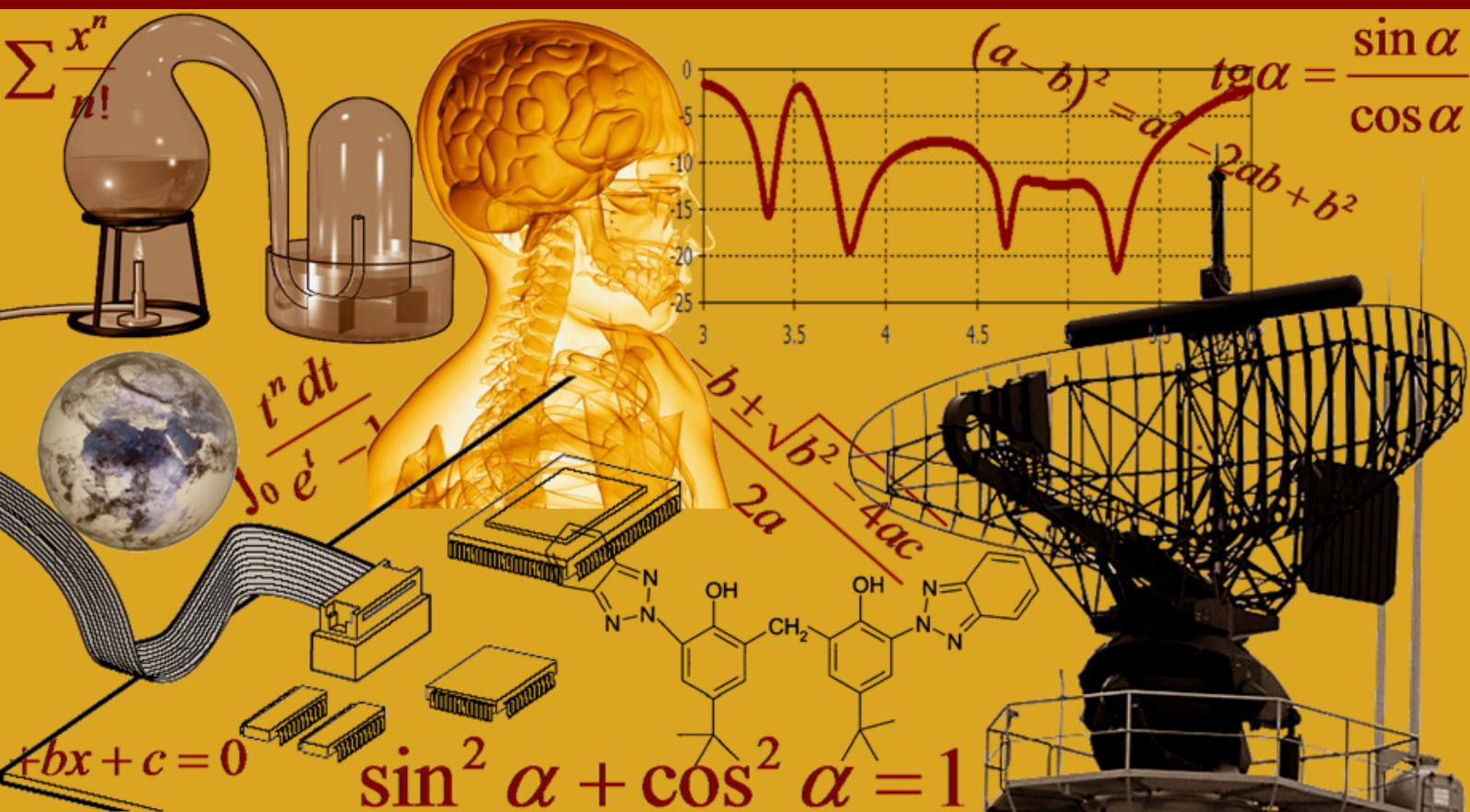


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND SCIENTIFIC RESEARCH

Vol. 29 N. 2 March 2017



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.

Table of Contents

A new time-spatial method for the evaluation of groundwater contamination beneath a MSW sanitary landfill: A case story	87-95
<i><u>Gianluca Intini, Lorenzo Liberti, and Vito Caputi</u></i>	
Effets de rejets industriels de l'usine de traitement d'eau de Kinshasa (REGIDESO) sur la qualité physico-chimique et biologique des eaux des rivières Matete et N'djili, RD Congo	96-109
<i><u>Nadine Bipendu Muamba, Vincent Lukanda Mwamba, Dieudonné Musibono Eyul'Anki, Victor Pwema Kiamfu, and Koto-te-Nyiwa Ngbolua</u></i>	
Technical Efficiency of Maize Farmers in Ghana: A Stochastic Frontier Approach	110-118
<i><u>Abdallah Abdul-Hanan and Awal Abdul-Rahaman</u></i>	
Etudes floristique, phytosociologique et phytogéographique de la végétation herbacée et du sous-bois de la réserve forestière de la Yoko (Province de la Tshopo, RD Congo)	119-136
<i><u>Reddy E. Shutsha, Justin A. Asimonyio, Joseph M. Omatoko, Jean-Léon K. Kambale, Roger A. Angoyo, Christophe B. Lomba, M.B. Ndjele, and Koto-te-Nyiwa Ngbolua</u></i>	
Optical performances of a solar parabolic trough collector for various solar tracking modes under climatic conditions of Maroua	137-148
<i><u>Joseph Kessel Pombe, Haman Djalo, Beda Tibi, and Albert Ayang</u></i>	
Optical and thermal performances of a solar parabolic trough collector under climate conditions of the Cameroon Sahelian Zones	149-165
<i><u>Joseph Kessel Pombe, Haman Djalo, Beda Tibi, Etienne Tchoffo Houdji, and Steven Heugang Ndjanda</u></i>	
La mastite granulomateuse idiopathique: Une entité à ne pas méconnaître	166-171
<i><u>Mohamed Amine Azami, Iliass El Alami, Mounir Moukit, Abderrahmane Al Bouzidi, and Mohamed Oukabli</u></i>	
Analyse de l'incidence financière de l'apparition des Epidémies d'Ebola et de Lassa sur la chasse à la battue dans les périphéries de la commune de Parakou au Nord-Bénin	172-183
<i><u>K. P. Degla, S. Mama Soule, G. E. Kpadonou, O. R. Adjibi, and G. Aquenounon</u></i>	
Electrochemical Studies on Ion Pairs Formation of Sodium Diethyldithiocarbamate in Water	184-192
<i><u>Nasr Hussein El-Hammamy and Haitham Ahmed El-Araby</u></i>	
Double Optimization of Machine-Tool Setting in the Case of Total Inertial Steering (TIS)	193-203
<i><u>Abdelhakim Boukar, Maurice Pillet, and Eric Pairel</u></i>	

A new time-spatial method for the evaluation of groundwater contamination beneath a MSW sanitary landfill: A case story

Gianluca Intini¹, Lorenzo Liberti², and Vito Caputi³

¹T&A Technology and Environment, LLC,
Via Tanzi 39/E, 70121 Bari, Italy

²Dept. Civil and Environmental Engineering,
Technical University of Bari,
Via Orabona, 70125 Bari, Italy

³Daneco Impianti srl,
Via Sardegna 38 - 00187 Roma, Italy

Copyright © 2017 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: Waste sanitary landfilling is generally opposed by public opinion as responsible of aquifer contamination even when other possible contaminating sources exist in the area. A new tool based on time-spatial evaluation of groundwater contamination is presented, capable of appreciating the direct responsibilities of a MSW sanitary landfill when the aquifer becomes polluted. A successful application of the tool to the case of a medium-size Italian city is discussed.

KEYWORDS: solid waste disposal; aquifer pollution; responsibility assessment among various players.

1 INTRODUCTION

Groundwater provides irrigation (60%), industrial (20%) and drinking (20% on the average) water sources to immense population in rural, industrial and metropolitan areas in developing and developed countries of the world like in the Greatest Milan area (Italy), while 50% of U.S. citizen served by public water supplies rely on the aquifer [1]. The “*circular economy*”, predicted since the 1940s [2] and today mandatory in fast growing nations like China [3], aiming at 100% recovery and recycling in waste management (*zero waste*), still requires back-up sanitary landfilling in the mid-term years and for unavoidable occasional plant shutdown. Although other sources, including septic systems, pesticides, underground storage tanks etc., can often contribute significantly, aquifer contamination by uncontrolled dump sites and even by engineered sanitary landfills tends to attract the greatest concern from Regulatory Authorities and consumer associations as numberless incidents where leachate polluted the underlying groundwater aquifer or nearby water bodies are being reported worldwide.

