33 cm), plus hauts (hauteur totale > 15 m) et avaient une meilleure contribution en surface terrière (contribution > 23 %) dans les groupements G2 et G4. Concernant la deuxième espèce caractéristique, ses individus étaient plus gros dans le groupement G1 (diamètre > 48 cm) plus nombreux dans le groupement G2 (densité > 90 tiges/ha) et plus hauts dans le groupement G4 (hauteur totale > 14 m).

Tableau 3. Paramètres dendrométriques des groupements végétaux et de leurs principales espèces caractéristiques: moyenne (Moy.), coefficient de variation (Cv) et valeur de probabilité (Prob.)

Paramètres	G1 (n = 78)		G2 (n = 71)		G3 (n = 55)		G4 (n = 22)		Prob.
	Moy.	Cv	Moy.	Cv	Moy.	Cv	Moy.	Cv	
Première espèce caractéristique									
N, tiges/ha	75,0	68,1	57,0	88,12	77,5	54,6	55,5	116,2	-
D, cm	20,5	29,5	33,3	32,53	19,6	17,9	32,2	50,5	-
G, m²/ha	2,4	59,6	5,7	71,03	2,3	53,2	6,5	88,9	-
Cs, %	16,0	61,2	23,6	71,80	20,0	61,5	28,8	86,5	-
H _L , m	9,6	25,5	18,6	18,31	8,9	18,0	15,3	30,5	-
Deuxième espèce caractéristique									
N, tiges/ha	46,0	89,8	90,4	79,0	63,3	87,8	28,2	130,8	-
D, cm	48,3	59,7	22,0	33,3	17,1	20,8	32,8	42,6	-
G, m²/ha	9,5	119,0	3,2	73,2	1,8	93,4	4,8	124,1	-
Cs, %	60,3	74,3	11,6	45,1	13,6	78,1	16,7	115,6	-
H _L , m	8,8	35,3	11,1	23,35	8,0	19,0	14,4	32,6	-
Peuplement global									
N, tiges/ha	510,8	27,4	355,8	29,81	412,0	36,3	347,7	28,9	0,000
D, cm	20,1	14,7	31,7	30,60	19,7	14,3	31,8	18,6	0,000
G, m²/ha	15,8	25,3	27,3	44,04	12,7	41,2	27,4	32,8	0,000
H _L , m	10,7	20,4	17,7	21,02	9,9	22,2	17,3	17,2	0,000
Indice de Green	0,009	-	0,012	-	0,024	-	0,037	-	-

N: Densité, D: Diamètre moyen, G: Surface terrière, Cs: Contribution en surface terrière, H_L: Hauteur totale.

3.2.2 LA RÉGÉNÉRATION

Les résultats de l'évaluation de la régénération dans les groupements végétaux sont présentés dans le tableau 4. Les valeurs de probabilité issues des analyses de variance révèlent des différences significatives ($Prob. < 0,05$) de densités de régénération globales entre les groupements végétaux. La plus forte densité de régénération est observée dans le groupement G 3 (55163 tiges/ha) alors que la plus faible densité de régénération est observée dans le groupement G 4 (31000 tiges/ha). Par ailleurs, de fortes décroissances de densité de régénération sont observées des premiers aux derniers stades de régénération.

Tableau 4. Densité de régénération globale et selon les classes de régénération au sein des groupements végétaux (GV)

GV	Densité 1 ^{ère} classe		Densité 2 ^{ème} classe		Densité 3 ^{ème} classe		Densité globale	
	Moy.	Cv	Moy.	Cv	Moy.	Cv	Moy.	Cv
G1 (n=78)	50533,3	42,7	933,3	112,7	183,3	187,7	51900,0	41,8
G2 (n=71)	34731,9	50,5	1978,3	89,5	108,7	260,1	36869,6	46,5
G3 (n=55)	53558,1	45,7	1023,3	127,9	267,4	143,4	55162,8	44,5
G4 (n=22)	29150,0	42,4	1200,0	100,5	50,0	316,2	31000,0	42,2
Prob.	0,000		0,000		0,025		0,000	

1^{ère} classe: plantules, 2^{ème} classe 2: juvéniles et 3^{ème} classe: jeunes arbres.

3.3 STRUCTURES EN DIAMÈTRE ET EN HAUTEUR DES GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Les structures en diamètre établies pour chacun des groupements végétaux (Figure 4) montrent globalement une distribution en "J renversé", caractéristique des peuplements multispécifiques avec des valeurs du paramètre de forme, c de la distribution de Weibull toutes proches de 1. Les individus de diamètre compris entre 10 et 40 cm sont largement les plus dominants avec une relative dominance de ceux de la première classe de diamètre ($10 \text{ cm} \leq d < 20 \text{ cm}$) pour ces différentes structures. Par ailleurs, les individus de diamètre supérieur à 50 cm sont quasi-absents au sein des groupements G 1 et G 3. L'analyse log-linéaire effectuée (tableau 5) pour chacune des structures en diamètre indique un bon ajustement des données à la distribution de Weibull pour les différents groupements végétaux ($\text{Prob.} > 0,05$) au seuil de 5 %.

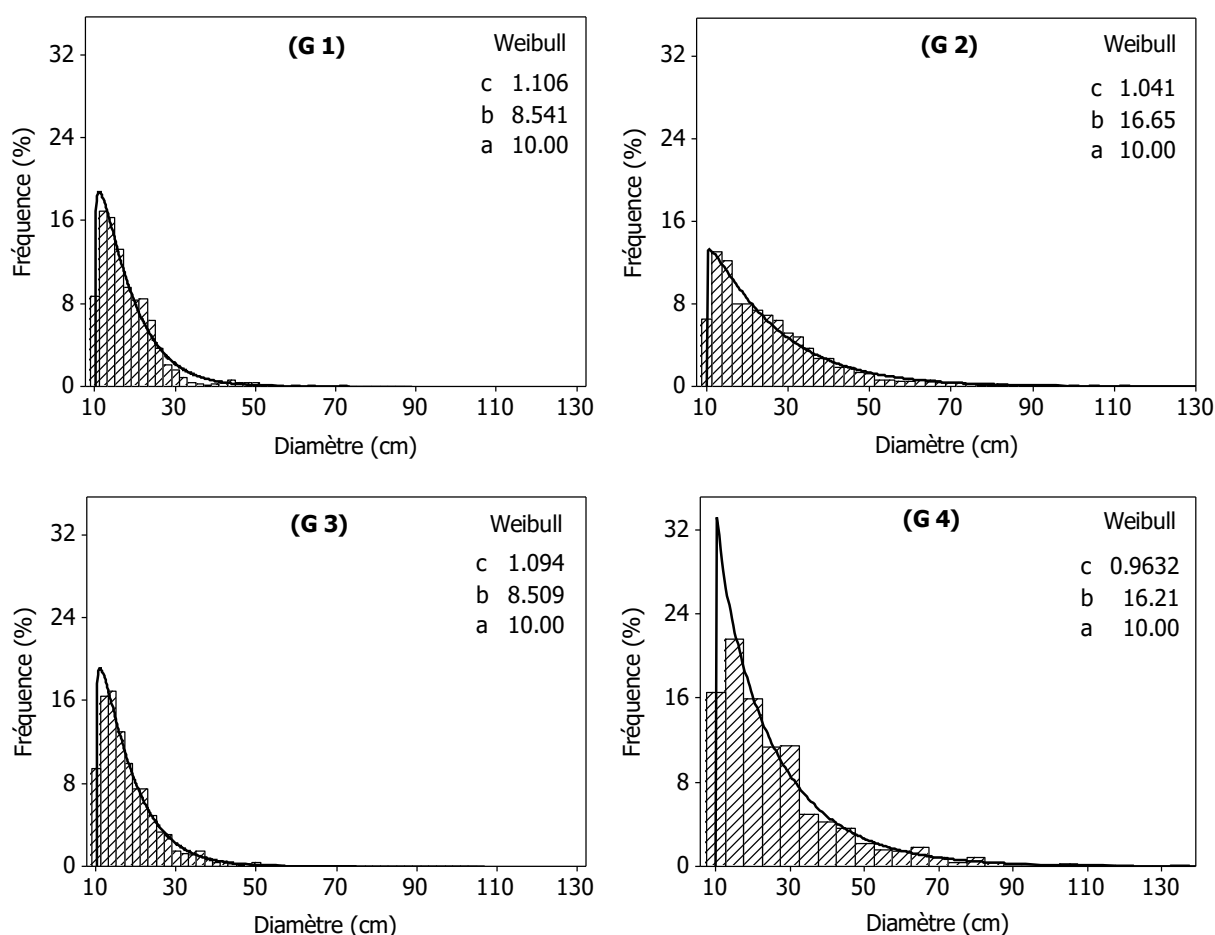


Fig. 4. Structures en diamètre des groupements végétaux

Tableau 5. Ajustement de la distribution de Weibull aux distributions observées: résultats des analyses log-linéaires

Structures observées	G1 (n = 78)		G2 (n = 71)		G3 (n = 55)		G4 (n = 22)	
	Chi-2	Prob.	Chi-2	Prob.	Chi-2	Prob.	Chi-2	Prob.
Structure en diamètre	0,97	0,325	0,30	0,582	0,07	0,790	1,74	0,187
Structure en hauteur	872,60	0,000	1,70	0,192	135,45	0,000	0,37	0,545

En ce qui concerne les structures en hauteur, il ressort de l'analyse de la figure 5 que les distributions en hauteur des quatre types de peuplement sont en cloche et présentent une dissymétrie gauche. Les arbres de hauteur comprise entre 5 et 15 m sont les plus représentés au sein des groupements. L'analyse log-linéaire effectuée (tableau 5) pour chacune des structures en hauteur indique globalement un bon ajustement des données à la distribution de Weibull pour les différents groupements végétaux (*Prob.* > 0,05) au seuil de 5 %.

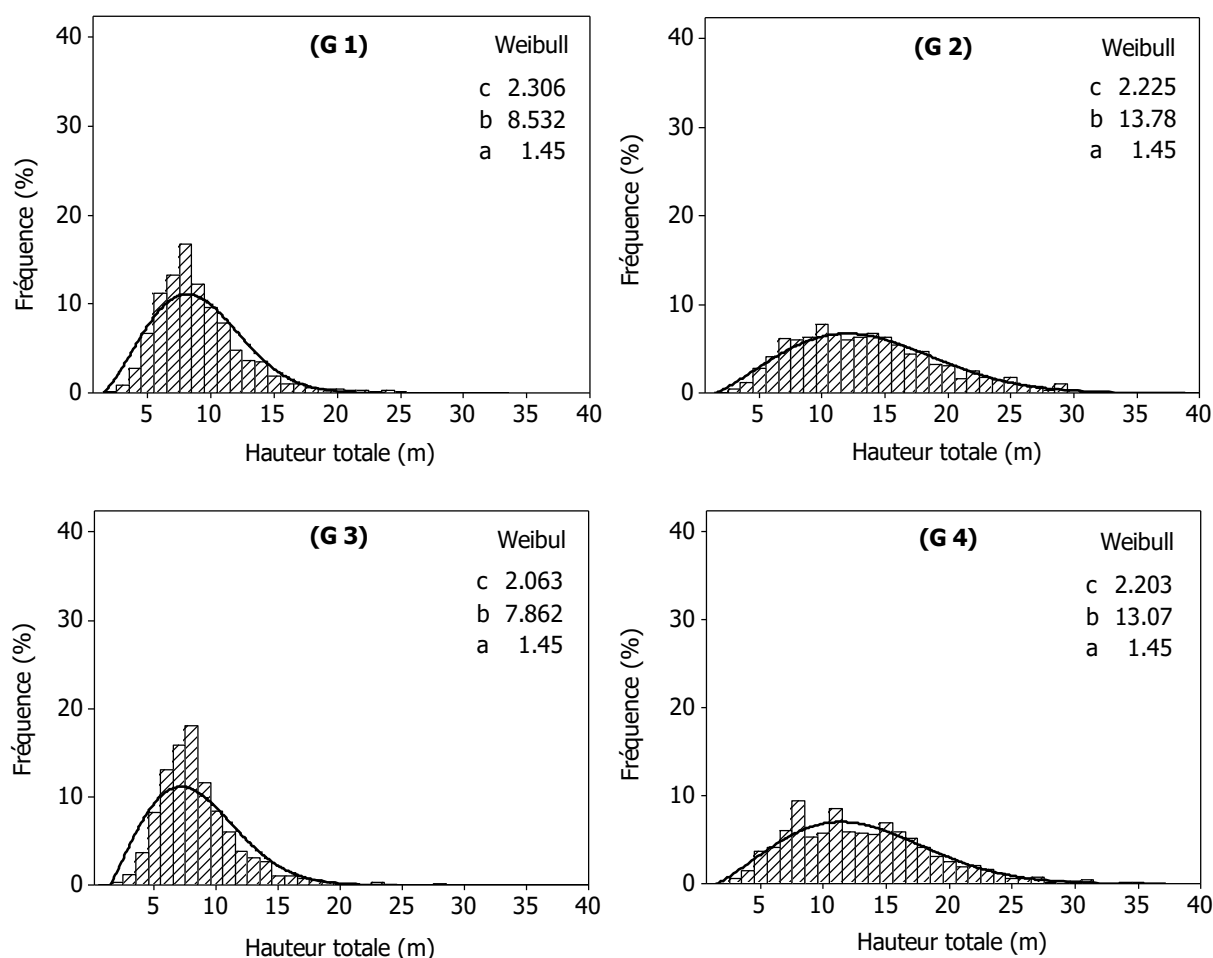


Fig. 5. Structures en hauteur des groupements végétaux

4 DISCUSSION

La connaissance de la diversité floristique et de la structure d'une forêt présente un grand intérêt en matière de gestion forestière. Elle traduit d'une part la réaction de celle-ci aux conditions de croissance et aux opérations sylvicoles pratiquées [29] et d'autre part les actions futures à engager.

4.1 COMPOSITION FLORISTIQUE DES GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

La diversité floristique de la Forêt Classée de Pénésoulou (FCP) a révélé l'existence de quatre (04) groupements végétaux: le premier (G1) caractérisé par les espèces de forêt claire et savane boisée, le deuxième (G2) par les espèces de forêt galerie, le troisième (G3) par les espèces de savanes arborée et arbustive et le quatrième (G4) par les espèces de forêt dense sèche. Parmi les principales

espèces caractéristiques des groupements végétaux figure *Anogeissus leiocarpa*, une des espèces actives pour la conservation au Bénin et fortement recherchée par les exploitants forestiers ([1], [9], [30]). Il en est de même pour *Cola gigantea* et *Daniellia oliveri* qui font actuellement l'objet d'exploitation à des fins de bois d'œuvre et de service.

La diversité floristique de la FCP est moins prononcée que celle de la Forêt Classée de Lama constituée de cinq groupements végétaux avec 392 espèces végétales ligneuses [31], que celle des forêts galeries de la Réserve Biosphère de la Pendjari également constituée de cinq groupements végétaux renfermant 350 espèces [32]. Néanmoins, la FCP bénéficie d'un micro climat avantageux avec une pluviosité totale annuelle variant entre 1.165 à 1.300 mm [10], largement au dessus de la moyenne de la zone soudano-guinéenne qui est d'au plus 1.100 mm [33]. Les causes probables de cette situation pourraient être le relâchement, voire l'abandon de la surveillance de la FCP contre l'exploitation forestière illégale après la fin du projet Projet de Restauration des Ressources Forestières en 2003. Ce qui a rendu vulnérables les formations ouvertes et celles situées le long des voies et pistes bordant la réserve. Ces écarts pourraient être également expliqués par la différence des relevés effectués dans chaque cas (présente étude: relevés écologiques; [31] et [32]: relevés phytosociologiques).

Par contre, la diversité floristique de la FCP est meilleure à celle de la Forêt Classée de Wari-Marou située dans la même zone climatique où la forêt claire et la savane boisée ne compaient que 34 et 33 espèces ligneuses respectivement [1]. Ce massif, compte tenu de sa taille n'a véritablement pas bénéficié d'actions rigoureuse de protection contrairement à la FCP qui récemment a été mise sous gestion de l'Office National du Bois avec des exploits de surveillance.

4.2 CARACTÉRISTIQUES DENDROMÉTRIQUES DES GROUPEMENTS VÉGÉTAUX ET RÉGÉNÉRATION

La caractérisation dendrométrique des groupements végétaux montre que bien que dans la même zone climatique et donc exprimant les mêmes potentiels, les paramètres dendrométriques varient significativement entre les formations végétales, suggérant que les facteurs climatiques ne sont pas les seuls facteurs qui gouvernent l'abondance et la croissance des espèces. Les arbres sont plus gros dans la forêt dense sèche (groupement G4) que dans la forêt claire et savane boisée (groupement G1) avec des tendances intermédiaires pour la forêt galerie et la savane boisée (groupements G2 et G3). Le premier (G1) caractérise par les espèces de forêt claire et savane boisée, le deuxième (G2) par les espèces de forêt galerie, le troisième (G3) par les espèces de savanes arborée et arbustive et le quatrième (G4) par les espèces de forêt dense. La compétition inter-spécifique semble donc être beaucoup plus marquée dans le groupement végétal G1 que dans le groupement végétal G4; ce qui est en concordance avec les valeurs de densité d'arbres obtenues (510,8 tiges/ha en G1 et 347,7 tiges/ha en G4). Les densités obtenues dans cette étude sont supérieures à celles rapportées pour la Forêt Classée de Wari-Marou par [28] (203 à 225 arbres/ha), par [34] (80 et 109 arbres/ha) et par [1] (182 à 189 arbres/ha); témoignant des bonnes conditions écologiques dans la FCP.

L'exploitation illégale de bois pourrait également justifier les différences observées entre les groupements G1 et G4. En effet, les formations végétales ouvertes sont plus faciles d'accès aux exploitants illégaux pour la coupe des arbres ainsi que leur débardage des forêts. Ces formations sont également celles les plus exposées; bordant l'axe principal Pénésoulou-Djougou ou situées à proximité de village riverain (Niario). La topographie des formations ouvertes offre moins accidentée que celle des formations denses (forêt galerie, forêt dense) souvent parsemées de ravins et de ruisseaux. Cet état de chose les rend plus vulnérables aux manœuvres des exploitations illicites. Dans ces formations, on note la présence de trouées qui témoignent des faits d'écroulement par exploitation illégale entraînant la dégradation desdites unités. D'ailleurs, les individus de diamètre compris entre 10 et 40 cm sont les plus représentés avec une rareté des individus de diamètre supérieur à 50 cm, notamment dans les groupements végétaux G1 et G3. Cette tendance étant contraire dans les peuplements voisins de forêts denses (G4) présentant globalement des meilleures caractéristiques dendrométriques. Toutefois, les arbres des groupements végétaux identifiés sont plus gros que ceux des groupements similaires de la Réserve de Biosphère de la Pendjari ($D = 17,8$ cm) rapportés par [35], témoignant des bonnes conditions climatiques dont jouit la forêt et de la facilité de la célérité que pourrait offrir sa reconstitution si les mesures sont prises dans ce sens.

Les résultats de l'analyse de la structure en hauteur de la FCP indiquent que les arbres de hauteur comprise entre 5 et 15 m sont les plus représentés au sein des groupements végétaux. Les allures en cloche observées sont similaires à celles rapportées par [36] et [31] pour la Forêt Classée de Lama. Cette régénération observée (densité moyenne variant entre 31.000 et 55.163 tiges/ha) montre que la FCP regorge d'un potentiel émergent important avec un stade de développement varié. Cela témoigne des bonnes conditions écologiques de la forêt qui favorisent la survie et la transition de la régénération des diamètres inférieurs vers les ceux supérieurs mais également des actions récentes de protection des ressources. En effet, la récupération de la gestion de cette forêt par l'Office National du Bois (ONAB) depuis l'année 2012, mettant en place un arsenal puissant de sécurisation (maillage par les postes de gardiennage) offre une tranquillité qui milite en faveur de cette régénération.

5 CONCLUSION ET SUGGESTIONS

Cette étude a permis d'évaluer la composition floristique de la FCP. Elle a aussi permis de caractériser la structure de quatre groupements végétaux identifiés (G1, G2, G3 et G4) dans la FCP. Les principaux résultats obtenus montrent que la diversité floristique et les caractéristiques dendrométriques diffèrent selon les groupements végétaux. Pour les structures en diamètre et en hauteur des

quatre groupements végétaux, une distribution en "J renversé" et une distribution en cloche ont été respectivement obtenues. La quasi-totalité des structures s'ajustent bien à la distribution de Weibull.

Ces résultats traduisent que par le passé la FCP a fait l'objet de bonne conservation ce qui est témoigné par la présence de stations de formations végétales fermées. Un courant contraire a été observé dans les formations ouvertes faciles d'accès enclin à une perte de la biodiversité forestière illustrée par la composition et les paramètres dendrométriques de ces formations fragilisées. Par ailleurs, les derniers efforts menés au profit de la protection de la FCP par l'Office National du Bois (installé depuis 8 ans) sont traduits dans les tendances progressives de régénération observée.

En termes de perspectives de gestion durable et pour mieux contrôler les pressions anthropiques sur la forêt, il est suggéré une actualisation du plan d'aménagement avec une meilleure prise en compte des questions de:

- La conservation de la biodiversité;
- La création d'une zone tampon tout autour de la forêt classée;
- Le renforcement de la surveillance;
- L'enrichissement des trouées dans les formations savanicoles après une étude des conditions édaphiques desdites zones;
- La redynamisation de la gestion participative impliquant les populations locales riveraines dans la gestion quotidienne de la forêt assortie d'un programme minimum de sensibilisation.

REFERENCES

- [1] A.G. Amagnide, V. Salako, M. Donou Hounsode, F. Sinsin, V. Orékan, C. Dan and R. Glèlè Kakaï, "Ecological consequences of anthropogenic pressure in Wari-Marou Forest Reserve (Benin, West Africa)," *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, vol. 109, no. 2, pp. 271-289, 2015.
- [2] FAO (Food and Agriculture Organization), *Evaluation des ressources forestières mondiales 2010*, Rapport principal. Rome, Italie, 2010.
- [3] FAO (Food and Agriculture Organization), *Situation des forêts du monde*, 1997. Rome, Italie, 1997.
- [4] WRI (World Resources Institute), *2011-2012 annual report*, 2012.
- [5] FAO (Food and Agriculture Organization), *Situation des forêts du monde 2009*. Rome, Italie, 2009.
- [6] J.C. Ganglo and B. de Foucault, "Plant communities, forest site identification and classification in Toffo reserve, Southern Benin," *Bois et forêts des tropiques*, vol. 288, pp. 25-38, 2006.
- [7] ONAB (Office National du Bois) et DGFRN (Direction Générale des Forêts et Ressources Naturelles), *Révision du Plan d'Aménagement Participatif de la Forêt Classée de Pénésoulou, période 2013 – 2032. Volume 1: Plan d'Aménagement Participatif*, 2014.
- [8] A.C. Adomou, B. Sinsin and L.J.G. van der Maesen, "Phytosociological and chorological approaches to Phytogeography: A study at meso-scale in Benin," *Systematics and Geography of Plants*, vol. 76, pp. 155–178, 2006.
- [9] DGFRN (Direction Générale des Forêts et Ressources Naturelles), *Rapport d'activités 2010*. Cotonou, Bénin, 2010.
- [10] Adomou, A. C., *Phytogeographie et flore*. In: B. Sinsin, and D. Kampmann (Eds.), *Atlas de la biodiversité de l'Afrique de l'Ouest*, vol. 1, Benin, BIOTA, Cotonou et Frankfurt/Main., pp 134-143, 2011.
- [11] A. Akoègninou, W.J. van der Burg, L.J.G. van der Maesen, *Flore analytique du Benin*. UAC, Cotonou, République du Benin. Backhuys Publishers, Wageningen, 2006.
- [12] A. C. ADOMOU, *Vegetation patterns and environmental gradients in Benin: Implications for biogeography and conservation*, PhD thesis. Wageningen University, 2005.
- [13] J. Braun-Blanquet, *Plant sociology: The study of plant communities*. McGraw Hill, New York and London, 1932.
- [14] J.R. Bray and J.T. Curtis, "An ordination of the upland forest communities in southern Wisconsin," *Ecological Monographs*, vol. 27, pp. 325–349, 1957.
- [15] J. Oksanen, F.G. Blanchet, R. Kindt, P. Legendre, P.R. Minchin, R.B. O'Hara, G.L. Simpson, P. Solymos, M.H.H. Stevens, H. Wagner, 2016. *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.3-3. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- [16] D.W. Roberts, 2016. *labdsv: Ordination and Multivariate Analysis for Ecology*. R package version 1.8-0. <https://CRAN.R-project.org/package=labdsv>.
- [17] R.H. Økland, "Are Ordination and Constrained Ordination Alternative or Complementary Strategies in General Ecological Studies?," *Journal of Vegetation Science*, vol. 7, no. 2, pp. 289-292, 1996.
- [18] J.T. Curtis and R.P. Macintosh, "An upland forest continuum in the prairie forest border region of Wisconsin," *Ecology*, vol. 32, pp. 476–496, 1951.
- [19] R.R. Sokal and P.H. Sneath, "Principles of numeric taxonomy", San Francisco, W.H. Freeman, 1963.
- [20] F. Gillet, *La Phytosociologie synusiale intégrée, Guide méthodologique*. Document du Laboratoire d'Ecologie Végétale1. Neuchâtel (Suisse): Institut de Botanique, 2000.
- [21] J. Rondeux, *La mesure des peuplements forestiers*, 2ème eds. Gembloux (Belgique): Presses agronomiques de Gembloux, 1999.

- [22] A. Kangas and M. Maltamo, *Forest Inventory: Methodology and Applications*. Dordrecht (England): Springer, 2007.
- [23] M.J. Crawley, *The R book*, 2nd Ed. Chichester, John Wiley & Sons, Ltd, 2013.
- [24] A.B. Cunningham, *Applied Ethnobotany. People, Wild Plant Use and Conservation*. People and Plant Conservation manuals. Earthscan Publications Ltd. London, 2001.
- [25] N.L. Johnson, S. Kotz, *Distributions in Statistics: Continuous Univariate Distributions*. New York: John Wiley & Sons, 1970.
- [26] R Core Team, 2019. R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- [27] Minitab, *Minitab for Windows*, Release 11. Minitab, Inc., State College, PA, USA, 1996.
- [28] R. Glèlè Kakaï and B. Sinsin, "Structural description of two Isoberlinia dominated vegetation types in the Wari-Marô Forest Reserve (Benin)," *South African Journal of Botany*, vol. 75, pp. 43–51, 2009.
- [29] A. Van Laar and A. Akça, *Forest mensuration*. Springer, Dordrecht, 2007.
- [30] J. D. T. Akpona, A. E. Assogbadjo, A. B. Fandohan and R. Glèlè Kakaï, "Inventory and multicriteria approach to identify priority commercial timber species for conservation in Benin," *Bois et Forêts des Tropiques*, vol. 333, pp. 5-16, 2017.
- [31] S. O. Folahan, E. F. Dissou, G. S. Akouehou, B. A. Tente and M. Boko, "Ecologie et structure des groupements végétaux des écosystèmes de la Lama au Sud-Bénin," *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 12, no. 1, pp. 322-340, 2018.
- [32] M. Oumorou, A. K. Natta, A. C. Adomou and B. de Foucault, "Caractéristiques écologiques et phytosociologiques des galeries forestières de la Réserve de biosphère de la Pendjari (nord-ouest du Bénin)," *Acta botanica gallica*, vol. 158, no. 1, pp. 125-139, 2011.
- [33] B. Sinsin, O. Eyog Matig, A.E. Assogbadjo, O.G. Gaoue, T. Sinadouwirou, "Dendrometric characteristics as indicators of pressure of *Azizelia africana* Sm. trees dynamics in different climatic zones of Benin," *Biodiversity and Conservation*, vol. 13, pp. 1555–1570, 2004.
- [34] A. E. Assogbadjo, R. L. Glèlè Kakaï, B. Sinsin and D. Pelz, "Structure of *Anogeissus leiocarpa* Guill., Perr. natural stands in relation to anthropogenic pressure within Wari-Marô Forest Reserve in Benin," *African Journal of Ecology*, vol. 48, no. 3, pp. 644-653, 2010.
- [35] T. Houehanou, V. Kindomihou, M. Houinato and B. Sinsin, "Dendrometrical characterization of a firewood plant species (*Anogeissus leiocarpa* (DC.) Guill. & Perr.) in Pendjari Biosphere Reserve and its surrounding land use area (Benin, Western Africa)," *Tropentag*. In Conference on International Agricultural Research for Development, Göttingen, 2007.
- [36] W. Bonou, R. Glèlè Kakaï, A. E. Assogbadjo, H. N. Fonton and B. Sinsin, "Characterisation of *Azizelia africana* Sm. habitat in the Lama forest reserve of Benin," *Forest ecology and management*, vol. 258, no. 7, pp. 1084-1092, 2009.

Analyse de la variabilité des perturbations climatiques du bassin versant du fleuve Sassandra à Soubré (Ouest de la Côte d'Ivoire)

[Analysis of climate disruption variability in the Sassandra River basin limited at Soubré (Western Côte d'Ivoire)]

*Kouao Armand Anoh¹, Zilé Alex Kouadio¹, Daouda Konaté², Kouakou Bernard Djè², Kouakou Hervé Kouassi¹,
Tanoh Jean-Jacques Koua¹, and Brou Dibi¹*

¹UFR Environnement, Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé,
Daloa, Côte d'Ivoire

²Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique, Abidjan, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: Like the West African countries, the Sassandra river basin limited at Soubré is facing the challenges of climate change. Seen anthropogenic activities have contributed to modifying the climate in a sustainable way, it is important to have as clear an idea as possible of possible climate changes. The main objective of this study is to characterize the variability of climate parameters in order to sustainably manage its impacts on basin development projects. So, the methodology adopted is divided into 2 steps: the characterization of climate variability and the characterization of climate change to 2030 and 2050 horizon. The results of climate variability showed a decrease in rainfall and an increase in temperatures. In terms of climate change, under scenario RCP4.5, minimum and maximum temperatures are projected to increase by 1.4°C to 1.8°C by 2030 and 2050. At the same horizons and under scenario RCP8.5, there is an average increase of 1.4°C to 2.4°C. In terms of annual rainfall, projections show an upward trend of 1% by 2030 and a downward trend of 1% by 2050 under the RCP4.5 scenario. The scenario RCP8.5 predicts an increase in precipitation with rates greater than 35% at both future horizons.

KEYWORDS: Climate variability, climate change, scenario RCP4.5, scenario RCP8.5, Sassandra river basin, Côte d'Ivoire.