The physio-bio-chemical characteristics of leachate are highly variable depending on several factors, e.g., waste composition, site hydrology, local meteorology, waste compaction, cover design, landfill design and operation etc. [4]. Many models have been proposed so far to evaluate the transport of contaminants throughout the soil profile, with dubious success [5]. Leachate produced from municipal solid waste (MSW) landfills, in particular, is generally heavily contaminated and consists of complex wastewater that is very difficult to deal with, being intrinsically heterogeneous and exhibiting huge temporal and seasonal variations [6],[7]. In some cases, furthermore, the contamination effect of leachate leaking the landfill liner system may become evident months or even years after the leak has occurred, depending on the flow velocity and flow direction of the groundwater, quite often moving continuously, but very slowly (few meters per year), through the open spaces in soil and rock. When a landfill contaminates groundwater, a plume of contamination occurs: wells in that plume will be polluted, while other wells, even closer to the landfill, may be unaffected if they are not in the plume.

Close, long term, monitoring and the knowledge of local direction of groundwater flow are accordingly mandatory for early warning and detection of the leachate leaking. This was the case of the MSW sanitary landfill of Andria (NW of Apulia Region, South Italy), initially blamed for contaminating the underlying aquifer and finally cleared of the accuse after a specific time-spatial evaluation of the problem was carried out, as described in this paper.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 STUDY LOCATION

The MSW sanitary landfill is 9.5 km South of the Adriatic Sea coastline, 100±110 m above the sea level and 3 km W-NW of Andria, the 100,000 inhabitants capital of the BAT Province (Fig.1). The MSW landfill was built in 1993 from an open-pit calcareous quarry with sub-vertical walls, using the best pertinent European engineering norms (full waterproofing by 1m compacted clay with 1×10^{-7} cm/s permeability plus a welded-on-site polyethylene synthetic linen, automatic drainage and treatment of leachate, in situ biogas collection and combustion, groundwater monitoring wells etc.). The plant consists of 2 adjacent quarries with levelled depth of 15 m, divided by a natural limestone rock wall into Sections A and B (Fig.2). With an overall net capacity of 1.4 Mt MSW, the upper section (A) received ≤ 0.1 Mt/year from a 300,000 inhabitants area around Andria until it was exhausted in 2010 after 17 years of continuous operation (Fig.3).

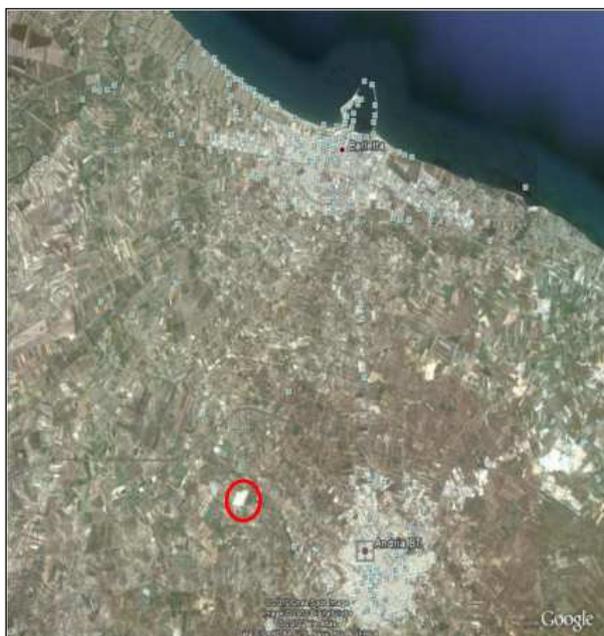


Fig. 1. Site location of Andria MSW sanitary landfill

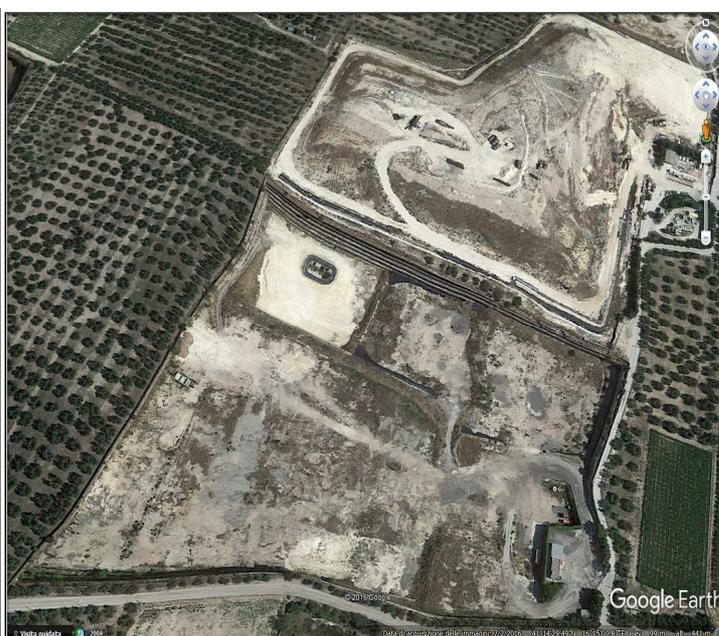


Fig.2. Upper (A) and lower (B) sections of Andria sanitary landfill

Fig.4 shows the layout of the landfill with the exhausted upper Section A (white-grey) and lower Section B split in 3 sub-sections (blue border), aimed with its net capacity of 0.7 Mt at complementing the nearby brand-new MSW bio-mechanical treatment plant (down at left). Section B is equipped with 6 new monitoring wells PN_{1÷6} in addition to the 4 monitoring wells P_{1÷4} that served Section A) (in fact, PN3 substituted P2, for 10 monitoring wells overall), plus the existing P_{acquaviva} well at the SE border.

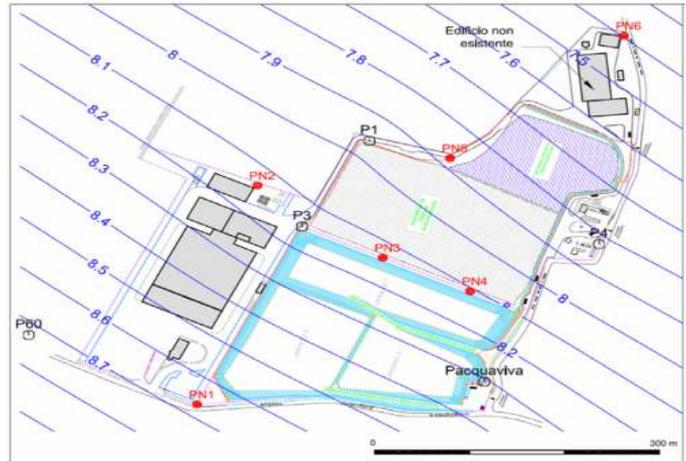
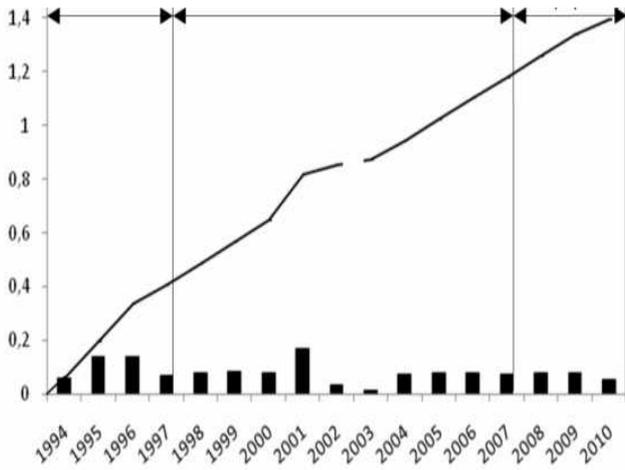


Fig.3. Operation chronogram of Andria Section A landfill Fig.4. Layout of A (upper) and b (lower) MSW Andria landfill Sections

After the assessment of heavy contamination of local groundwater in 2010, Section B was denied the construction permit.

2.2 AQUIFER DESCRIPTION

The aquifer consists locally of two water-tables, the unpressurized (“free”) upper one, at 90±100 m below ground level (20±10 m above sea level), and the pressurized, much deeper, lower one. Land use maps show that the area is intensely cultivated, with crop irrigation allowed by tents of wells, largely private. This is causing increasing salinization of the aquifer, where a major saline intrusion cone (3.5g/l, red arrows) already reached the landfill (Fig.5). Detailed hydraulic measurements allowed to estimate accurately flow direction (SW → NE) of groundwater beneath the exhausted Section A of the landfill as shown in Fig.6, where the numbered solid lines indicate the groundwater table height (hydraulic head in meters above sea level), slowly decreasing towards the sea at N-NE.

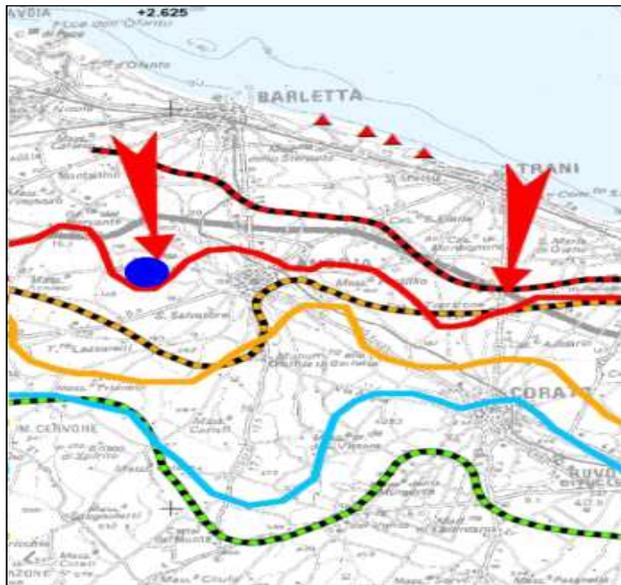


Fig.5. Aquifer isohaline (g/l) in the area (● Andria landfill)

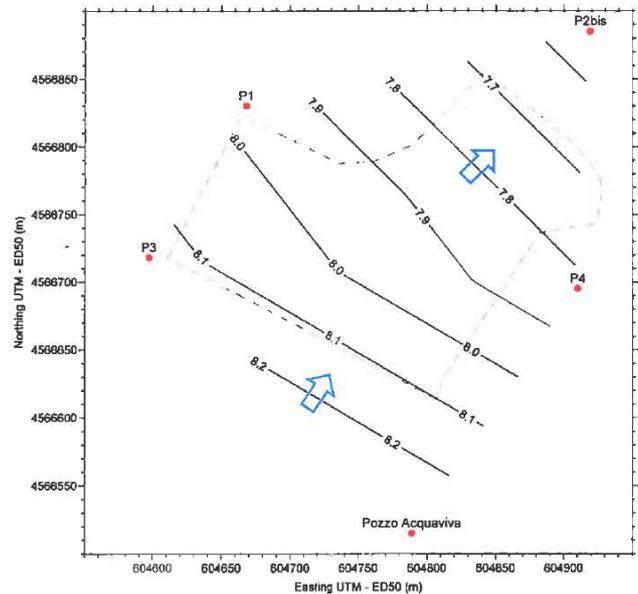


Fig.6. Groundwater flow direction below Andria Section A) landfill

2.3 WATER QUALITY STANDARDS

As indicated, groundwater use for agriculture is largely prevailing in the area. However, there are no quality standards for irrigation water in Italy. In order to assess the contamination of the aquifer, hence, 5 different standards were considered in this study, namely:

- 1) The 1994 Food and Agriculture Organization (FAO) standards for agriculture [8]
- 2) Italy’s Ministry Decree No.185/2003 for municipal wastewater reuse

- 3) Italy's Legislative Decree No.152/2006 for municipal wastewater discharge (Annex 5, Part 3, Tab.3)
- 4) Italy's Legislative Decree No.31/2001 for water to be used for potable consume
- 5) Italy's Legislative Decree No.152/2006 for groundwater to be classified "officially contaminated".

2.4 THE TIME-SPATIAL EVALUATION PROCEDURE

The assessment of the contamination of the groundwater beneath Section A convinced local Administrative Authorities to deny the permit to build the Section B landfill, serving as a backup for the new complex plant for reclamation of Andria MSW.

In order to ascertain eventual responsibility of Section A in the contamination of local groundwater during its 17 years of operation (1994÷2010), all the analytical results of quarterly controls of groundwater quality carried out systematically by the owner of the landfill and occasionally by the Regional Agency for Environment Protection (ARPA) on the samples taken from its 4 monitoring wells (P3, P1, P4 and P2bis) were considered in order to appreciate the evolution of the groundwater moving through and beyond the landfill during the years. Table 1 reports the technical characteristics of the 4 control wells.

Table 1. Technical characteristics of the 4 control wells of Section A) of the landfill

Well	Year	Position (m on s.l.)	Abs. level (m)	Rel. level (m on s.l.)	Drilling Φ (mm)	Coating Φ (mm)	Coating	Inner volume (m ³)	Flow rate (l/s)	Flow position
P3	1998	121	114.19	8.14	220	180	steel	0.8	1	upstream
P1	1993	121	112.36	7.97	160	120	PVC	0.4	1	midstream
P4	1998	133	101.53	7.82	220	190	steel	1.8	1	midstream
P2bis	1998	135	101.30	7.54	220	180	PVC	0.8	1	downstream

The analytical results for each water parameter in each sample of the 4 wells during the 17 years were plotted, so to have the time evolution of groundwater quality in each well. The 4 plots obtained for each parameter were then arranged spatially (i.e., the plots of downstream P2bis well followed those of the mid-stream P1 and P4 wells, following in turn those of the upstream P3 well) so to have the time-spatial evolution of groundwater quality beneath Section A landfill throughout its service life. Furthermore, each plot reports, by a solid line with different color, the benchmark limit for that parameter (if existing) according to the different standards shown at Paragraph #2.3: if exceeding the limit(s), the experimental value is in the corresponding color thus facilitating "de visu" appreciation of the time-spatial groundwater evolution for that parameter.

Tab.2 indicates the 45 groundwater parameters taken into consideration. For ease of representation, only the plots with groundwater parameters exceeding the limit(s) are reported in this paper.

All physical, chemical and biological analyses were carried out according to Standard Analytical Methods [9].

Table 2. Groundwater analytical parameters considered

Physical	TDS, temperature, electric conductivity, pH, oxidation capacity
Chemical (common inorganic species)	Na ⁺ , K ⁺ , Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , F ⁻ , SO ₄ ⁼
Chemical (polluting inorganic species)	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻
Chemical (toxic in/organic species)	Pb, Cr _{tot} , Cr ⁺³ , Ni, Cd, B, Be, Fe, As, Co, CN, Sn, Cu, Hg, Mn, Se
Chemical (common organic parameters)	TOC, BOD, COD
Chemical (toxic organic species)	Benzene, Total Phenols, Chlorinated Solvents, Aromatic Solvents
Microbiological	Total Bacterial Count, Enterococci, Escherichia coli, Clostridium Perfringens, Fecal Coliforms, Total Coliforms

3 RESULTS AND DISCUSSION

Tab.3 reports the results of a typical analysis of local groundwater carried out by ARPA (Nov. 2008), showing the variation range of the analyses among the 4 wells. The salinity exceeded the limit imposed by FAO (agriculture use), due to local intense groundwater exploitation for irrigation and to its consequent salinization, as previously explained.

Table 3. Concentration of major parameters in the groundwater (red values exceed FAO limits for irrigation)

Parameter	M. U.	P3	P1	P4	P2bis
Electrical conductivity	$\mu\text{S/cm}$	4,680	4,400	4,600	4,600
TDS	mg/l	3,589	3,631	3,730	3,622
Ca ⁺⁺	mg/l	105	116	112	109
Mg ⁺⁺	mg/l	81	85	81	85
Na⁺	mg/l	839	811	854	837
K ⁺	mg/l	22	23	73	25
HCO ₃ ⁻	mg/l	385	395	410	400
Cl⁻	mg/l	1,300	1,265	1,255	1,308
SO ₄ ⁼	mg/l	172	168	171	171

Fig.7 shows the time-spatial evolution of physical parameters of the groundwater travelling beyond the landfill Section A, measured each April (after the rainfall season) from 1994 to 2010. No variation of the parameters in groundwater referable to landfill activity could be appreciated throughout the 17 years. Interesting to note, the groundwater temperature suddenly underwent a noticeable variation ($\pm 6^\circ\text{C}$) in April 2005, requiring over 1 year to be recovered. This was due to a moderate earthquake in that area, as revealed by local seismographic stations.