RESUME: A l'instar des pays de l'Afrique de l'Ouest, le bassin versant du fleuve Sassandra à Soubré fait face aux défis des changements climatiques. Vu que les activités anthropiques ont contribué à modifier le climat de façon durable, il convient d'avoir une idée aussi claire que possible des possibles modifications du climat. L'objectif principal de cette étude est de caractériser la variabilité des paramètres du climat afin de gérer de manière soutenable ses impacts sur les projets de développement du bassin. La méthodologie adoptée se décline 2 étapes: la caractérisation de la variabilité climatique et la caractérisation des changements climatiques aux horizons 2030 et 2050. Les résultats de la variabilité climatique ont montré une baisse des hauteurs de pluie et une augmentation des températures. Au niveau du changement climatique, sous le scénario RCP4.5, il est prévu une hausse des températures minimales et maximale de 1,4 °C à 1,8 °C aux horizons 2030 et 2050. Aux mêmes horizons et sous le scénario RCP8.5, on note une augmentation moyenne de 1,4 °C à 2,4 °C. Au niveau des précipitations annuelles, les projections donnent une tendance à la hausse de 1 % à l'horizon 2030 et une tendance à la baisse de 1% à l'horizon 2050 sous le scénario RCP4.5. Le scénario RCP8.5 prévoit une hausse des précipitations avec des taux supérieurs à 35 % aux deux horizons futurs.

MOTS-CLEFS: Variabilité climatique, changement climatique, scénario RCP4.5, scénario RCP8.5, bassin versant de Sassandra, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Les diverses répercussions immédiates et à long terme du climat sur l'homme et son milieu ont accentué l'attention de nombreux scientifiques et organisations dans le monde sur la nécessité de s'intéresser à ses fluctuations [1], [2]. Bien que

l'Afrique soit le continent le moins responsable de ces perturbations climatiques, elle est particulièrement vulnérable à ses conséquences. Ainsi, l'impact le plus significatif en Afrique de l'Ouest, a été la réduction des précipitations depuis les années 1960 [3], [4], [5], [6]. Cette péjoration pluviométrique à laquelle est confronté l'Afrique de l'Ouest et la Côte d'Ivoire en particulier affecte le développement de la quasi-totalité des secteurs de l'économie nationale, tributaires des ressources en eau [7]. De même, des études réalisées en Côte d'Ivoire par [3], [1], [8], [4], [9], [10], [11] aux échelles régionale et locale ont mis en exergue les impacts de la variabilité et du changement climatique sur les ressources en eau et les écosystèmes y afférant. Selon Kouassi [9], tous les bassins du pays présentent une vulnérabilité importante aux déficits pluviométriques. Le bassin versant du fleuve Sassandra n'est pas épargné. En effet, bénéficiant de la construction de deux barrages hydro-électriques (Buyo et Soubré), le bassin versant du fleuve Sassandra, connaît de fortes variations saisonnières des écoulements. Cette baisse des débits est consécutive à la baisse de la pluviométrie et à l'augmentation de la température [12]. À la péjoration des paramètres climatique, s'ajoute le couvert forestier du bassin qui a subi une régression [13], [14]. Cette étude se donne pour objectif de déterminer les différentes fluctuations du climat afin de gérer de manière soutenable ses impacts sur les projets de développement du bassin.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le bassin versant du fleuve Sassandra à Soubré est situé à l'Ouest de la Côte d'Ivoire précisément entre 5°30' et 9°55' de latitude Nord et, 6°01' et 8°55' de longitude Ouest. Il prend sa source dans la région de Beyla en Guinée et draine une superficie de 62 670 km² dont 8 000 km² en territoire Guinéen (Figure 1). Le fleuve est long de 440 km et coule globalement dans la direction Nord-sud. Le bassin est balayé par trois régimes pluviométriques que sont le régime tropical de transition atténué, le climat équatorial de transition atténué et le régime de montagne. La configuration géographique allongée du bassin lui confère un relief peu contrasté composé de plateau et de massifs montagneux où des altitudes varient entre 200 et 1 180 m. Les formations géologiques du bassin versant du Sassandra regroupent deux grandes entités géologiques que sont les roches magmatiques et les roches métamorphiques. Le couvert végétal est dominé par une alternance de savane, de forêts (dense et décidue) et de zones agricoles.

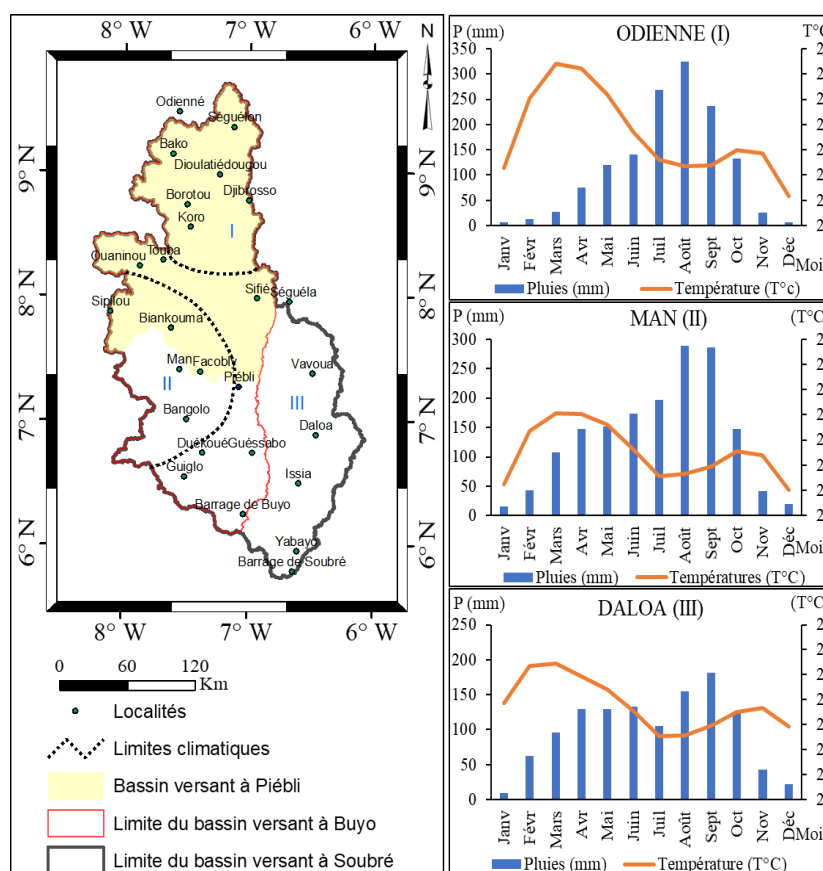


Fig. 1. Localisation du bassin versant du fleuve Sassandra à Soubré

2.2 DONNÉES ET OUTILS UTILISÉS

Deux types de données ont été utilisés: les données d'observation ou données climatologiques (précipitations moyennes et températures minimale et maximale) et les données de sorties de modèles climatiques. Ces données d'observation sont au pas de temps mensuel et couvrent la période 1971-2010. Elles concernent cinq (05) stations dont trois postes synoptiques et deux postes pluviométriques qui sont spatialement bien réparties sur le bassin. À l'instar des données d'observation, les données de simulation et de projection couvrent respectivement les périodes 1981-2010 et 2021-2060. Elles ont été fournies par la quatrième version du modèle atmosphérique régional du Rossby Center (RCA4) en fonction des scénarii RCP4.5 et RCP8.5 du projet CMIP5. Les logiciels ArcGIS et R Studio sont les outils utilisés. ArcGIS pour réaliser les cartes et R Studio pour analyser et simuler les données statistiques descriptives des séries temporelles, moyennes, écartypes, indices, tendance, variances, régression simple et multiples, coefficient de corrélation, etc....

2.3 CARACTÉRISATION DE LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE

2.3.1 CALCUL DES PARAMÈTRES STATISTIQUES

La caractérisation des variations du climat récent observé est faite à travers le calcul des principaux paramètres statistiques (moyenne et écart type) des différentes composantes, à savoir les valeurs interannuelles, les valeurs annuelles et les valeurs mensuelles interannuelles. L'indice climatique est utilisé pour déterminer la variabilité décennale et annuelle du climat. Les méthodes des fréquences et des anomalies sont utilisées respectivement pour déterminer les séquences de sécheresse et la comparaison des normales 1981-2010 et 1971-2000. L'analyse des tendances climatiques est faite par simple régression linéaire et par calcul de la différence relative entre décades. La période observée est divisée en trois décennies. Ainsi, la précipitation moyenne de la première décennie est Pd1, la précipitation moyenne de la deuxième décennie est Pd2 et la précipitation moyenne de la troisième décennie est Pd3.

2.3.2 CALCUL DES INDICES CLIMATIQUES

Plusieurs indices tels que, l'indice de Nicholson (I), l'indice standardisé de précipitations (SPI), l'indice de pluviosité (IP) et l'Indice Standardisé de Précipitation et d'évapotranspiration (SPEI) sont proposés dans la littérature [15], [16], [17], [18] permettent d'analyser la variabilité climatique. Pour cette étude, c'est le SPEI qui est retenu. Cet indice s'avère robuste que les autres car il corrige les insuffisances des autres indices en prenant en compte à la fois les précipitations et l'évapotranspiration potentielle [18]. Aussi, permet-il d'analyser le processus de sécheresse sous-jacents [19]. Son calcul nécessite des données de précipitations et d'évapotranspiration potentielle (ETP) mensuelles. Les données d'ETP ont été calculées par la formule de Hargreaves and Samani [20]. Cette formule (Eq. 1) exprime l'ETP (mm) en fonction de la température et latitude.

$$ETP = 0,0023Ra (T_{mean} + 17,8) (T_{max} - T_{min})^{0,5} \quad (\text{Eq.1})$$

Où, Ra = équivalent en eau du rayonnement extraterrestre (mm jour-1); T_{mean} = la température moyenne de l'air (°C); T_{max} = température maximale de l'air (°C); T_{min} = température minimale de l'air (°C).

Une fois l'ETP déterminé, Vicente-Serrano, Beguería [18] suggèrent pour le calcul des valeurs du SPEI, une distribution logistique à trois paramètres. Selon ces auteurs, la distribution la mieux ajustée de la série de bilans hydriques climatiques standardisés à toutes les échelles de temps est sélectionnée en utilisant le Test des critères de Kolmogorov-Smirnov. Basée sur cette distribution, l'équation 2 est définie.

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x+\gamma} \right)^\beta \right]^{-1} \quad (\text{Eq.2})$$

Où: α est le paramètre de forme, β est le paramètre d'échelle et γ est le paramètre d'origine.

Le SPEI (Eq. 3) peut être obtenu sous la forme des valeurs normalisées de $F(x)$ comme suit:

$$SPEI = w - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3} \quad (\text{Eq.3})$$

Où :

$$W = \sqrt{-2 \ln (F(x))} \text{ pour } F(x) < 0,5 \text{ et } W = \sqrt{-2 \ln (1 - F(x))} \text{ pour } F(x) > 0,5$$

Les paramètres C_0 , C_1 , C_2 , d_1 , d_2 , d_3 sont des constantes avec $C_0 = 2,51551$, $C_1 = 0,80285$, $C_2 = 0,01033$, $d_1 = 1,43279$, $d_2 = 0,18927$ et $d_3 = 0,00131$.

Ainsi, des valeurs positives de SPEI indiquent des conditions d'humidité supérieures à la moyenne, tandis que des valeurs négatives indiquent des conditions de sécheresse. Un événement de sécheresse est défini lorsque la valeur de SPEI est inférieure ou égale à (-1) au cours d'une certaine période.

2.3.3 MÉTHODE D/*-ES FRÉQUENCES DES SÉQUENCES DE SÉCHERESSE

La fréquence cumulée (F) de sécheresse donne une idée sur l'occurrence des séquences sèches. Elle s'obtient en faisant le rapport de l'effectif cumulé des séquences sèches par l'effectif total.

2.3.4 MÉTHODE DES ANOMALIES

La méthode des anomalies permet d'apprécier la variation du climat. Le principe consiste en une comparaison des normales des séries observées de la période de référence 1981-2010 et les séries de la période 1971-2000 entre elles. Une anomalie peut être positive pour indiquer une élévation du paramètre dans le futur et négative pour indiquer l'inverse. L'anomalie dans le cas des précipitations est définie comme le rapport de la différence des précipitations mensuelles interannuelles relatives aux deux normales pluviométriques sur celle des séries de données de la normale précédente. Elle s'exprime en pourcentage et son expression est donnée par l'équation (4):

$$\rho P(\%) = \frac{P_{obs} - P_{hist}}{P_{hist}} \times 100 \quad (\text{Eq.4})$$

P_{obs} : précipitations de la période de référence (1981-2010) et P_{hist} : précipitations de la période (1971-2000).

Dans le cas des températures, l'anomalie est définie comme étant la différence en degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$) entre les données historiques et celles représentant la période de référence (Eq. 5).

$$\delta T(^{\circ}\text{C}) = T_{obs}(^{\circ}\text{C}) - T_{hist}(^{\circ}\text{C}) \quad (\text{Eq.5})$$

Où: T_{obs} : température de la période de référence (1981-2010) et T_{hist} : température de la période (1971-2000).

2.4 CARACTÉRISATION DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES AUX HORIZONS 2030 ET 2050

La méthodologie utilisée requiert d'abord d'évaluer la fiabilité des sorties du modèle, ensuite de corriger les données de sortie du modèle, d'évaluer la corrélation entre les données corrigées et observées et analyser les changements futurs aux horizons 2030 et 2050.

2.5 EVALUATION DE LA FIABILITÉ DES SORTIES DU MODÈLE CLIMATIQUE RÉGIONAL RCA4

La confiance dans la performance d'un modèle pour la production de scénarii climatiques futurs est élevée s'il est capable de reproduire correctement le climat présent. Ainsi, une comparaison est effectuée entre les données de pluie et de températures observées et simulées par le modèle. L'écart entre ces données observées et simulées constitue l'erreur commise par le modèle. Le calcul de l'erreur relative a été retenu comme critère numérique pour évaluer la performance du modèle RCA4. L'erreur relative (Er) permet donc de savoir si le modèle climatique surestime ou sous-estime les paramètres recherchés. Ce paramètre est estimé à travers l'équation 6.

$$Er = 100 \times \frac{(X_{cat} - X_{obs})}{X_{obs}} \quad (\text{Eq.6})$$

Avec: Er: erreur relative; Xcal: Valeur du paramètre calculée par le modèle; Xobs: Valeur du paramètre observée.

Si $Er > 0$ le modèle surestime le paramètre calculé;

Si $Er < 0$ le modèle sous-estime le paramètre calculé;

2.5.1 CORRECTION DES DONNÉES DE SORTIE DU MODÈLE

Les données de sortie du modèle climatique sont généralement biaisées. Ainsi, avant de les utiliser pour la modélisation climatique, elles doivent être corrigées. La correction des biais est possible à partir de la méthode delta. Cette approche est le plus souvent appliquée aux variables climatiques, telles que la pluie, la température et l'Evapotranspiration [21]. La méthode delta corrige des erreurs dites additives pour les températures (Eq. 7) et multiplicatives relatives aux précipitations (Eq. 8).

$$T_{scen,j,c} = T_{obs,j} + (T_{scen,m} - T_{ref,m,h}) \quad (\text{Eq.7})$$

$$P_{scen,j,c} = P_{obs,j} \times \left(\frac{P_{scen,m,f}}{P_{ref,m}} \right) \quad (\text{Eq.8})$$

Avec $T_{scen, j, c}$: température journalière corrigée; $T_{obs, j}$: température journalière observée; $T_{scen, m}$: température moyenne mensuelle interannuelle de la période considérée; $T_{scen, m, h}$: température moyenne mensuelle interannuelle de la période historique; $P_{scen, j, h}$: pluie journalière corrigée; $P_{obs, j}$: pluie journalière observée; $P_{scen, m, f}$: pluie moyenne mensuelle interannuelle sur la période future; $P_{ref, m}$: pluie moyenne mensuelle interannuelle sur la période de référence.