Fig.8 presents the time-spatial variation of the Nitrogenous ions (Ammonium, Nitrite and Nitrate) in local groundwater. It is evident that the concentration of NH_4^+ , a most typical marker of leachate leaking from MSW landfills, is almost negligible, exceeding occasionally the drinking water limit and in 2 cases (April '99 in P1) also the FAO limit for irrigation. Same absence occurs for nitrites, exceeding only in one occasion the D.Lgs. No.152/06 limit for contaminated groundwater. Accounting also for the intrinsic Oxygen shortage in aquifers, the abundance of nitrates is clearly due to the intense use of fertilizers.

An alarming situation concerned the severe groundwater contamination by heavy metals and organic solvents, the main reason to deny permit to continue the landfilling by section B when section A went to its end. Time-spatial data exhibition in Fig.9, however, provided a double justification: first, the contamination interested exclusively the initial landfill operation as by 2005 all concentrations fit the standard; second, most important, the temporary groundwater contamination was already present upstream the landfill and it did not deteriorate further with groundwater moving along the landfill. The pollution was explained with the existence of uncontrolled polluting activities of a tanning factory upstream the landfill, closed in 2005.

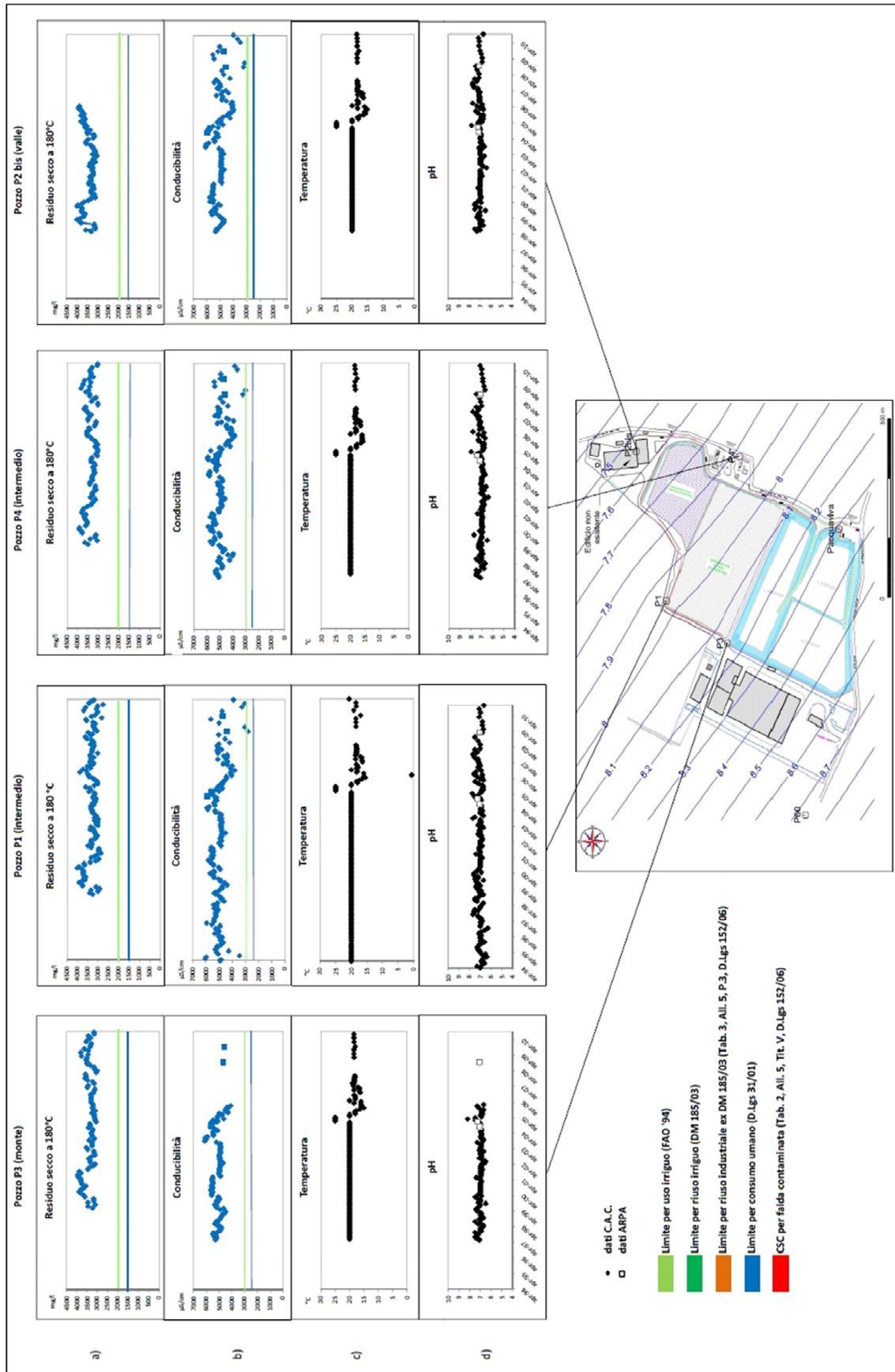


Fig.7. Variation of physical parameters of the groundwater moving along Section A) of Andria MSW sanitary landfill

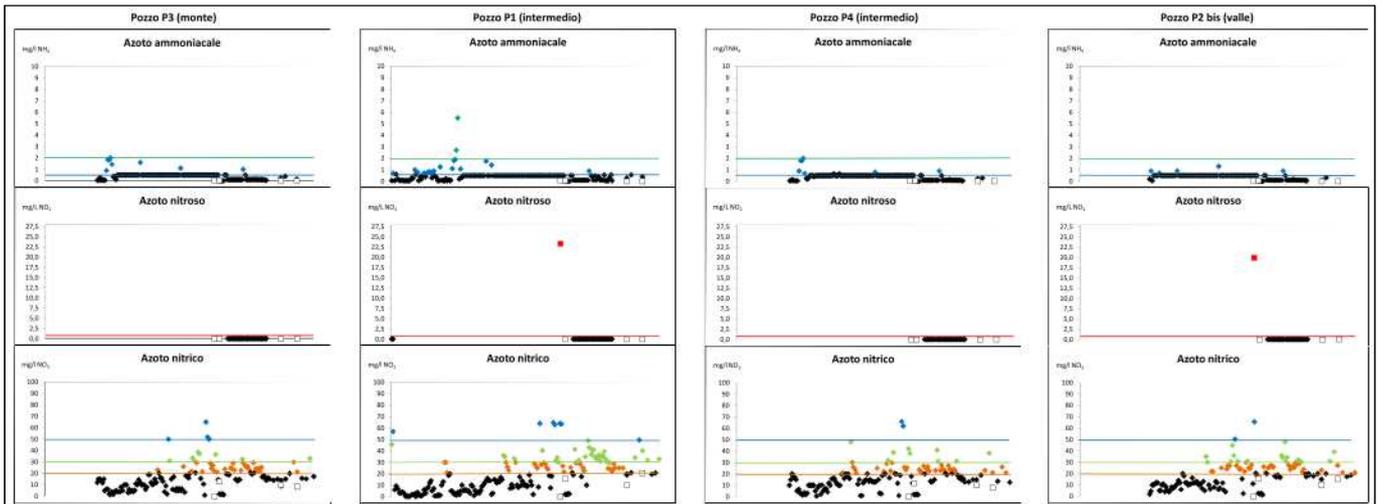


Fig.8. Variation of Nitrogenous ions in the groundwater moving along Section A) of Andria MSW sanitary landfill

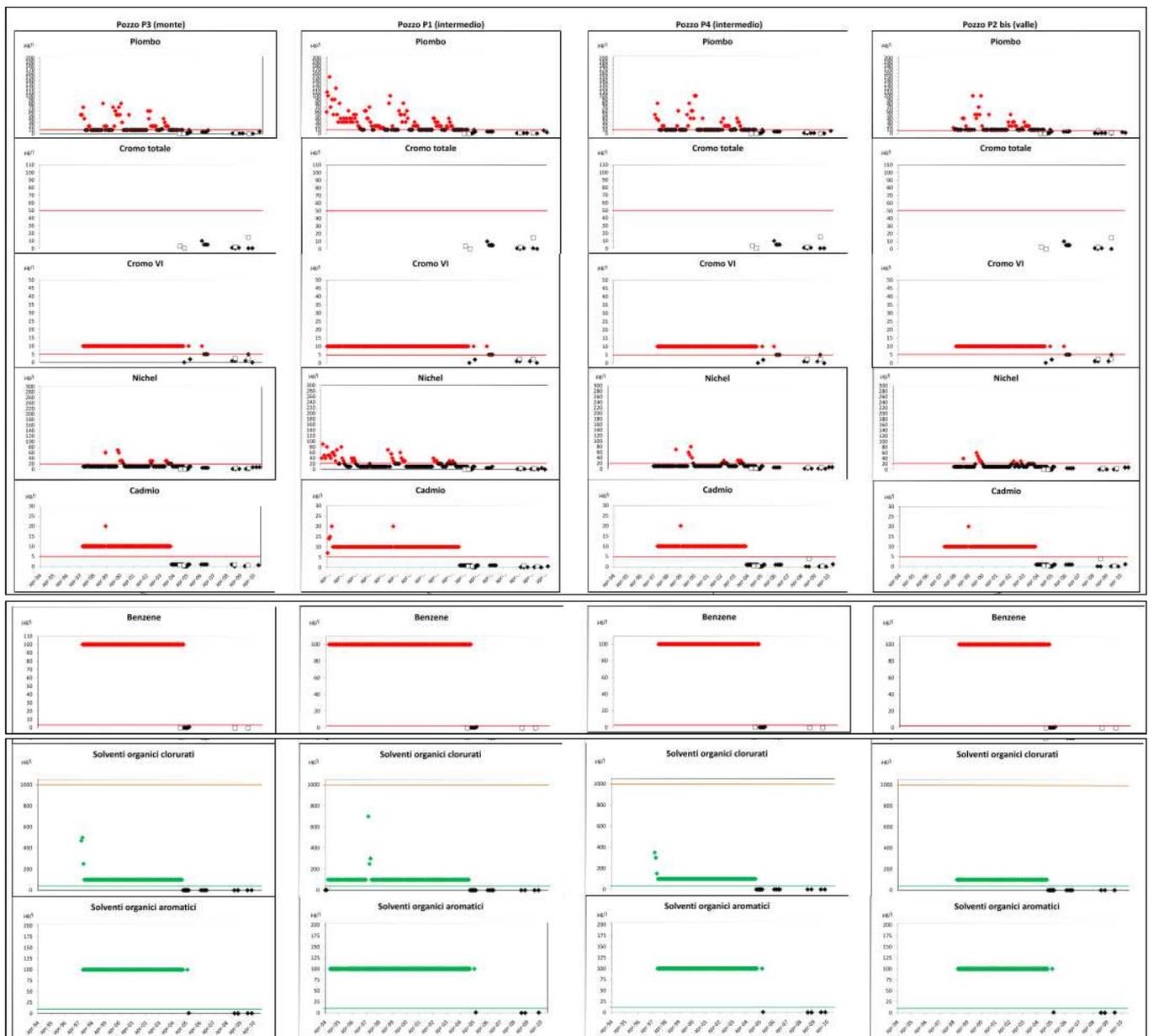


Fig.9. Variation of toxic species concentration in the groundwater moving along Section A) of Andria MSW sanitary landfill

Finally, Fig.10 shows that the concentration of Fecal and Total Coliforms, typical indicators of MSW landfill leachate, was almost and permanently negligible. Their occasionally presence (still below all the ongoing limits) in the groundwater was detectable since upstream, thus excluding conclusively that Andria landfill should be blamed upon deteriorating the aquifer.

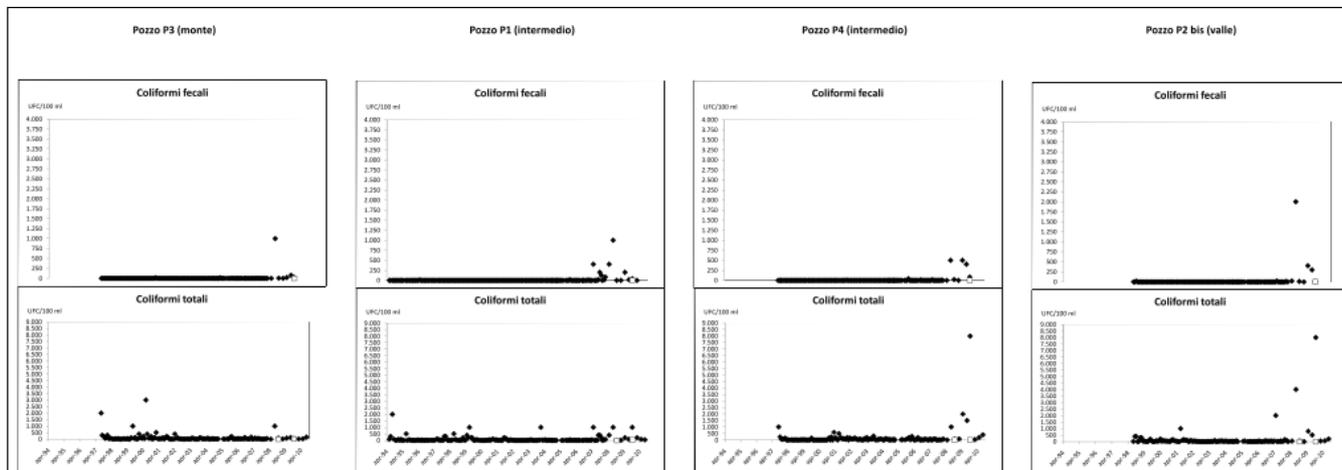


Fig.10. Variation of microbial concentration in the groundwater moving along Section A) of Andria MSW sanitary landfill

All the other 27 species analyzed in the groundwater (more heavy metals, toxic chemicals, TOC, COD, BOD etc., see Tab.2) respected, during those 17 years and along the landfill, all the 5 different standards considered as reference in this study.

On the ground of the results of this time-spatial evaluation of the potentially polluting performance of Andria Section A) MSW sanitary landfill, the new MSW complex bio-mechanic-chemical treatment plant has been approved and constructed. Now the plant is regularly operating, including the back-up Section B sanitary landfill, almost exhausted yet (Fig.11).



Fig.11. Present situation of Andria MSW bio-mechanic-chemical treatment plant with Section B) landfill almost exhausted (bottom left)

4 CONCLUSION

The “zero waste” economy aiming at 100% recovery and recycling in waste management, still requires back-up sanitary landfilling for the unavoidable occasional plant shutdown. However, sanitary landfilling technology is largely refused by Civic Administrations and by the public opinion, being blamed as the exclusive polluter of the aquifer even when other activities, potentially producing the same contaminants, are active in the area. A method capable of discriminating the pollution responsibilities among various players, accordingly, is often required.

This study introduced a new tool to this aim, based on time-spatial evaluation of eventual groundwater contamination near a MSW sanitary landfill, allowing to appreciate who and when eventually caused the pollution of the beneath aquifer.

Applied for the first time to the case of Andria (Italy) MSW sanitary landfill, the new tool permitted to face positively the local opposition to a new modern plant for MSW reclamation that included a back-up sanitary landfill after the previous one was exhausted. No further complaint was raised after the new plant, now marking its 5th year of continuous operation.

REFERENCES

- [1] P. Hall, *Cities of Tomorrow. An Intellectual History of Urban Planning and Design in the Twentieth Century*, Blackwell, Oxford (UK) 1940.
- [2] Y. Geng, J. Sarkis, S. Ulgiati and P.Zhang, *Measuring China’s Circular Economy*, *Science*, Vol.339, No.6127, pp.1526-1527, 2013.
- [3] The Groundwater Foundation, *Potential Threats to Groundwater*, 2016. Available at www.groundwater.org.html.
- [4] D. Kulikowska and K. Klimiuk, “The Effect of Landfill Age on Municipal Leachate Composition”, *Bioresource Technology*, Vol.13, No. 99, pp.5981-5985, 2008.
- [5] L. Jeffery and J.Sajostrom, “Optimizing the Experimental Design of Soil Columns in Saturated and Unsaturated Transport Experiments”, *Journal of Contaminant Hydrology*, Vol. 115, pp.1-13, 2010.
- [6] S. Mohajeri, H.A. Aziz, M.H. Isa, M.A. Zahed and M.N. Adlan, “Statistical Optimization of Process Parameters for Landfill Leachate Treatment”, *Journal of Hazardous Materials*, 176(1-3), pp.749-758, 2010.
- [7] B. Bhalla, M.S. Saini and M.K. Jha, “Assessment of Soil Contamination near Unlined MSW Landfill”, *International Journal of Current Engineering and Technology*, Vol.4, No.4, pp.2678-2683, 2014.
- [8] R.S. Ayers and D.W. Westcot, *Water Quality for Agriculture*, FAO Irrigation and Drainage Paper No.29 Rev. 1, 1994.
- [9] APHA, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, American Public Health Assoc., Washington, D.C., USA, 1994.