2.5.2 ÉVALUATION DE LA CORRÉLATION ENTRE LES DONNÉES CORRIGÉES ET OBSERVÉES

Le test de corrélation est utilisé pour évaluer la dépendance entre deux variables. La force d'association entre deux variables quantitatives est estimée par le coefficient de corrélation noté R . Le coefficient de corrélation R varie entre -1 à +1. S'il est supérieur en valeur absolue à 0,8; la corrélation entre les deux variables est significative. S'il est compris entre 0,5 et 0,8, la corrélation est modérée. Entre 0,2 et 0,5; elle est faible et très faible au-dessous. Un signe positif traduit une association « positive » et l'inverse; une association « négative ». L'hypothèse nécessaire à la validité de cette mesure est que la distribution de X et de Y soient conjointement normales (Eq. 9).

$$R = \frac{S_{XY}^2}{S_X \cdot S_Y} \quad (\text{Eq.9})$$

S_{XY}^2 est la covariance de X avec Y et S_X, S_Y sont les écart-types de chaque variable.

2.5.3 ANALYSE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

L'analyse du changement climatique futur s'appuie sur les méthodes des indices climatiques et celle des anomalies susmentionnées.

3 RÉSULTATS

3.1 ANALYSE DE LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE

L'analyse de l'indice standardisé des précipitations et de l'évapotranspiration (SPEI) aux différentes stations synoptiques considérées sur des échelles de temps de 12 et 24 mois (de 1981 à 2010) ont permis de mettre en évidence plusieurs alternance d'années sèches et humides sur l'ensemble du bassin (Figure 2). L'observation de la fréquence des épisodes de sécheresse montre qu'elle est différente d'une zone à une autre. Ainsi, le régime tropical de transition atténué (Odienné) semble être le plus affecté par les séquences de sécheresse (50 %) pendant que les autres régimes (équatorial de transition atténué (Daloa) et de montagne (Man)) apparaissent moins affectés avec respectivement des fréquences de 47 % et 43 %.

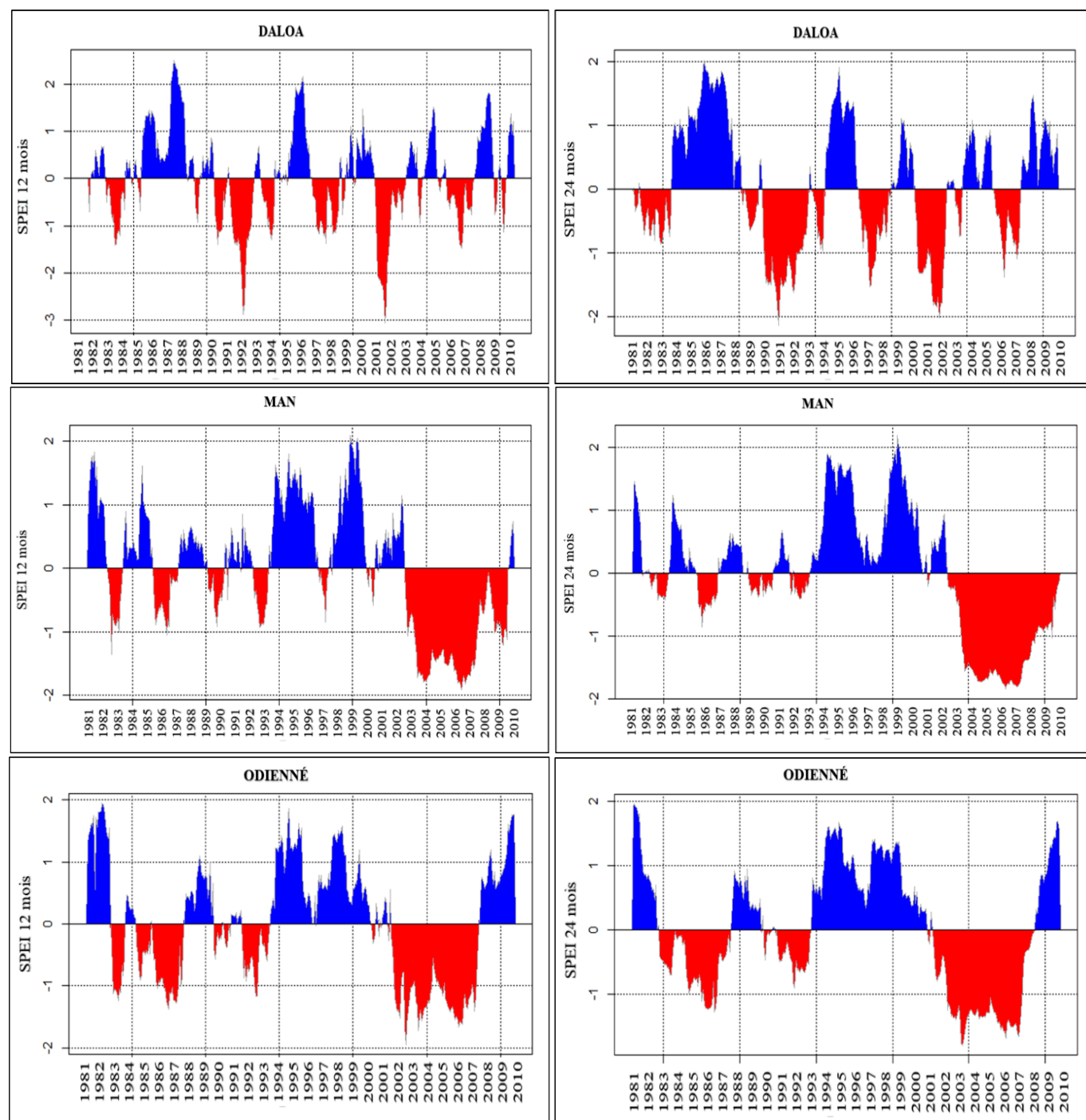


Fig. 2. Évolution temporelle des valeurs SPEI sur le bassin du Sassandra à Soubré

3.2 ANALYSE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE AUX HORIZONS 2030 ET 2050

3.2.1 FIABILITÉ DES PRÉCIPITATIONS ET TEMPÉRATURES ISSUES DU MODÈLE CLIMATIQUE RCA4

Les différents tests statistiques appliqués sur les données provenant du modèle climatique régional (MCR) RCA4 ont permis de montrer l'efficacité du modèle. Malgré de légères divergences d'allures au niveau des mois de juillet à septembre (Figure 3), le modèle a parfaitement reproduit la tendance de pluies observées. En effet, les courbes des valeurs observées et simulées présentent une bonne corrélation ($R^2 = 0,99$).

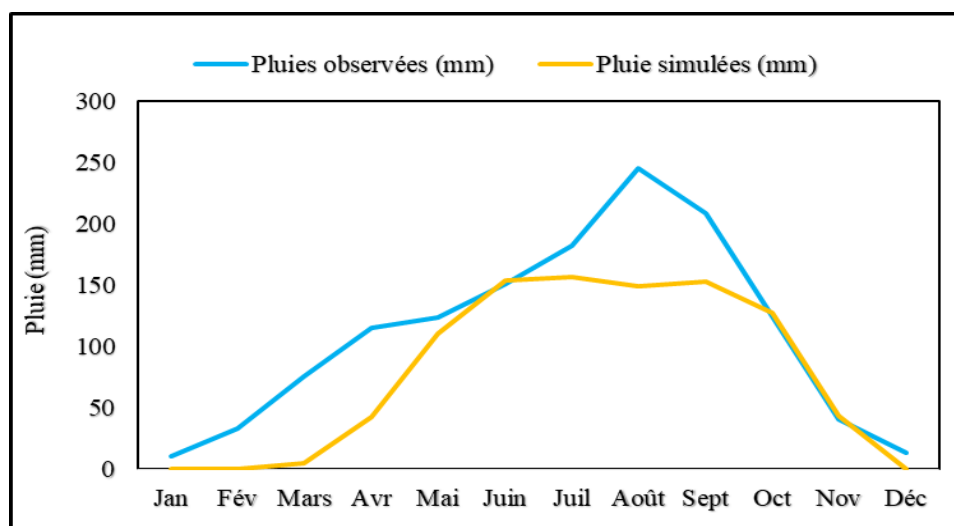


Fig. 3. Courbe comparative des précipitations moyennes mensuelles observées et simulées sur la période 1981-2010

Au niveau des températures (Figure 4), le modèle RCA4 a aussi fidèlement représenté la tendance des données observées. Cela s'est d'ailleurs traduit par de significatives corrélations entre les températures minimales ($R^2 = 0,89$) et maximales ($R^2 = 0,71$) observées et simulées.

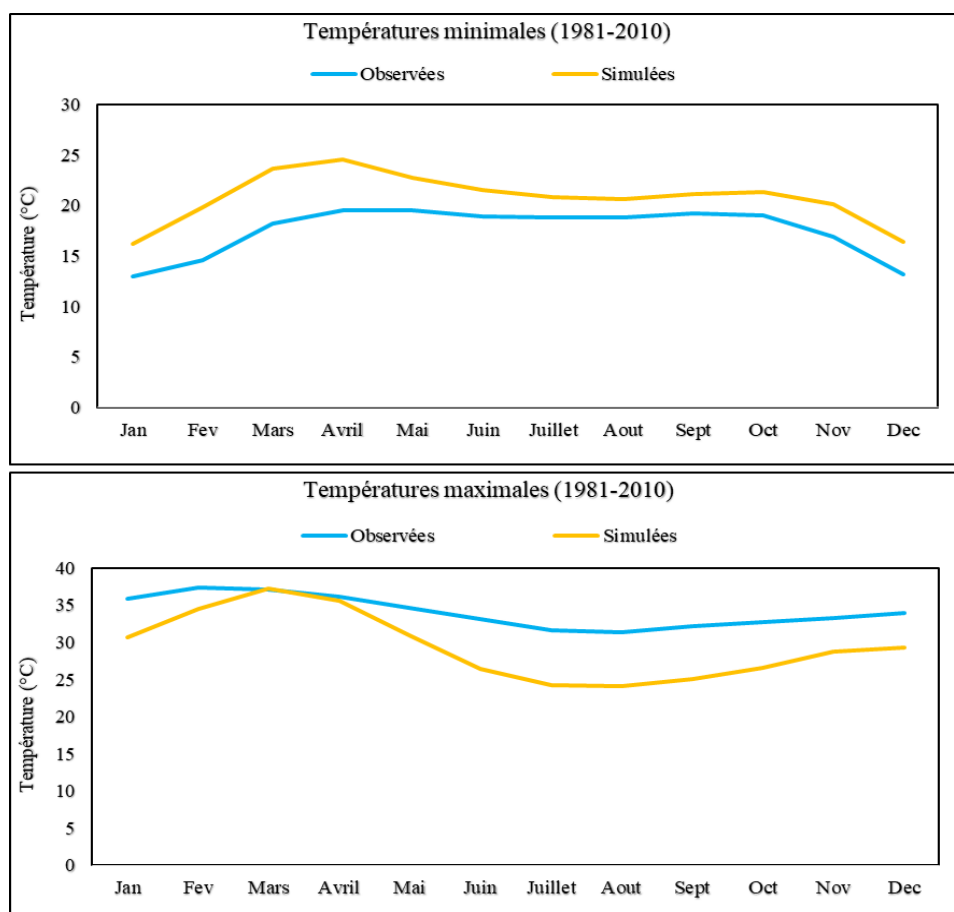


Fig. 4. Courbe comparative des moyennes mensuelles des températures minimales et maximales observées et simulées sur la période 1981-2010

3.2.2 ANALYSE DE LA VARIABILITÉ SAISONNIÈRE

La simulation du climat futur selon le scénario RCP4.5 (réaliste) montre une hausse des précipitations de 1 % (soit 8 mm) sur la période 2021-2040 et une baisse de 1 % (de 7 à 14 mm) sur la période 2041-2060 du bassin (Figure 5). Contrairement au scénario RCP4.5, le scénario RCP8.5 (pessimiste) prédit une hausse des précipitations avec un taux supérieur à 35 % (soit 497 mm) sur les deux horizons (2030 et 2050).

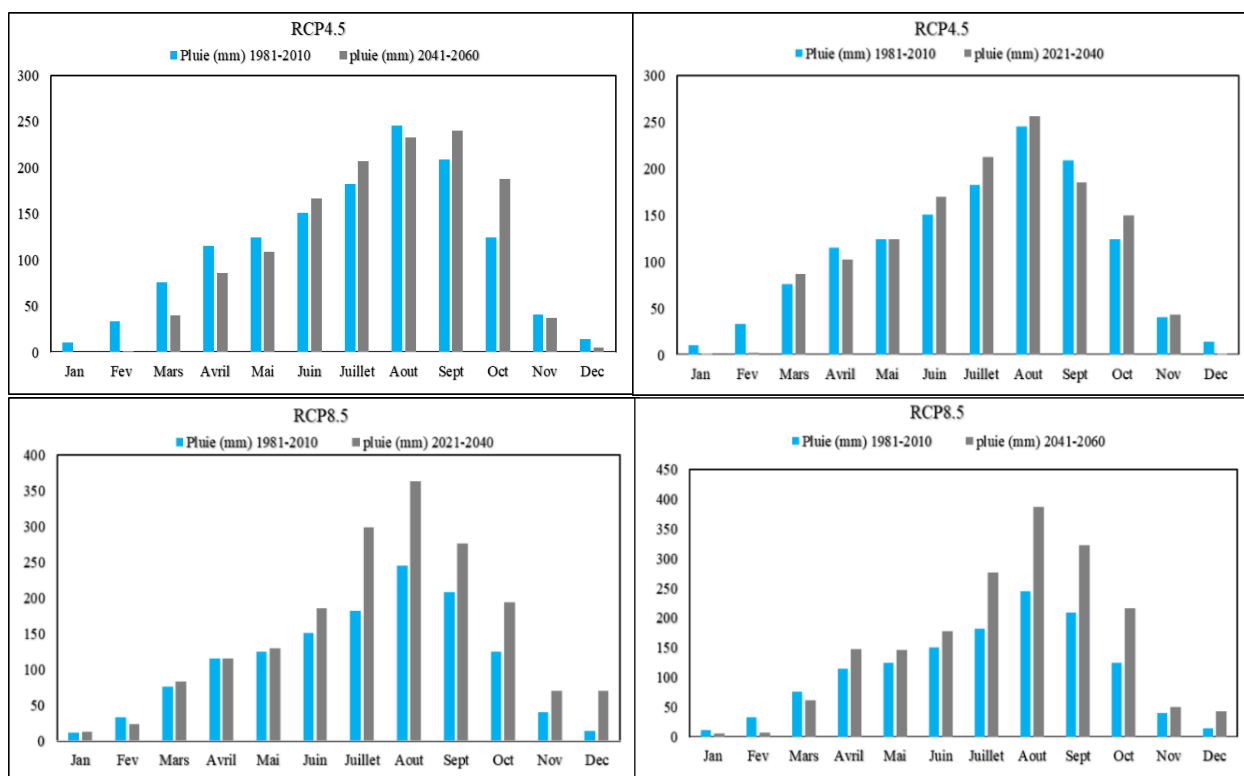


Fig. 5. Variation des précipitations moyennes mensuelles interannuelles observées et simulées

Au niveau des températures, les deux scénarii s'accordent sur une augmentation des températures (et 7). Le scénario d'émission RCP4.5 prévoit une augmentation des températures minimales de 1,4 °C et 1,8 °C respectivement à l'horizon 2030 et 2050. Cette augmentation a été également observée avec le scénario d'émission RCP8.5 qui met en évidence une hausse des températures minimales de 1,4 °C et 2,6 °C respectivement aux horizons 2030 et 2050 sur la zone d'étude.