Effets de rejets industriels de l'usine de traitement d'eau de Kinshasa (REGIDESO) sur la qualité physico-chimique et biologique des eaux des rivières Matete et N'djili, RD Congo

[Effects of industrial wastes from water treatment station of Kinshasa city (REGIDESO) on the physicochemical and biological quality of water of Matete and N'djili rivers (RD Congo)]

Nadine Bipendu Muamba¹, Vincent Lukanda Mwamba², Dieudonné Musibono Eyul' Anki³, Victor Pwema Kiamfu⁴, and Koto-te-Nyiwa Ngbolua⁴

¹Département de Chimie, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, B.P. 190, Kinshasa XI, RD Congo

²Département de Physique, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, B.P. 190, Kinshasa XI, RD Congo

³Département de l'Environnement, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, B.P. 190, Kinshasa XI, RD Congo

⁴Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, B.P. 190, Kinshasa XI, RD Congo

Copyright © 2017 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 effluents from the water treatment station of REGIDESO located in Kingabwa (Kinshasa city) are accused of reducing aquatic biodiversity of Matete and N'djili rivers and are responsible of some human diseases. The effects of these effluents on the physico-chemical and biological quality of water of Matete and N'djili rivers were evaluated. The benthic macro-invertebrates and *Gambusia affinis* were used as biodiversity richness indicator and model system for toxicity assays. The analyses of physicochemical parameters revealed a constant temperature in the stations studied (± 25 °C) and a high value of conductivity in the sites near the effluents discharge location. On the whole of the sites, the bacterial load was reduced to the neighboring sites of the effluents discharge. The pH is slightly acidic depending on the period and the sampling sites. Dissolved oxygen decreases as sampling seasons. 1405 specimens of benthic macro-invertebrates including 499 in the rainy season and 906 in dry season were harvested. The Shannon index value ranges from 0.4 to 2.9 during rainy season and 1.7 to 2.9 during dry season, reflecting the passage of polluted water to moderately pollute in rain season and moderately polluted to slightly pollute in the dry season. The toxicity bioassay revealed that these effluents are toxic ($LC_{50}=0.109\%$). It is thus desirable to install a monitoring system near of the station of water purification of the REGIDESO N'djili in order to regularly control the dangerousness of the effluents poured in the surrounding watery ecosystems.

KEYWORDS: Water quality assessment, bio-indicators, Macro-invertebrates, *Gambusia affinis*, aquatic ecosystem, pollution.

RÉSUMÉ: Les effluents provenant de la station d'épuration d'eau de la REGIDESO installée à Kingabwa (Kinshasa) sont accusés de réduire la biodiversité aquatique des rivières Matete et N'djili et d'occasionner certaines maladies chez l'homme. Les effets de ces rejets industriels sur la qualité physico-chimique et biologique des eaux des rivières Matete et N'djili ont été évalués. Les macro-invertébrés benthiques et *Gambusia affinis* ont été utilisés respectivement comme l'indicateur de la richesse en biodiversité et système modèle pour le test de toxicité. L'analyse des paramètres physicochimiques révèle que la température est constante (± 25 °C) aux différents points échantillonnée et une valeur élevée de la conductivité dans les sites proches du point de rejet. Sur l'ensemble des sites, la charge bactérienne était réduite aux sites proches du lieu de déversement des effluents. Le pH est légèrement acide et la teneur en O₂ dissous décroît selon les saisons. 1405 macro-invertébrés benthiques appartenant à 4 classes ont été identifiés. 499 en saison de pluie et 906 en saison sèche. L'indice de Shannon varie de 0,4 à 2,9 en saison de pluie et de 1,7 à 2,9 en saison sèche et indique que les eaux passent de polluées à

moyennement polluées en saison des pluies et de moyennement polluées à faiblement polluées en saison sèche. Le bio-test au *Gambusia affinis* a révélé que la toxicité de ces effluents ($LC_{50} = 0.109\%$). Il est donc souhaitable d'installer un système monitoring à côté de la station d'épuration d'eau de la REGIDESO N'djili en vue de contrôler régulièrement la dangerosité des effluents déversés dans les écosystèmes aquatiques environnants.

MOTS-CLEFS: Evaluation de la qualité de l'eau, bio-indicateur, macro-invertébrés, *Gambusia affinis*, écosystème aquatique, pollution.

1 INTRODUCTION

Les problèmes liés aux rejets domestiques et industriels conduisent aux différentes maladies qui affectent la santé humaine. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), 80% des maladies de la planète sont liées en partie à l'insuffisance de l'évacuation des matières fécales et aux intoxications chimiques [1].

Les effluents provenant de la station d'épuration d'eau de la Regideso N'djili installée au quartier Kingabwa à Kinshasa sont accusés de réduire la biodiversité aquatique des rivières Matete et N'djili et d'occasionner certaines maladies chez l'homme. Il devient ainsi urgent de mener des études de manière à valider cette information afin de prendre des mesures qui s'imposent pour sauvegarder la biodiversité. L'apport des effluents en milieu aquatique peut profondément modifier la physico-chimie du milieu récepteur et sa diversité biologique [2, 3]. Ces modifications sont fortement liées au régime hydrologique des hydro-systèmes, à la qualité de l'eau et peuvent provoquer la régression démographique de la biodiversité dans les milieux aquatiques de toutes les régions du monde [4, 5].

Les multiples formes de dégradation de l'habitat physique, l'exploitation halieutique et les pollutions d'origines diverses sont des facteurs anthropiques qui menacent gravement la biodiversité aquatique [6]. L'étude de l'impact de ces apports sur le milieu récepteur se fait à travers des approches multiples liées à la complexité des écosystèmes aquatiques. Toutes ces approches présentent des limites et sont par conséquent complémentaires, d'où l'intérêt de les utiliser conjointement pour palier à certains inconvénients [7-9].

La physico-chimie indique les causes de la perturbation relevée au moment des prélèvements. Ces derniers sont souvent ponctuels dans le temps et peuvent donc être faits avant ou après un rejet. En plus, la physico-chimie ne permet pas d'en prédire les effets et se révèle toujours incomplète au vu du nombre de polluants présents dans les rejets. Ainsi, pour évaluer le degré de pollution des cours d'eau, certains chercheurs recourent à l'analyse de la faune et de la flore présentes à ces endroits et à un moment donné. D'autres encore combinent les deux méthodes tout en recherchant les taxons indicateurs [10].

L'hypothèse émise dans ce travail concerne la réduction de la biocénose des rivières Matete et N'djili par les effluents de la station d'épuration d'eau de la Regideso. Ainsi, cette étude vise la détermination du degré de pollution des effluents provenant de la station d'épuration d'eau de la Regideso située au quartier Kingabwa à Kinshasa. Il s'agit plus spécifiquement, d'étudier la charge microbienne de cette eau, de déterminer les paramètres physico-chimiques des eaux en amont, en aval et au lieu du déversement des effluents et d'analyser la composition spécifique des macro-invertébrés.

2 MILIEU, MATERIEL ET METHODES

2.1 MILIEU ET MATÉRIEL BIOLOGIQUE UTILISÉ

Sept sites ont été sélectionnés sur base du gradient de conductivité préalablement mesurée sur les tronçons de deux cours d'eau : Matete et N'djili .

La figure 1 donne la localisation géographique des sites d'échantillonnage.



Figure 1: Localisation géographique des sites d'échantillonnage

Les prélèvements des échantillons ont été effectués pendant les trois périodes de saison: (1) Fin saison des pluies (S1) : Fin Mai 2010; (2) Début saison sèche (S2) : Début Juin 2011 et (3) Début saison des pluies (S3) : Début Sept 2011. Les caractéristiques des sites sont reprises au Tableau 1.

Tableau 1. Description des sites de prélèvement et leurs caractéristiques

Points de prélèvement	Caractéristiques
1. Quartier Abattoir (A)	Echantillon témoin de la N'djili
2. Sortie de Matete (B)	Echantillon témoin de la Matete
3. Nganda Lokondo (C)	Mélange (brassage) des eaux de la Matete et N'djili ou zone de bon mélange
4. Pont Gecoco (D)	Site victime de la pollution fécale et celle due aux effluents.
5. Lieu de Restitution (E)	Lieu d'évacuation des eaux non traitées au niveau de la Regideso
6. Lieu de déversement des effluents (F)	Site indiquant l'origine de la minéralisation
7. Amont du lieu de déversement (G)	Site qui n'est pas en contact avec la minéralisation

Pour évaluer la qualité de l'eau des rivières Matete et N'djili, nous avons utilisé les macroinvertébrés benthiques et les coliformes.