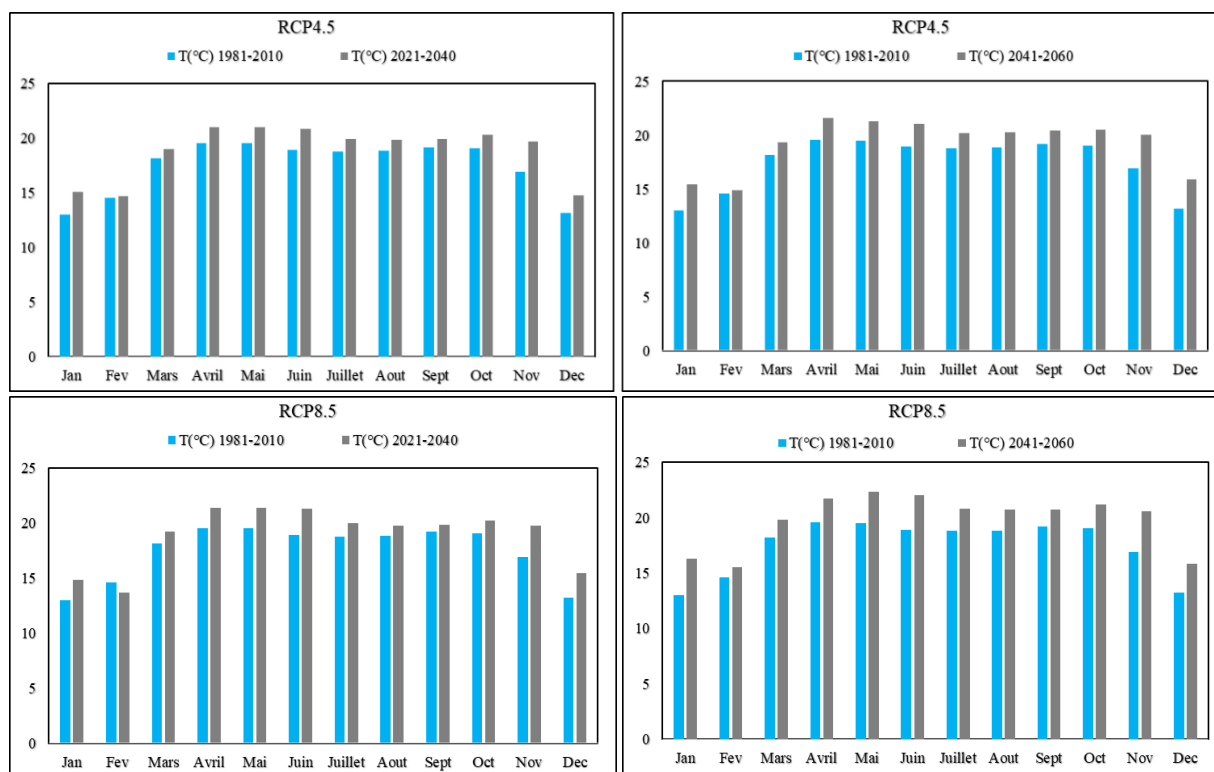


Fig. 6. Variation des températures minimales moyenne mensuelle interannuelles observées et simulées

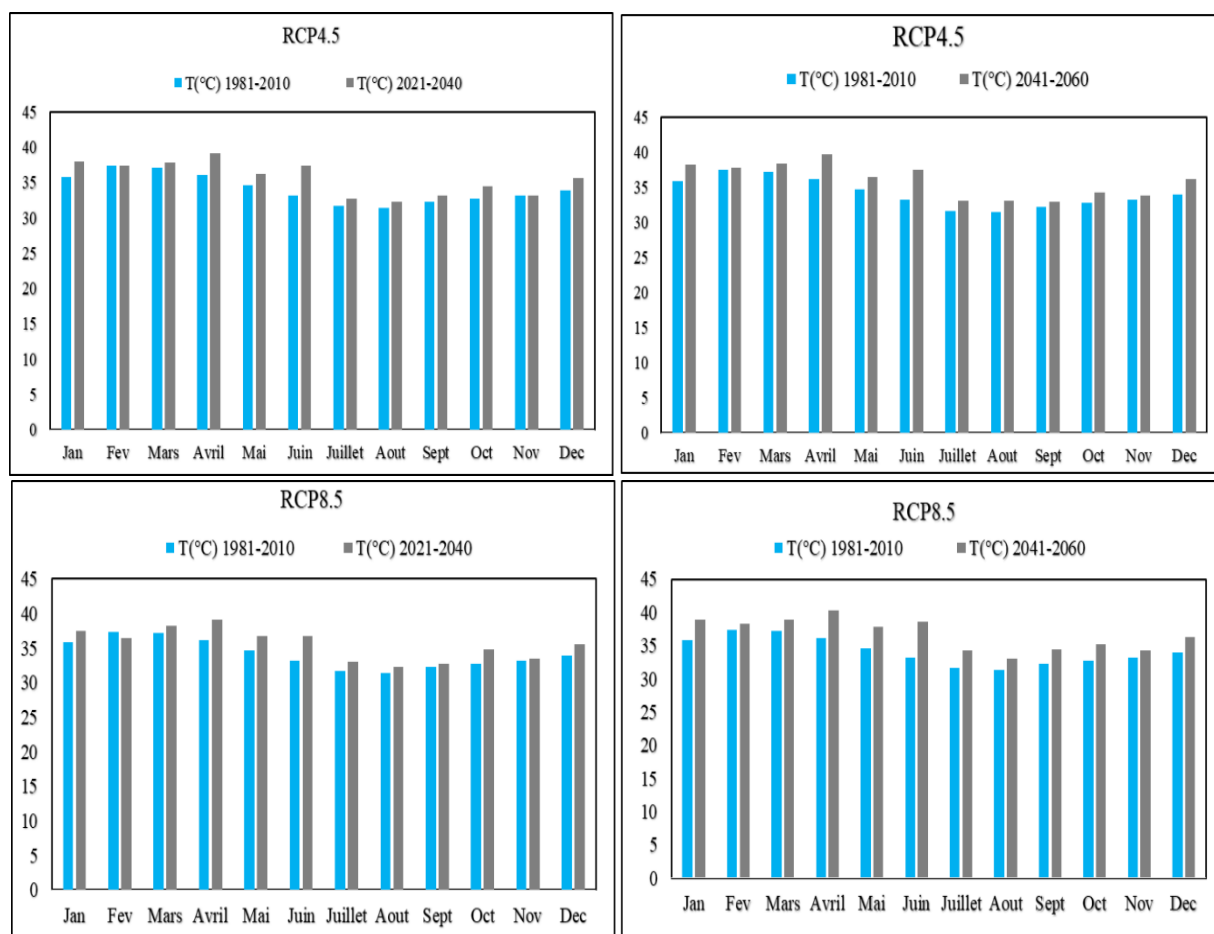


Fig. 7. Variation des températures maximales moyenne mensuelle interannuelles observées et simulées

4 DISCUSSION

La caractérisation des séries chronologiques sur le bassin versant du fleuve Sassandra à Soubré a révélé des variations notables du climat qui ont eu lieu sur la période 1981-2010. Ces variations se déclinent en une diminution des hauteurs annuelles des précipitations et une augmentation des températures. Les précipitations ont diminué de 7 % de la décennie (1981-1990) à la décennie (1991-2000) et de 13 % jusqu'à la décennie (2001-2010). Le déficit pluviométrique du bassin versant de Sassandra à Soubré est du même ordre de grandeur que ceux trouvés par Goula, Savané [4] sur les bassins du N'zi (13 %) et du N'zo (14 %). Toutefois, il est moins important que ceux de la zone soudano-sahélienne rapportés par Bamba, Diabate [22] et Paturel, Servat [23]. Au niveau des températures moyennes annuelles, l'analyse des tendances a montré une hausse de celles-ci avec une augmentation moyenne de 0,6 °C sur les 30 années d'observation. Elle est donc passée de 25,3 °C en 1981 à 25,9 °C en 2010. Des augmentations de température similaires ont été constatées dans les bassins de la Comoé et de Sassandra par [24], [25], [26]. Cette hausse des températures moyennes pourrait être causée par les émissions mondiales de gaz à effet de serre d'origine anthropique. La hausse des températures du bassin versant de Sassandra à Soubré est du même ordre de grandeur que ceux trouvés par [27], [28] en Afrique. En outre, l'analyse de l'indice standardisé des précipitations et de l'évapotranspiration (SPEI) a montré que le régime de montagne est le moins affecté par cette variabilité climatique. La faible amplitude des séquences de sécheresse du climat de montagne a été rapportée par Moron [29]. Selon ce chercheur, la présence de relief peut avoir un impact significatif sur les facteurs climatiques d'échelle régionale et globale d'une zone. Outre cet auteur, ces résultats ont une très grande similitude avec la plupart des études menées en Afrique de l'Ouest en générale et en Côte d'Ivoire en particulier par [3], [30], [31], [14], [32], [25], [33], [6], [11], [34]. Ces différentes variations du climat sont aussi en accord avec le rapport du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat [35] à l'intention des décideurs. Malgré de significatives corrélations entre les valeurs observées et simulées, le modèle a montré des limites. Ainsi, les erreurs de sorties du modèle RCA4 sur les données de pluie et de température simulées ont été évaluées sur la période de référence (1981-2010). Les faiblesses du modèle sont à la fois qualitatives et quantitatives. Les faiblesses et incertitudes d'ordre qualitatif du modèle se traduisent par les biais dans les séries de données projetées par rapport aux données observées. Concernant les aspects d'ordre quantitatif, elles concernent les écarts entre les données simulées et observées. En effet, le modèle surestime les températures minimales de 3,3°C et sous-estime les températures maximales de -4,7 °C. Les précipitations quant à elles sont aussi sous-estimées par le modèle (-29 %). Ces faibles incertitudes sur les températures s'expliquent par le fait qu'en l'absence de relief fortement accidenté, les températures ont une variabilité spatiale relativement homogène [25]. Selon Noblet, Faye [36], les modèles climatiques ne convergent pas tous sur les tendances futures des précipitations en Afrique de l'Ouest. Ainsi, le taux de variation des quantités de pluie est fonction des différents « futurs possibles » et dépend des hypothèses relatives aux scénarii d'émissions [25]. En outre, les précipitations restent la variable climatique la plus difficile à projeter, surtout dans le contexte Ouest-africain caractérisé par de fortes variabilités intra et interannuelles. Il y aura toujours des ambiguïtés dans l'acceptabilité des résultats du futur, particulièrement lorsque ces derniers sont basés sur des variables incertaines [37].

5 CONCLUSION

L'étude des tendances des données climatiques révèle des changements dans son ensemble. La tendance pluviométrique du bassin versant du fleuve Sassandra est à la baisse dans son ensemble. Le déficit pluviométrique (13 %) est accompagné d'une hausse des températures favorisant ainsi une expansion de la sécheresse sur l'ensemble du bassin du fleuve Sassandra à Soubré depuis les années 1971. Des trois régions climatiques du bassin, le climat tropical de transition (région d'Odienné) semble être le plus touché par cette variabilité climatique avec un taux de variation moyen des précipitations de -8 % et une augmentation des températures de 0,4 °C par an. On note également une alternance de périodes sèches et humides. Les périodes les plus humides se situent entre 1981 et 2000 avec une intensité modérée. Les années 2001 à 2010 sont quant à elles marquées par une sécheresse sévère sur tout le bassin avec des indices pluviométriques inférieurs à -1,99 par endroit. Les périodes sèches ont par ordre décroissant, une fréquence d'occurrence plus élevée en climat tropical de transition (région d'Odienné), en climat équatorial atténué (région de Daloa) et en climat de montagne (région de Man). La simulation du climat futur a été faite avec le modèle RCA4 à travers les scénarii d'émission des GES RCP4.5 (optimiste) et RCP8.5 (pessimiste). Les précipitations annuelles ont montré des tendances à la hausse de 1 % et à la baisse de 1 % respectivement pour les périodes 2021-2040 et 2041-2060 pour le scénario RCP4.5. Le scénario RCP8.5 prévoit une hausse des précipitations avec des taux supérieurs à 35 % sur les deux horizons futurs (2030 et 2050). Ces deux scénarii ont montré une hausse des températures sur la période 2021-2060.

REFERENCES

- [1] Ardoïn BS. Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne: Université Montpellier II (France), 2004.
- [2] Sighomnou D. Analyse et redéfinition des régimes climatiques et hydrologiques du Cameroun: perspectives d'évolution des ressources en eau: Université de Yaoundé 1, Cameroun, 2004.
- [3] Adja MG. Étude de l'état hydrique saisonnier du bassin versant de la Bagoé dans un contexte de variabilité climatique. Départements de Boundiali et Tengréla (milieux soudano-sahéliens au nord-ouest de la Côte d'Ivoire): Thèse unique, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 2009.
- [4] Goula BTA, Savané I, Konan B, Fadika V, Kouadio GB, "Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'zo et N'zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide)," *Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement*, vol. 7, no. 1, pp. 1-12, 2006.
- [5] Kouadio ZA. Dynamique de l'occupation du sol et comportement hydrologique. Cas des bassins versants côtiers de l'Agnéby et du Boubo: Université d'Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire, 2011.
- [6] Savané I, Coulibaly KM, Gioan P, "Variabilité climatique et ressources en eaux souterraines dans la région semi-montagneuse de Man," *Science et changements planétaires/Sécheresse*, vol. 12, no. 4, pp. 231-237, 2002.
- [7] Anoh KA. Apport d'un SIG et du modèle agrohydrologique SWAT dans la gestion durable des ressources en eaux du bassin versant du lac de Taabo (Centre de la Côte d'Ivoire): Université Felix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 2014.
- [8] Bigot S, Brou YT, Oszwald J, Diedhiou A, "Facteurs de la variabilité climatique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales," *Revue Sciences et Changements Planétaires/ Sécheresse*, vol. 16, no. 1, pp. 5-13, 2005.
- [9] Kouassi AM. Caractérisation d'une modification éventuelle de la relation pluie-débit et ses impacts sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest: cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire: Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 2007.
- [10] Ouédraogo M. Contribution à l'étude de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest. Analyse des conséquences d'une sécheresse persistante: normes hydrologiques et modélisation régionale: Université de Montpellier II, France, 2001.
- [11] Yao AB. Evaluation des potentialités en eau du bassin versant de la Lobo en vue d'une gestion rationnelle (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire): Thèse Unique de Doctorat, Université Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire, 2015.
- [12] Djè KB. Programme national changement climatique (PNCC). Document de stratégie du programme national changement climatique (2015-2020). 2014. p. 71.
- [13] Brou T, "Variabilité climatique, déforestation et dynamique agrodémographique en Côte d'Ivoire," *Sécheresse*, vol. 21, no. 4, pp. 327-329, 2010.
- [14] Brou YT. Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire [PhD]: Université des Sciences et Techniques de Lille, France, 2005.
- [15] Bergaoui M, Alouini AWS, "Caractérisation de la sécheresse météorologique et hydrologique: cas du bassin versant de Siliana en Tunisie," *Science et changements planétaires/ Sécheresse*, vol. 12, no. 4, pp. 205-213, 2002.
- [16] McKee TB, Doesken NJ, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17-22 January. California, USA: Boston; 1993. p. 179-183.
- [17] Nicholson SE, Kim J, Hoopingarner J. Atlas of African rainfall and its interannual variability: Department of Meteorology, the Florida State University, USA, 1988.
- [18] Vicente-Serrano SM, Beguería S, López-Moreno JI, "A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index," *Journal of climate*, vol. 23, no. 7, pp. 1696-1718, 2010.
- [19] Himayoun D, Roshni T, "Spatio-temporal variation of drought characteristics, water resource availability and the relation of drought with large scale climate indices: A case study of Jhelum basin, India," *Quaternary International*, vol. 525, pp. 140-150, 2019.
- [20] Hargreaves GH, Samani ZA, "Reference crop evapotranspiration from temperature," *Applied engineering in agriculture*, vol. 1, no. 2, pp. 96-99, 1985.
- [21] Mora DE, Campozano L, Cisneros F, Wyseure G, Willems P, "Climate changes of hydrometeorological and hydrological extremes in the Paute basin, Ecuadorean Andes," *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 18, no. 2, pp. 631-648, 2014.
- [22] Bamba F, Diabate M, Mahé G, Diarra M, "Bilans hydrologiques pour des affluents majeurs du fleuve Niger: le Bani, le Sankarani, le Tinkisso et le Milo," *Doc Tech Hydrol l'UNESCO*, vol. 16, pp. 65-82, 1997.
- [23] Paturel JE, Servat E, Delattre MO, Lubes-Niel H, "Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique," *Hydrological Sciences Journal*, vol. 43, no. 6, pp. 937-946, 1998.
- [24] Coulibaly N, Coulibaly TJH, Mpakama Z, Savané I, "The impact of climate change on water resource availability in a trans-boundary basin in West Africa: The case of Sassandra," *Hydrology*, vol. 5, no. 1, pp. 1-13, 2018.

- [25] Kouakou KE. Impacts de la variabilité climatique et du changement climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest: Cas du bassin versant de la Comoé: Thèse de l'Université d'Abobo-Adjamé, Abidjan, Côte d'Ivoire, 2011.
- [26] Yéo WE. Effects of climate change and human activities on water resources in the Comoe river basin (West Africa). Université Abomey-Cotonou (Republic of Benin), 2017.
- [27] Collins JM, "Temperature variability over Africa," *Journal of climate*, vol. 24, no. 14, pp. 3649-3666, 2011.
- [28] Hoffman MT, Cramer MD, Gillson L, Wallace M, "Pan evaporation and wind run decline in the Cape Floristic Region of South Africa (1974–2005): implications for vegetation responses to climate change," *Climatic Change*, vol. 109, no. 3-4, pp. 437-452, 2011.
- [29] Moron V, "Régionalisation et évolution des précipitations tropicales annuelles (1946-1992)," *Science et changements planétaires/Sécheresse*, vol. 7, no. 1, pp. 25-32, 1996.
- [30] Ahoussi KE, Koffi YB, Kouassi AM, Soro G, Biemi J, "Étude hydrochimique et microbiologique des eaux de source de l'ouest montagneux de la Côte d'Ivoire: Cas du village de Mangouin-Yrongouin (sous-préfecture de Biankouman)," *Journal of Applied Biosciences*, vol. 63, pp. 4703–4719, 2013.
- [31] Ake GE. Impacts de la variabilité climatique et des pressions anthropiques sur les ressources hydriques de la région de Bonoua (Sud-est de la Côte d'Ivoire): Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 2010.
- [32] Goula BTA, Kouadio ZA, Kouakou KE, N'goh YA, N'doume C, Savane I, "Simulation du comportement hydrologique du bassin versant de l'Agneby en Côte d'Ivoire," *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies*, vol. 13, 2009.
- [33] Kouakou KE, Goula BTA, Savané I, "Impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau de surface en zone tropicale humide: Cas du bassin versant transfrontalier de la Comoé (Côte d'Ivoire - Burkina Faso)," *European Journal of Scientific Research*, vol. 16, no. 1, pp. 31-43, 2007.
- [34] Yao AB, Goula BTA, Kouadio ZA, Kouakou KE, Kane A, Sambou S, "Analyse de la variabilité climatique et quantification des ressources en eau en zone tropicale humide: cas du bassin versant de la Lobo au centre-ouest de la Côte d'Ivoire," *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies*, vol. 19, pp. 136-157, 2012.
- [35] De Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, et al. Résumé à l'intention des décideurs, *Changements climatiques 2013: Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. In: GIEC Rds, editor. Genève, Suisse 2013.
- [36] Noblet M, Faye A, Camara I, Seck A, Sadio M, Bah A. Etat des lieux des connaissances scientifiques sur les changements climatiques pour les secteurs des ressources en eau, de l'agriculture et de la zone côtière au Sénégal. Report produced under the project "Projet d'Appui Scientifique aux processus de Plans Nationaux d'Adaptation dans les pays francophones les moins avancés d'Afrique subsaharienne". Berlin, Germany 2018. p. 76.
- [37] Mishra VN, Rai PK, Mohan K, "Prediction of land use changes based on land change modeler (LCM) using remote sensing: a case study of Muzaffarpur (Bihar), India," *Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijic", SASA*, vol. 64, no. 1, pp. 111-127, 2014.

La compositionnalité et la confixation au service de la didactisation des cours de terminologie médicale en amont et de l'acte communicationnel thérapeutique en aval: Le cas des facultés de médecine et de pharmacie au Maroc

[Compositionality and confixation in the service of the didactization of medical terminology courses upstream and the therapeutic communication act downstream: The case of the faculties of medicine and pharmacy in Morocco]

Badr Aabadli

Etablissement d'attache: Laboratoire Langage & Société CNRST- URAC 56, FLSH Kénitra, Morocco

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

ABSTRACT: Our Moroccan community has a varied linguistic nomenclature which is not immutable and which changes very often because of the dynamism, the contexts and the fields of activity where it is practiced. Thus, the identity or functional language practices, under the effect of this sociolinguistic dynamic, are constantly subject to modification, enrichment and adaptation.

For the faculties of medicine and pharmacy (FMP) in Morocco, French is the language of instruction par excellence, whereas during the entire previous curriculum it was only one language taught. In addition, the courses given in the faculties and schools of health have a terminology that is very often hermetic for the students; which ipso facto puts us before an urgent need for renovation, readjustment, accommodation and adaptation so that the students understand their course properly, and so that they can brilliantly ensure the therapeutic communicative act downstream when they will be in charge of practicing in public and private health establishments.

From the foregoing, the urgency to adopt the technolectal approach; through the phenomena of compositionality and confixation; which in our opinion constitutes a response to the ills faced by our students in the field of health. In the present work, we will focus on sociolinguistics, in this case the work of Leïla Messaoudi (2003, 2010 and 2013). In terms of methodological approach, we will use corpus linguistics. We will administer questionnaires to students, but we will also use medical courses to highlight technolectal units that are representative of the «scholarly technolecte» in this field and that we will have to readapt in order to allow students access to meaning.

KEYWORDS: Scholarly technolects; ordinary technolects; technolectal elements; didactic transposition; compositionality; confixation.

RESUME: Notre communauté marocaine dispose d'une nomenclature linguistique variée qui n'est pas immuable et qui change très souvent à cause des dynamismes, des contextes et des domaines d'activité où elle s'exerce. Ainsi, les pratiques langagières identitaires ou fonctionnelles, sous l'effet de cette dynamique sociolinguistique, se retrouvent sans cesse sujettes à des modifications, des enrichissements et des adaptations.

Pour les facultés de médecine et de pharmacie (FMP) au Maroc, le français est la langue d'enseignement par excellence, alors que pendant tout le cursus précédant il ne constituait qu'une langue enseignée. En plus, les cours dispensés dans les facultés et les écoles de la santé disposent d'une terminologie très souvent hermétique pour les étudiants; ce qui nous met ipso facto devant un besoin urgent de rénovation, de réajustement, d'accommodation et d'adaptation pour que les étudiants comprennent comme il se doit leur cours, et pour qu'ils puissent assurer avec brio l'acte communicationnel thérapeutique en aval quand ils auront la charge d'exercer dans les établissements sanitaires publics et privés.

De ce qui précède, il en ressort l'urgence d'adopter l'approche technolocale; à travers les phénomènes de compositionnalité et de confixation; qui à notre sens constitue une réponse aux maux auxquels sont confrontés nos étudiants du domaine de la santé. Dans le présent travail, nous nous adosserons en priorité à la sociolinguistique, en l'occurrence les travaux de Leïla Messaoudi (2003, 2010 et 2013). Pour ce qui est de l'approche méthodologique, nous ferons appel à la linguistique de corpus. Nous administrerons des questionnaires aux étudiants, mais aussi nous aurons recours aux cours de médecine, pour mettre en évidence des unités technolcales représentatives du « Technolcte savant » de ce domaine et que nous aurons à réadapter pour permettre aux étudiants l'accès au sens.

MOTS-CLEFS: Technolctes savants; technolctes ordinaires; éléments technolctaux; transposition didactique; compositionnalité; confixation.

1 CONSTAT

Les pratiques médicales évoluent énormément ces dernières années dans le monde. Le Maroc qui n'entend pas rester à la traîne ne cesse à son tour d'améliorer les services proposés aux patients. Ainsi, la prise en compte des besoins réels de ces derniers, notamment l'explication de leurs pathologies, est devenue aujourd'hui un enjeu capital de santé publique. De ce fait, les relations entre les professionnels de la santé et les patients, qui régissent et meublent l'acte thérapeutique, doivent impérativement changer; car la guérison consiste en grande partie à ce que le patient comprenne parfaitement sa pathologie et tout ce qui s'y rapporte notamment la maladie en elle-même, le discours du médecin, les recommandations, les prescriptions, les conseils et les interdictions.

D'un autre côté, le système d'enseignement/apprentissage au Maroc passe par une période difficile car le français est passé, et ceci depuis des décennies, du statut d'une langue d'enseignement à celui du statut d'une langue enseignée pendant les cycles primaire, collégial et secondaire. Ce qui accentue le problème et complique la tâche pour nos étudiants des filières scientifiques et techniques, c'est que le français reprend son statut initial (langue d'enseignement) dès la première année des études universitaires. Ainsi, nos étudiants confrontés à ce qu'il est convenu d'appeler « la fracture linguistique » ne savent plus sur quel pied danser.

Par ailleurs, notre société marocaine connaît une complexité (dans le sens de diversité) sociale, linguistique, culturelle et cultuelle. Cela complique davantage le processus d'enseignement /apprentissage car d'une région à l'autre le social, le culturel, et le cultuel changent et le rapport aux apprentissages change par la même.

De ce qui précède, et pour ne parler que du domaine de la santé, la démarche informationnelle à l'intention des patients doit évoluer et être vulgarisée en prenant en considération la diversité de ceux-ci. Ainsi un travail important doit se faire en amont dans les facultés de médecine et les instituts de santé (fracture linguistique oblige) pour mettre en relief les mécanismes sous-jacents aux démarches et processus communicationnels s'appuyant sur une bonne connaissance de la terminologie médicale et un accès au sens de cette dernière par les étudiants de médecine.

2 PROBLÉMATIQUE

La communication dans les actes médicaux et thérapeutiques pose problème. D'autant plus qu'au Maroc une bonne partie des patients sont analphabètes ou du moins étrangers au domaine de la santé. Pour que l'acte informationnel soit compréhensif par les patients toute catégorie sociale confondue, un travail en amont doit se faire pour permettre aux étudiants des facultés de médecine et des instituts de santé d'accéder au sens de la terminologie médicale très souvent hermétique pour la plupart d'entre eux.

3 OBJECTIFS

Rendre la communication médicale claire, limpide et accessible pour tous les protagonistes des actes médicaux et thérapeutiques en faisant: acquérir des compétences d'assimilation et de réinvestissement des éléments technolctaux relatifs au domaine/sous domaine médical.

Rendre transparente, sémantiquement, la terminologie médicale hermétique et inabordable pour la majorité des étudiants de premières années d'études médicales.

Amener les étudiants à comprendre les techniques de la formation terminologique médicale.

4 QUESTION DE RECHERCHE

Comment faciliter le contact entre professeurs des facultés de médecine et instituts de santé d'une part et étudiants de l'autre; en créant des couloirs et des canaux et par la même une osmose entre le message purement linguistique et celui strictement savant et scientifique ?

5 LES HYPOTHÈSES DE RECHERCHE

- L'accès au sens permettrait l'acquisition, l'assimilation et le réinvestissement de la terminologie médicale.
- La construction du sens (segmentation graphique, déconstruction et reconstruction du sens) serait le moyen le plus adéquat pour accéder au sens.

6 LES APPROCHES DÉJÀ EN PLACE

Pour parer à la fracture linguistique, à la complexité de notre société, à l'hermétisme de la terminologie médicale et aux problèmes sous-jacents et inhérents qui y affèrent; plusieurs approches sont mises en place pour pallier les difficultés relatives à l'enseignement/apprentissage des disciplines scientifiques et techniques. Ces approches consistent à enseigner du français au lieu d'enseigner le français. Parmi elles on trouve notamment: le FOS (français sur objectifs spécifiques), le FOU (français sur objectifs universitaire), le FLS (français langue de spécialité), ... Toutes ces approches sont actionnelles et importantes mais elles restent dans leurs ossatures principales des approches langagières et linguistiques.

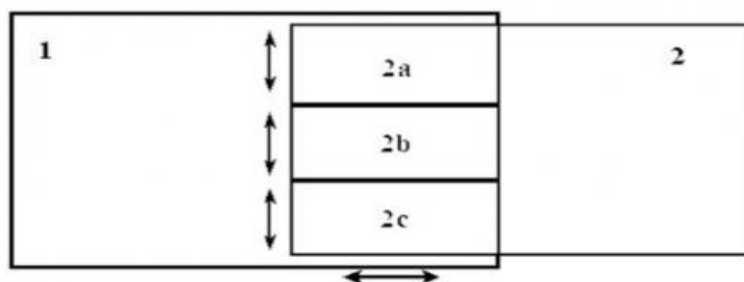
Or le problème est sociolinguistique par excellence, d'une part et que les professeurs des facultés de médecine et des instituts de santé ne sont pas formés ni en sociolinguistique ni en pédagogie et encore moins en sociodidactique. D'autre part toutes ces approches citées en haut restent incomplètes et pas assez efficaces. Nous pensons donc et à juste titre que les professeurs de langues doivent intervenir en parallèle avec les professeurs des disciplines des métiers de la santé. Dans ce sens, nous proposerons plus bas l'approche technolocale qui est langagière, actionnelle et sociolinguistique par excellence.

7 BREF APERÇU DE L'APPROCHE ACTIONNELLE VOIRE CO-ACTIONNELLE

L'apprenant de la langue est un acteur social devant accomplir des tâches (qui ne sont pas seulement langagières). Pour ce faire, les actes de parole pour avoir du sens, doivent s'inscrire dans une perspective actionnelle. On passe ainsi de l'apprenant passif à l'apprenant acteur social qui utilise ce qu'il a appris, non seulement dans des tâches scolaires, mais dans toutes les situations problèmes qu'il rencontrera c'est-à-dire dans des tâches d'usage de la langue notamment dans l'acte thérapeutique pour les médecins et les professionnels de la santé. Il s'agit donc de passer de la tâche communicative à la tâche actionnelle, c'est-à-dire passer du simple acte de langage à l'acte de parole au service de l'action sociale en priorité.

Le processus d'enseignement / apprentissage devient ainsi un scénario d'apprentissage action réalisé selon des unités d'action (des tâches) et une stratégie permettant aux apprenants de faire face et de gérer les situations problème imprévues dans un environnement de pratiques réflexives.

Pour synthétiser la relation entre la classe et la société dans l'approche actionnelle, nous proposons le schéma ci-dessous Christian Puren (Puren, 2004)



1. La société
2. La classe

- 2a. La classe comme une micro représentation de la société.
- 2b. La duplicité et la simulation
- 2c. La classe lieu d'élaboration de tâches (action)

Si nous partons du fait que dans la zone 2 se situent les situations de la langue et leurs conceptions, dans la zone 2c le produit, et dans la zone 2b la communication (simulation globale). L'action (simulation professionnelle), vu qu'elle est très flexible, elle peut aisément couvrir à la fois les trois zones de recoupement tout en variant leurs importances respectives.