2.2 MÉTHODES D'ÉTUDE

• Prélèvement des échantillons d'eau

L'eau destinée à l'analyse bactériologique a été prélevée dans des flacons en verre de 250 ml préalablement stérilisés pendant une demi-heure à 120 °C pendant 15 minutes dans l'étuve.

Les flacons étaient rincés plusieurs fois avec l'eau à analyser et fermés hermétiquement sans laisser de bulles d'air puis placés dans une glacière (2 à 4 °C) jusqu'au moment de l'analyse au laboratoire [11].

• Mesure des paramètres physico-chimiques

Quatre facteurs écologiques ont été étudiés : La température (°C), le pH, la conductivité (µs/cm), la turbidité (UNT) et l'oxygène dissous (mg/l). Ces paramètres ont été mesurés in situ à l'aide d'une sonde multi-paramètres de marque WTW 340i/SET.

- **Analyse bactériologique**

L'analyse bactériologique a été faite pour le dénombrement des germes pathogènes ainsi que l'indicateur de la pollution fécale. La charge microbienne a été réalisée selon la méthode de dilution classique. Brièvement, un millilitre de l'échantillon brut a été prélevé, puis placé dans un tube à essai stérile jusqu'au trait de jauge de 10 ml. Chaque échantillon a été soigneusement homogénéisé dans l'eau physiologique. Les dilutions 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} et 10^{-4} , ont été préparées à partir de cette suspension. Un inoculum de 1 ml de chaque dilution a été ensemencé dans une boîte de pétri contenant le milieu de culture gélosé puis incubation dans l'étuve (37 °C-44 °C) pendant 48 heures avant de compter le nombre des colonies. Nous avons utilisé le milieu de Mac Conkey pour éliminer la flore secondaire des produits poly-microbiens et la Trypcase Sulfite Néomycine pour identifier le *Clostridium*.

- **Qualité écologique de l'eau**

La qualité écologique de l'eau a été étudiée à l'aide de la richesse taxonomique et de l'abondance relative. Tandis que l'évaluation de l'impact d'une éventuelle modification du milieu a été faite à partir de l'indice de Shannon-Weaver selon la relation suivante [12] :

$$H = - \sum_{i=1}^S (ni / N) \cdot \log_2 (ni / N)$$

Où, i varie de 1 à S (nombre de taxons), ni : effectif du taxon i; N : effectif total et H' : Indice de diversité de Shannon et Weaver. Dans la nature, la valeur de H' se situe entre 0,5 (très faible diversité) et 4,5 (dans le cas d'échantillons de grande taille de communautés complexes) [13-20]. Du point de vue de la pollution, cet indice permet de distinguer quatre classes de qualité des eaux : (a). $H' > 3$: indique une eau propre ; (b). $2 < H' \leq 3$: indique une eau faiblement polluée ; (c). $1 < H' < 2$: indique une eau moyennement polluée ; d. $H' < 1$: indique une eau polluée [12, 21]. La récolte des macro-invertébrés était réalisée à l'aide d'un filet troubleau de dimension 30x30 cm muni d'un filet conique de 400 µm de maille. Leur identification a été faite à l'aide d'une loupe binoculaire de marque Wild M5 (50x50).

- **Toxicité des effluents**

Pour évaluer la toxicité de la boue de l'usine de traitement d'eau, nous avons utilisé comme modèle (bio-indicateur) le poisson *Gambusia affinis* (Poeciliidae). Ce dernier était pêché dans la rivière Kalamu à Kinshasa. Cinq cent millilitres d'effluent brut prélevé à la station de production d'eau potable de la Regideso N'djili ont constitués la solution mère à partir de laquelle les dilutions ont été préparées. Trois spécimens de *Gambusia affinis* ont été placés dans chaque vivarium pour le test de toxicité. Chaque concentration était reprise cinq fois. Les manifestations ci-après étaient observées : prise d'oxygène de l'air à la surface du vivarium, perte de la mobilité à la nage et mortalité. Les poissons morts ont été immédiatement enlevés des solutions [22].

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 PARAMÈTRES MICROBIOLOGIQUES

Dans les sites étudiés, la charge bactérienne des germes totaux a variée avec la saison et l'écoulement des effluents sur la rivière Matete jusqu'à sa jonction avec la rivière N'djili (Figure 2). Une réduction de la charge bactérienne est constatée à proximité du site de rejet mais elle a augmentée tout au long de son parcours jusqu'au point de jonction avec la rivière N'djili.

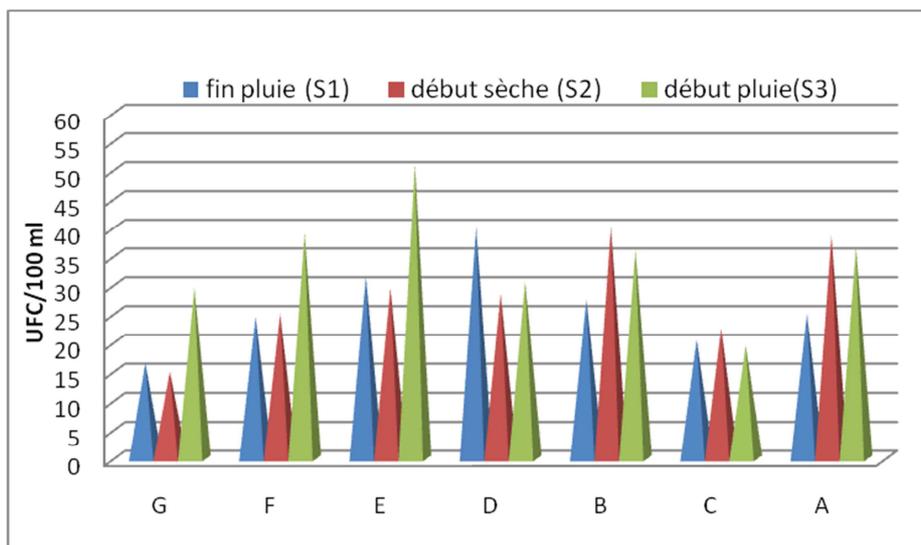


Figure 2: Dénombrement des germes totaux (UFC) (Légende : A à G Sites d'échantillonnage)

Une réduction sensible de croissance des coliformes totaux a été observée pendant les trois périodes d'échantillonnage aux sites proches du lieu de déversement des effluents (G, F et E). Cette croissance des germes augmente vers le point de jonction avec la rivière N'djili (Figure 3).

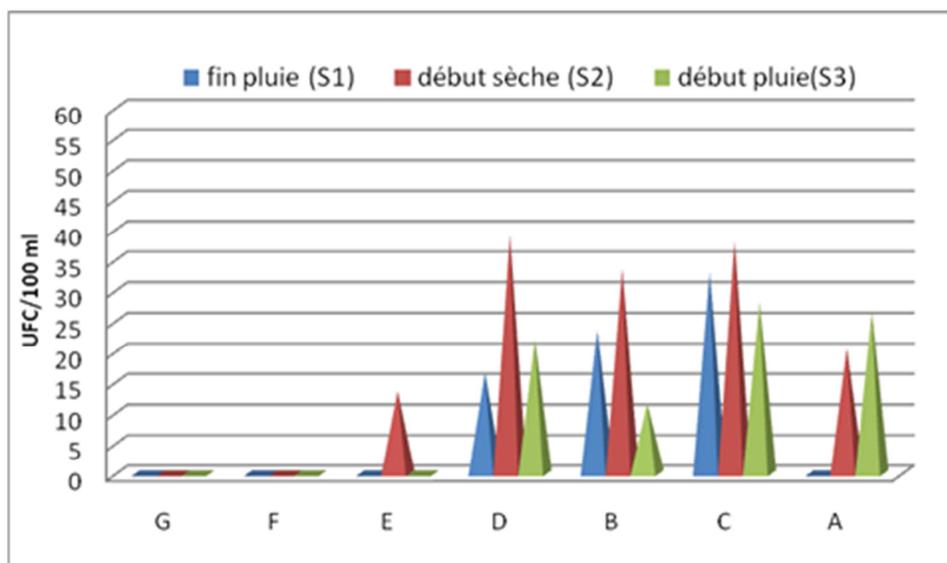


Figure 3: Dénombrement des germes totaux (UFC) (Légende : A à G Sites d'échantillonnage)

Le déversement des effluents de la REGIDESO a un effet inhibiteur sur la croissance des coliformes totaux aux sites proches de décharge quelle que soit la saison. La croissance des coliformes fécaux suit l'allure des coliformes totaux (Figure 4), avec une réduction de résistance pour les coliformes fécaux aux sites de rejet des effluents.