Selon chaque activité pédagogique le processus d'enseignement/apprentissage accroît ou au contraire rétrécit la zone de recoupement entre la classe et la société. Accordant ainsi plus ou moins d'importance aux différents types d'intersection 2a, 2b et 2c. Pour Freinet par exemple, c'est les champs 2a et 2c qui sont privilégiés surtout quand les professeurs exercent leurs fonctions sociales pendant l'enseignement scolaire. Alors que dans l'approche communicative c'est la surface 2b qui est favorisée aux dépens des deux autres. Il ne faut surtout pas croire que l'une des méthodes est à privilégier par rapport à l'autre. Aucune des deux méthodes, aucune proportion et aucun des recoupements entre la zone 1 et la zone 2 n'est absolu et définitif. Il appartient à chaque professeur de doser l'importance des zones de recoupement selon l'ensemble apprenants-environnement-dispositif d'enseignement/apprentissage dans sa globalité d'où l'intérêt de l'approche actionnelle.

Tout ceci est bien, encore faut-il que l'étudiant de médecine comprenne la terminologie pour qu'il puisse par la suite la transmettre aux patients sans bloquer la compréhension de leurs pathologies.

8 L'APPROCHE TECHNOLECTALE

Pour la petite histoire: Claude Hagège (Hagège, 1982) et Jean Rousseau (Rousseaux, 1982, 2008), sont deux terminologues qui sont les premiers à avoir utilisé le mot « technolecte » sans toutefois lui consacrer une thèse, des ouvrages ou des articles. Il a fallu attendre l'an deux mille huit pour que le terminologue Louis-Jean Rousseau parle directement du concept. Ensuite ce dernier a été repris dans les années quatre-vingt-dix par Claudine Bavoux (Bavoux, 1997) qui s'est intéressée surtout au côté lexical du concept le confondant souvent avec vocabulaire, terminologie ou encore jargon de métier. Par la suite le sociolinguiste Didier De Robillard (De Robillard, 1997) a considéré le technolecte comme une langue véhiculaire instrumentalisée pour des fins de communication utilitaires et dénuée de toute charge affective ou émotive (cela correspond parfaitement au langage spécialisé mais aussi aux technolectes qui doivent être fonctionnels et utilitaires car ils ne doivent pas véhiculer les émotions personnelles).

Après ces acceptions et toujours dans le but de mettre en relief les divergences terminologiques qui tourbillonnent autour du concept « technolecte », nous rappelons les propositions de certains auteurs. Notamment, celles de Kocourek (Kocourek, 1991) « langue technique et scientifique » ou « langue technoscientifique » ou encore celle de Pierre Lerat (Lerat, 1995) « langue de spécialité », « langue spécialisée » ou « technolecte » qui se sont tous deux inspirés des travaux Anglo-Saxons.

Éléments de définition:

Après ce bref historique on est en droit de nous poser quelques questions à propos du technolecte:

- Est-ce que c'est une production langagière à caractères scientifique et technique ?
- Est-ce que c'est une langue de spécialité ou langue spécialisée ?
- Est-ce que c'est un ensemble langagier caractérisant un domaine ou une sphère d'activités humaines ?

A travers la réponse à ces questions nous nous permettons de présenter les traits définitoires suivants (Aabadli, 2020):

- Le technolecte est un ensemble langagier se rapportant à un domaine d'activités humaines caractérisée.
- Le technolecte, dans ses usages, fait appel une ou plusieurs langues, voire un mélange en contexte plurilingue. Il peut également faire appel à des gestes et des signaux (ces domaines restent encore inexplorés).
- Le technolecte use de procédés propres mais aussi de ressources en usage dans la langue générale (continuum).
- Le technolecte se caractérise par un lexique spécialisé (qui peut être utilisé de manière spontanée) et une terminologie (intervention consciente du terminologue sur ce lexique spécialisé). Mais aussi par des tours de syntaxes et des usages discursifs.
- Le technolecte peut prétendre à une haute technicité (technolectes savants) ou à la banalisation et la vulgarisation (technolectes ordinaires) D'où le rôle important que jouent les technolectes dans la création des variétés linguistiques. (Messaoudi, 2016)

Après ce panel d'éléments de définition nous présentons la définition de l'éminente chercheuse Mme Leila Messaoudi qui stipule que: « le technolecte est un savoir-dire, écrit ou oral, verbalisant, par tout procédé linguistique adéquat, un savoir ou un savoir-faire dans un domaine spécialisé » (Messaoudi, 2010).

Partant de ce qui précède, nous considérons que le technolecte:

- Parce qu'il a une visée sociolinguistique.
- Parce que son point de départ est le domaine puis le locuteur.
- Parce que l'analyse sociolinguistique des systèmes linguistiques employés par les spécialistes d'un domaine donné permet la mise en relief du technolecte relatif à ce domaine.
- Parce que l'optimisation de son enseignement et sa traduction sont des facteurs de développement.
- Parce que le technolecte prend naissance dans des situations plurilingues donc qu'il soit ordinaire ou savant il doit prôner le plurilinguisme.
- Parce qu'il doit chercher à sécuriser les situations en réduisant les écarts entre les systèmes linguistiques.
- Parce qu'il doit prendre en considérations les acquis antérieurs des étudiants à travers la diversification langagière vécue auparavant (vernaculaire, officielle, étrangère etc.)
- Parce qu'il doit prôner la transdisciplinarité à travers les universaux technolectaux qui sont à même de transcender les domaines et les situations sociolinguistiques.

Pour toutes les raisons précitées Le technolecte du domaine doit être fonctionnel en amont et en aval pour constituer la voie incontournable pour faciliter en amont l'accès au sens de la terminologie par les étudiants et leur faciliter en aval l'acte communicationnel thérapeutique.

Ainsi, la terminologie serait un ensemble structuré de termes relatifs à un domaine de la connaissance à un auteur ou à une technique; donc une intervention consciente du terminologue et une normalisation pour ne pas confondre avec la parole ordinaire qui peut être aussi considérée comme un discours sur la langue virtuelle. Dans ce sens M. Ouassou (Ouassou 2016) a présenté la dichotomie entre terme qui relève de la terminologie et donc du technolecte et mot linguistique qui relève de la langue générale. Ainsi, le passage de la langue générale vers le technolecte via le domaine se ferait selon la dichotomie suivante:

- Si la langue s'intéresse au domaine de la lexicographie, le technolecte est se réfère à la terminologie;
- Si la langue est pratiquée par la masse, le technolecte concerne un domaine spécialisé et donc un public restreint;
- Si la langue peut être en même temps synchronique et diachronique, le technolecte est surtout synchronique;
- Si la langue est surtout descriptive, l'étude technolectale est normative;
- Si dans la langue nous partons du mot vers le sens et nous faisons ainsi une approche sémasiologique, dans l'approche technolectale nous partons du concept vers le mot c'est donc une approche onomasiologique.

Pour ce qui est de l'autre constituant du technolecte à savoir la phraséologie, il faut préciser qu'elle renvoie à un domaine particulier de la linguistique fondé sur la combinaison de signes polylexicaux. En effet, face à la linguistique générale qui étudie la structure d'une langue en combinaison libre, la phraséologie s'occupe des suites des mots stables. C'est une discipline ayant les mêmes éléments d'analyse que la linguistique générale (phonétique, morphosyntaxe, pragmatique...).

La phraséologie peut être projetée selon deux axes selon qu'elle relève de la langue générale ou du technolecte. On a ainsi, une phraséologie collocationnelle générale et une phraséologie collocationnelle terminologique ou technolectale. Même chose pour la Phraséologie idiomatique générale et la phraséologie parémiologie générale elles ont toutes deux leurs équivalents en technolectes.

Pour schématiser ce qui précède, nous présentons le schéma suivant que nous avons déjà proposé dans d'autres articles (Aabadli, 2020).

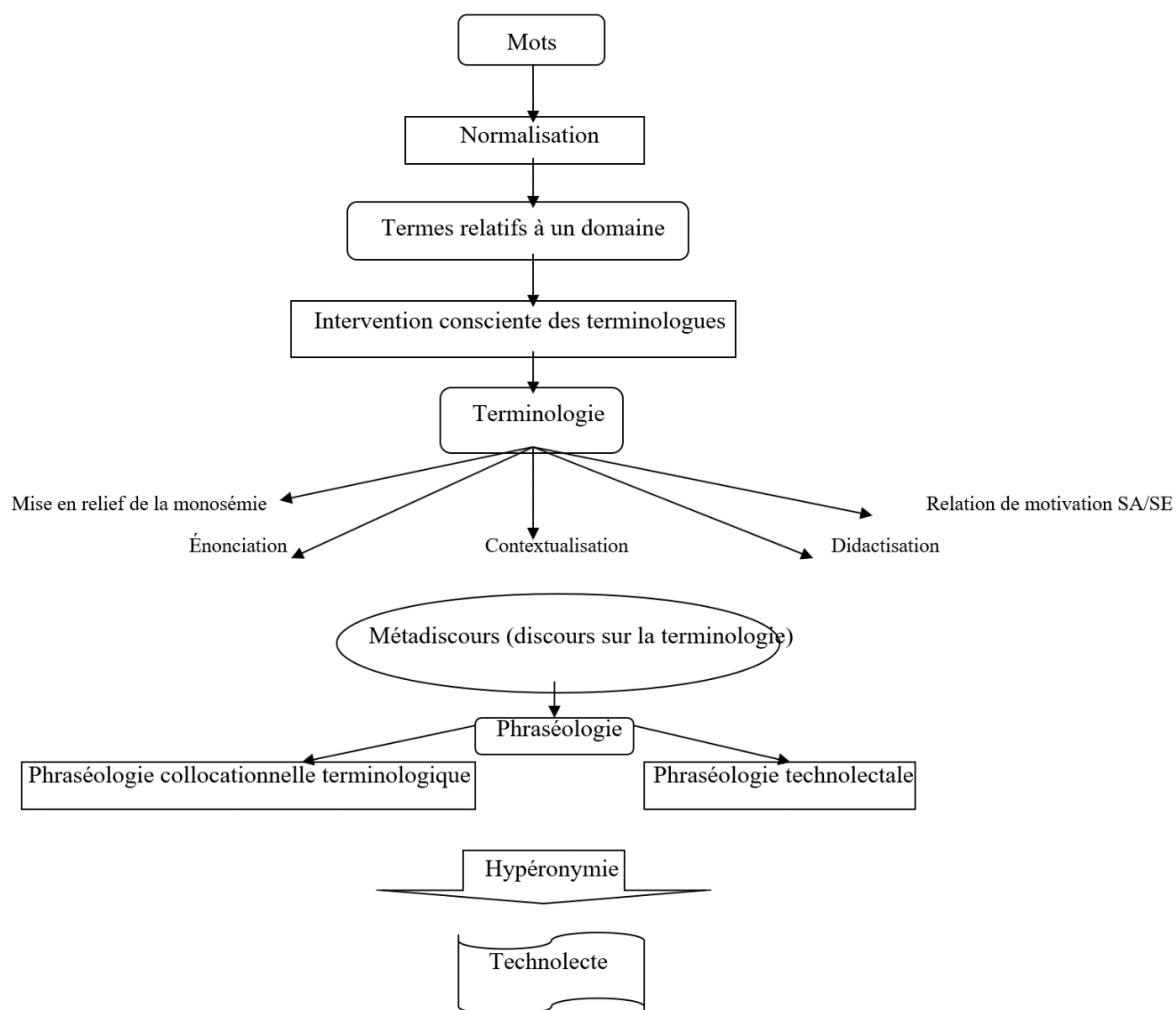


Schéma 1. Les éléments technoelectaux

9 LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE

Les différentes étapes que traverse le savoir pour être assimilé

Les professeurs de médecine sont confrontés à un problème majeur dans leur pratique d'enseignant: car la terminologie pose problème (elle doit passer du statut d'inconnu au statut actif et non du passif à l'actif).

L'un des aspects les plus importants attachés à l'assimilation de la terminologie médicale, concerne la construction du savoir et l'accès au sens. Dans tout processus d'enseignement/ apprentissage le savoir doit changer de forme pour devenir assimilable, mémorisable et donc réinvestissable.

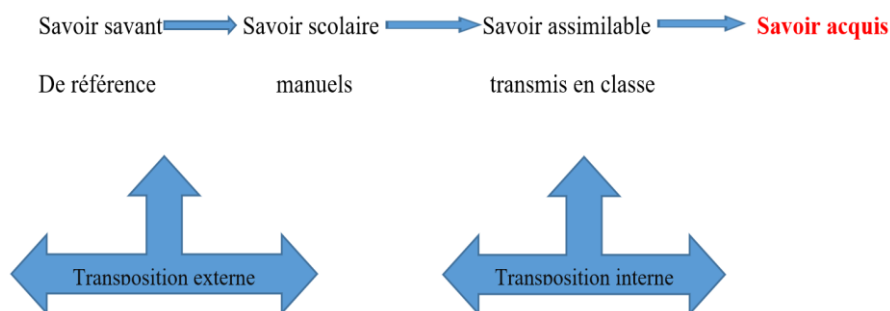


Schéma 2. Les étapes de la transposition didactique

10 POURQUOI INSISTER SUR LA TERMINOLOGIE ?

Si nous insistons sur la terminologie c'est parce que:

- C'est l'aspect et le niveau linguistique qui pose le plus problème aux étudiants;
- C'est la base de la phraséologie du discours et, donc par la suite, des interactions écrites et orales;
- « Rappelons que tous les niveaux linguistiques (phonétique, morphologique, syntaxique, lexical, sémantique) sont mobilisés dans les productions langagières technoscolaires avec une prévalence des aspects lexicaux. » (Messaoudi, 2012);
- Selon les données de la psycholinguistique à propos des mécanismes d'apprentissage du vocabulaire, l'acquisition de nouveaux éléments lexicaux et leur rétention dans la mémoire active seraient conditionnées par la création de liens associatifs (Boogards, 1994)
- Selon (Boogards, 1994) l'enseignement du lexique implique trois étapes:
- Apprendre les mots (savoirs);
- Apprendre à apprendre les mots (savoir-faire);
- Apprendre les faits (sémantiques) concernant les mots (omniscience).

Ainsi si l'hermétisme de la terminologie s'impose l'approche technoscolaire se propose pour palier et faciliter l'accès au sens.

11 LA DIDACTISATION DE LA TERMINOLOGIE

Dans cette perspective nous proposons trois étapes:

LE REPÉRAGE ET LA CONCEPTUALISATION:

Les causes de l'hermétisme de la terminologie médicale:

Prenons comme exemple le terme « Pneumonoultramicroscopicsilicovolcanoconiosis » nous y reviendrons par la suite.

Ainsi, deux facteurs très importants et quasi présents dans la terminologie médicale font que cette dernière est hermétique et difficile d'accès au sens. Le premier facteur, c'est que dans un souci de condensation, on essaye de dire dans la langue spécialisée en un mot ce qu'on veut dire en une ou deux phrases. Ce qui revient à dire, condenser la phraséologie technoscolaire en terminologie technoscolaire par des procédés de nominalisation, adjectivation, affixation, dérivation, composition...deuxième facteur, c'est l'origine gréco latine et autres du technoscolaire de la médecine.

a- Travail sur la composition des termes: la compositionnalité et la confixation

a.1 Le constructivisme et le socioconstructivisme:

Selon Piaget et la théorie du constructivisme qui consiste à déconstruire les savoirs anciens pour rebâtir de nouveaux savoirs à travers des situations problème. Et selon Vygotsky et sa théorie du socioconstructivisme qui part du même principe que celui de Piaget sauf que c'est dans des groupes et de manière sociale que le savoir est rebâti. On aborde le terme déjà présenté est qui constitue une situation problème pour les étudiants de médecine étant donné qu'ils n'arrivent pas à le comprendre et encore moins à le retenir.

a.2 La confixation:

Comme l'a défini André Martinet dans « Éléments de linguistique générale ». Il emploie le terme de confixation pour désigner la formation particulière des mots savants, d'origine latine ou grecque, du type thermostat, formation qui ne s'apparente ni à la dérivation ni à la composition puisqu'elle ne manifeste à proprement parler ni affixation, ni juxtaposition de morphèmes libres. On utilise plus couramment le terme d'interfixation -voire celui de composition savante ou de recomposition- pour désigner ce mode de formation lexicale. Association des racines grecques et/ou latines

« La confixation se situe entre la dérivation et la composition [...] » (KOCOUREK, 2001)

a.3 La compositionnalité:

Elle repose sur la thèse selon laquelle le sens d'une expression est fonction du sens de ses composants. L'analyse compositionnelle vise à identifier des unités technoscolaires de signification et à étudier leurs modes d'agencement. Les composants sémantiques d'une unité technoscolaire sont obtenus par l'examen des relations d'implication.

Revenons au terme et essayons de l'analyser selon les principes cités ci-dessus

« Pneumonoultramicroscopicsilicovolcanoconiosis »

Ce mot compact est hermétique morphologiquement et sémantiquement, mais si on le décompose pour le recomposer après un travail didactique de repérage et de conceptualisation, il devient accessible de sens et facile à retenir, à mémoriser et à réinvestir.

Pneumono / ultra / microscopique / silico / volcano / conises

Poumon /super / invisible à l'œil nu /silice / volcan / difficultés

Ainsi, le terme qui semblait totalement hermétique au début se retrouve facile d'accès. D'où l'intérêt de la déconstruction et la reconstruction du sens à travers la compositionnalité et la confixation. Le terme signifie en une maladie des poumons due à l'inhalation d'une poudre très fine issue des volcans.

a.4 Décryptage du terme médical approche onomasiologique de la forme vers le sens

Comme relaté ci-dessus cette approche de compositionnalité ne peut être que de type onomasiologique car on part du nom en général et de sa forme pour aboutir au sens de ce dernier.

En ce qui concerne le terme médical il se découpe en plusieurs parties appelées unités de sens: en général, le préfixe, le radical et le suffixe. Cette forme n'est pas toujours respectée.

Exemple: Le terme microangiopathie

Le radical angio constitue le thème, du grec ageion (vaisseau)

Le préfixe micro qualifie et caractérise ce vaisseau du grec mikros (petit)

Le suffixe pathie explique l'état (parfois la fonction ou l'action) du grec pathos (maladie ou souffrance): donc cette approche nous donne le sens du terme comme étant la Maladie des vaisseaux de petit diamètre.

b- Exemples de faits concernant la terminologie médicale approche sémasiologique du sens vers la forme

Dans cette approche didactique que nous appelons sémasiologique, nous proposons de partir du sens pour aboutir à la compréhension du terme et donc à sa transposition didactique et son réinvestissement à bon escient. Ainsi on peut trouver dans la mythologie grecque des exemples qui nous donnent des interprétations du sens et qui peuvent se révéler essentielles pour la transposition didactique et l'accès au sens. Comme par exemple:

Echo: Nymphé de la montagne; Ovide raconte dans ses Métamorphoses qu'elle avait offensé Héra, en l'empêchant par ses bavardages de surveiller les infidélités de Zeus. Aussi, pour la châtier, Héra lui ôta la parole, ne lui laissant que la faculté de répéter les derniers mots de son interlocuteur.

Echocardiogramme; écho-endoscopie; échographie...

Algie: Le suffixe " -algie " est rattaché à des racines pour donner le sens de " douleur " ou " gêne ". Exemple: névralgie (douleur ressentie dans les nerfs) et antalgique (qui combat la douleur).

Algie proviendrait du nom d'Algéa, déesse de la douleur, fille d'Eris déesse de la guerre, elle incarnait la souffrance et la douleur.

Logie: origine grecque logos, Forme le nom d'une science, de l'étude scientifique d'un sujet

Chez Ésope, tous les animaux sont présents au mariage de Zeus, sauf la tortue. « Logis familial, logis idéal ! » répond-elle quand le dieu l'interroge sur la raison de son absence. Zeus la condamne alors à porter toujours sa maison sur son dos.

Alopécie: chute des cheveux temporaires vient du grec alopex qui veut dire renard. Cette appellation est due à la croyance selon laquelle une terre devient stérile pendant une année si un renard urine dessus.

Pupille: du latin pupilla « petite fille orpheline » du fait de la minuscule figurine observée dans l'œil de quelqu'un qu'on regarde de près, reflet de notre propre figure...etc.

c- Travail taxonomique

Un travail de classification des termes, selon leurs origines, peut nous être d'une grande utilité quant à la facilité de trouver des connexions entre les cultures et les langues pour pouvoir faciliter l'accès au sens de ces termes et pouvoir les utiliser, les réinvestir, les traduire et voire même les vulgariser pendant l'acte thérapeutique en général et les consultations en particulier. Dans ce sens nous proposons cette classification qui n'est nullement exhaustive mais uniquement à titre d'exemple:

c.1 Les Termes d'origine grecque:

Ils constituent à eux seuls les deux tiers de la terminologie médicale. Nous citons à titre d'exemple les termes:

Hépatosplénomégalie (hépato/ foie; spléno/ rate; mégalie/ gros) cela signifierait donc une augmentation du volume du foie et de la rate.

Angiocholécystectomie (angio/vaisseau; cholé/ bile; cysto/sac; ectomie/ ablation) ablation des voies biliaires et de la vésicule biliaire.

c.2 Les termes issus de la mythologie grecque:

Pour cette catégorie de termes nous citons à titre d'exemple:

Hypnose (dieu du sommeil), morphine (fils d'hypnose), morphologie (Morphée qui a pris la forme des humains pour entrer dans leurs rêves), Achille, algique, aphrodisiaque, arachnoïde, écho, érotisme, euthanasie...etc.

c.3 Les termes issus du latin: virus, cubitus, humérus...etc.

c.4 Les termes hybrides:

Appendicectomie (du mot latin appendix et du mot grec ektomê), de la même façon des mots comme polynucléaire, mammographie, nucléolyse, vasectomie, myorelaxant jonglent avec les racines grecques et latines.

Scanographie: mélange entre l'Anglais et le grec (scan, balayer explorer secteur par secteur et le grec graphein qui veut dire écrire)

Amélogénèse: Grec et Français ancien, Amel qui voulait dire email et gēnnan voulant dire engendrer...etc.

c.5 Les termes issus des noms propres:

Babinski (réflexe découvert par un français du même nom), Parkinson, combs (test biologique), John Dalton (daltonisme, daltoniens des noms propres qui peuvent se transformer en noms communs ou adjectifs) ...etc.

c.6 Les termes issus des noms des lieux:

La fièvre du Nil, la fièvre de Malte, le virus Ebola (rivière du Congo), la grippe espagnole, la grippe Mexicaine...etc.

c.7 Les termes issus des dialectes et des langues étrangères:

Chikungunya d'origine Swahili langue parlée de l'île de Zanzibar en Tanzanie (signifie qui se recourbe) en effet le virus donne des douleurs articulaires qui forcent les malades à se courber.

c.8 Feedback, monitoring, stepage, shunt...etc. Sont des mots d'origine anglaise

c.9 L'Arabe a donné naissance à des mots comme alcool, Kaliémie et Kaliurie (taux de potassium dans le sang et dans les urines) du mot Al keli

c.10 L'Italien a donné le mot malaria (mala aria mauvais air)

c.11 Le Néerlandais a donné le mot hanche...etc.

c. 12 Les abréviations

AVC, VIH, CHU, IVG (insuffisance ventriculaire gauche ou interruption volontaire de grossesse) ...etc.

c.13 Classification des préfixes (quantifie l'idée qu'on veut exprimer)

Exemples: apnée (absence de respiration), dyspnée (difficulté), trachypnée ou polypnée (rapidité), bradypnée (ralentissement), brachypnée (courte) ...etc.

c.14 Classification des radicaux selon l'anatomie donc l'organe malade

Exemple: coxalgie (hanche), arthralgie (articulations), lombalgie (lombaires), odontalgie (dentaire), gastralgie (estomac) ...etc.

c.15 Classification selon les suffixes (état, fonction, acte thérapeutique)

Exemple: -ite (inflammation), -algie ou -odynie (douleur), -scopie (vision), -ectomie (ablation), -phobie (qui a peur de), -iatre (médecin), -oïde (semblable à) ...etc.

NB: D'autres classifications sont possibles (selon les spécialités, les examens cliniques, la radiologie...etc.)

LA SYSTÉMISATION

Dans cette étape de la didactisation de la terminologie Il s'agira de permettre à l'étudiant de fixer les structures conceptualisées précédemment afin de pouvoir les réemployer spontanément dans le cadre d'une consultation réelle quand il recevra des patients réels. Elle prend l'aspect d'exercices non pas uniquement lexicaux et structuraux pour que l'enjeu ne soit pas uniquement linguistique mais bien au-delà de ça il faut qu'il soit social. Dans ce sens et pour que l'objectif soit communicationnel, socioculturel et répond aux besoins langagiers qui transformeront le futur médecin en acteurs social capable de s'adapter à n'importe quelle situation problème pendant l'acte thérapeutique; nous proposons à titre d'exemple les activités suivantes:

- Proposer des grilles de mots croisés ou de mots fléchés à remplir par les étudiants en donnant des mots du français général et les étudiants auront à trouver les préfixes, les suffixes ou les radicaux qui leur correspondent en terminologie médicale (ou le contraire).
- Proposer en vrac des unités de sens d'un côté et des définitions de l'autre et demander aux étudiants de les relier par des flèches.
- Proposer des exercices à trous
- Proposer des radicaux et les étudiants auront à leur associer des organes ou des spécialités
- Proposer des jeux: un étudiant présentera des symptômes et les autres trouveront le nom de la maladie et le spécialiste à consulter
- À Partir de contextes variés les étudiants détermineront le sens du terme
- Utiliser des supports visuels (vidéos images) pour déterminer la pathologie.
- Proposer des vidéos de consultations et demander aux étudiants comment eux ils auraient présenté la pathologie qu'est ce qu'ils n'ont pas compris dans la terminologie, et s'ils ont tout compris comment ils se sont pris ?
- Proposer des ateliers de travail entre groupe d'étudiants, chaque groupe posera des unités de sens et demandera à l'autre groupe de trouver le terme correspondant.
- Proposer aux étudiants de faire des compte rendu à propos de la terminologie technoscientifique médicale relative à une spécialité donnée qu'ils rencontreront pendant les sorties dans les hôpitaux (origine, composition, hybridation...)
- Utilisation de l'alternance codique...etc.

LE PROLONGEMENT

À chaque fois qu'on présentera un élément technoscientifique: préfixation, suffixation, radicaux, hybridation, sémantique et mythologie des unités technoscientifiques... on demandera aux étudiants d'effectuer des recherches dans ce sens et d'allonger la liste des exemples présentés pendant le cours.

On demandera également aux étudiants de faire des jeux de rôles et des simulations de rencontre entre médecin et patients. Les autres étudiants évalueront ces rencontres et proposeront des remédiations...etc.

12 CONCLUSION

Les praticiens dans le monde médical, de toute évidence, ne se sont pas intéressés jusqu'à présent à la didactique, à la linguistique et à la sociolinguistique. Or, la terminologie médicale pose problème tant en amont pendant les cours qu'en aval pendant les consultations; il est temps que les didacticiens, les linguistes et les sociolinguistes interfèrent dans ce processus d'enseignement/apprentissage des disciplines relatives au domaine de la santé pour participer à la rénovation et la facilité de

la communication et par la suite à renouveler nos conception concernant le système de santé qui est névralgique et constitue un enjeu de santé majeur pour les sociétés futures.

REFERENCES

- [1] Aabadli Badr, (2020), Le technolecte comme moyen d'optimisation de l'enseignement de l'œuvre littéraire dans le secondaire qualifiant, vol 28 n°2, 17-28 p. <http://www.ijias.issr-journals.org/>.
- [2] Bavoux Claudine, (1997), « Technolecte », in Moreau Marie-Louise (édit), Sociolinguistique, les concepts de base, Ed: Mardaga, Bruxelles, pp: 282.
- [3] Boogards Paul, (1994), « Le vocabulaire dans l'apprentissage des langues étrangères », Didier/Hatier, Paris, 256p.
- [4] De Robillard, Didier, (1997), « statut », in Marie Louise Moreau (éd), Sociolinguistique: concepts de base, Liège, Mardaga, pp: 269-270.
- [5] Hagège, Claude, (1982), « Voies et destins de l'action humaine sur les langues », In: Claude Hagège et Istvan Fodor, dir. La réforme des langues, histoire et avenir, Ed: Buske, Hambourg, 11-67 p.
- [6] Kocourek Rostislav, (2001), Essais de linguistique française et anglaise: mots et termes, sens et textes, édit: Peeters Louvain, Paris, 441p.
- [7] Kocourek Rostislav, (1991), « La Langue française de la technique et de la science: Vers une linguistique de la langue savante », 1ière édit Wiesbaden (Allemagne), 2001, 2ième édit, librairies Brandstetter Verlag, France, 327 p.
- [8] Lerat Pierre, (1995), Les langues spécialisées, coll: linguistique nouvelle, édit: PUF, Paris, 208 p.
- [9] Messaoudi Leila, (27&28 Mai 2016), propos recueillis lors du colloque « Technolectes et domaine », UCAM, FLSHM, laboratoire LCP, laboratoire langage et société, réseau maghrébin des technolectes antenne de Marrakech.
- [10] Messaoudi Leila, (2016), La fracture linguistique dans l'enseignement scientifique au Maroc: quelles remédiations? in, revue langue, culture et société, vol 2, n°1, Langage et société, Université Ibn Tofail, Kénitra, p: 82.
- [11] Messaoudi Leila et Lerat Pierre, (2014), « les technolectes/langues spécialisées en contexte plurilingue », Rabat, laboratoire langage et société CNRST-URAC 56, Rabat net, 456p.
- [12] Messaoudi Leila, (2013), « Les technolectes savants et ordinaires dans le jeu des langues au Maroc », in, Langage et société 2013/1 (n° 143), pp: 1, p. 65 à 83. cairn.info: <https://doi.org/10.3917/ls.143.0065>.
- [13] Messaoudi Leila, (20212), « sur les technolectes », Rabat, laboratoire langage et société CNRST – URAC 56, Rabat net, 238 p.
- [14] Messaoudi Leila, (20210), « Langue spécialisée et technolecte: quelles relations? » Revue Meta, Montréal, presses de l'université de Montréal, pp.127-136.
- [15] Messaoudi Leila, (2003), « étude sociolinguistique », Rabat, OKAD, 250 p.
- [16] Ouassou Ali, (27&28 Mai 2016), « langue, domaine et technolecte: quelle relation ? », colloque « Technolectes et domaine », UCAM, FLSHM, laboratoire LCP, laboratoire langage et société, réseau maghrébin des technolectes antenne de Marrakech.
- [17] Puren Christian, (2004), « De l'approche par les tâches à la perspective co-actionnelle », Cahiers de l'APLIUT, Vol. XXIII N° 1 | 10-26.
- [18] Rousseau. Louis-Jean, (2008), « Technolectes: omniprésence et foisonnement », Ed: Circuit, Le magazine d'informations des langues, ordre de traducteurs terminologues et interprètes du Québec; N° 98, Québec, pp: 6-7.