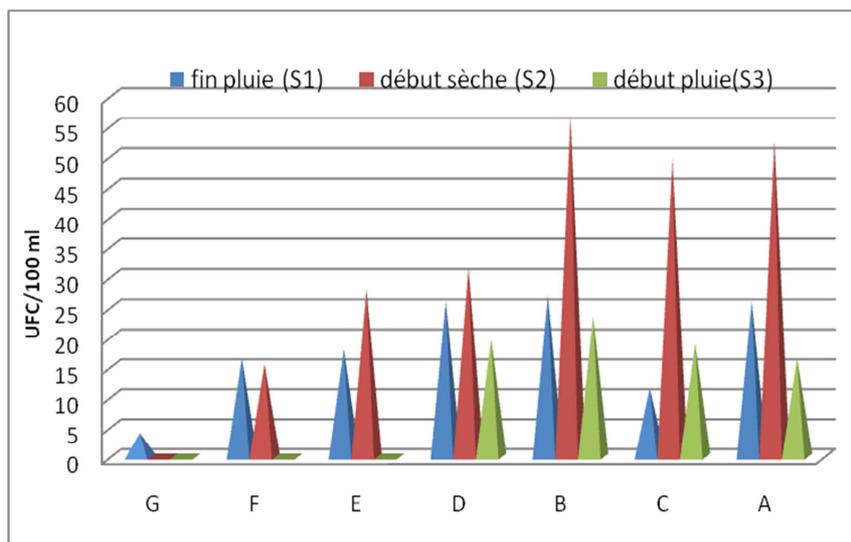


Figure 4: Dénombrement des coliformes fécaux (UFC) (Légende : A à G Sites d'échantillonnage)

On note la prolifération de *Clostridium* (Figure 5) tout au long de la rivière Matete avec une légère différence à la fin de la saison des pluies avec les pics plus élevés pour les *Clostridium*.

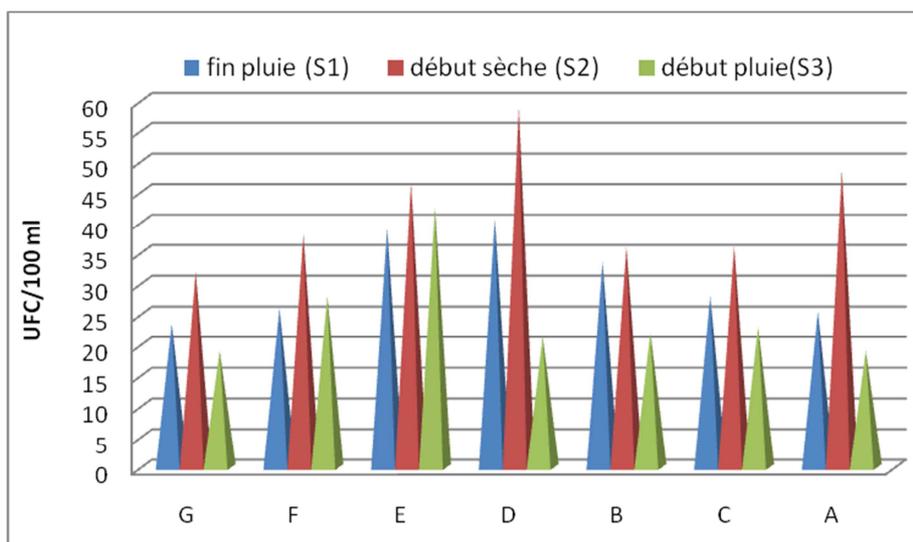


Figure 5: Dénombrement de Clostridium (UFC) (Légende : A à G Sites d'échantillonnage)

3.2 PARAMÈTRES PHYSICOCHIMIQUES

L'eau des rivières Matete et N'djili est légèrement acide. Les valeurs de pH obtenues ont variées avec la période de prélèvement et les sites d'échantillonnage (Figure 6).

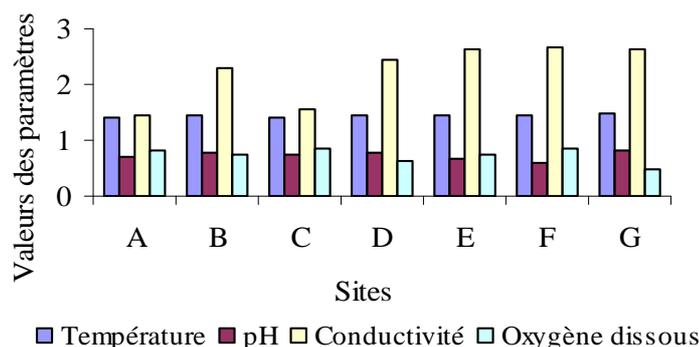


Figure 6. Valeurs des paramètres physicochimiques (T°, pH, Conductivité, Oxygène dissous) des eaux des sites d'étude

La température de l'eau était de 25 °C en moyenne dans les divers sites d'échantillonnage. La conductivité est élevée aux sites G, F et E. Elle diminue vers le point de jonction de deux rivières. Elle est restée maintenue élevée pendant la première période de saison aux sites (D et B) et une augmentation brutale au site C pendant la troisième période de saison (figure 6).

Le déversement des effluents dans les rivières augmente la conductivité, c'est-à-dire la concentration des éléments dissous. Le pic de l'oxygène dissous (figure 6) a été observé aux sites F et G pour la troisième période de saison.

3.3 INDICE DE LA BIODIVERSITE

Les taxons identifiés dans les différentes stations de prélèvement des rivières Matete et N'djili en saison des pluies sont donnés dans le tableau 2.

Tableau 2: Liste des macro-invertébrés benthiques des sites choisis sur les rivières Matete et N'djili en 2011 en saison des pluies

Classe	Ordre	Famille	Sites d'échantillonnage							
			A	B	C	D	E	F	G	
			ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	
INSECTES	Coléoptères	<i>Carabidae</i>	0	0	2	0	0	0	0	
		<i>Hydrophilidae</i>	6	26	13	6	1	0	7	
		<i>Spercheidae</i>	0	0	1	0	0	0	0	
		<i>Dysticidae</i>	0	0	3	0	0	0	0	
	Hémiptères	<i>Nepidae</i>	1	2	19	0	0	0	0	
		<i>Naucoridae</i>	21	17	17	0	0	0	0	
		<i>Hydrometridae</i>	0	0	0	0	0	0	1	
		<i>Hebridae</i>	0	0	0	1	0	0	3	
	Plécoptères	<i>Nemouridae</i>	1	0	11	0	0	0	0	
		<i>Taeniopterygidae</i>	0	0	0	0	0	0	2	
	Tricoptères	<i>Hydropsychidae</i>	0	0	7	1	0	0	0	
		<i>Glossosomatidae</i>	1	0	5	0	0	0	0	
	Diptères	<i>Syrphidae</i>	0	1	5	0	0	0	0	
	Odonates	<i>Libellulidae</i>	5	9	12	0	1	9	15	
<i>Coenagrionidae</i>		2	10	0	0	0	0	0		
Lépidoptères	<i>Pyrilidae</i>	0	0	0	1	0	0	0		
MALACOSTRACA	Décapodés	<i>Grapsidae</i>	8	0	8	0	0	0	0	
GASTEROPODES	Basommatophores	<i>Ancylidae</i>	0	0	8	0	0	0	0	
		<i>Lymnaeidae</i>	1	0	9	0	0	0	1	
		<i>Physidae</i>	0	2	7	0	0	0	1	
CLITELLATES	Lumbriculidae	<i>Chironomidae</i>	13	0	18	0	15	22	19	
		<i>Oligochètes</i>	10	45	11	9	17	16	14	
			N	69	112	156	18	34	47	63
			H	1,4	0,4	2,8	1,7	1,3	1,3	1,8

(Légende : ni : effectif du taxon i ; N : effectif total, H : Indice de Shannon).

Au total 499 macro-invertébrés benthiques ont été échantillonnés en saison des pluies. Ces organismes appartiennent à 4 Classes, 9 Ordres et 22 familles. La classe des insectes représente à elle seule 72% des spécimens capturés. D'une façon générale, la composition faunistique de la macrofaune benthique de la rivière Matete à Kinshasa ressemble à celle des autres eaux douces africaines [8, 23].

Les macro-invertébrés benthiques récoltés en saison sèche dans les tronçons des rivières Matete et N'djili sont repris au tableau 3.

Tableau 3 : Liste des macro-invertébrés benthiques des sites choisis sur les rivières Matete et N'djili en 2011 en saison sèche

Classe	Ordre	Famille	Sites d'échantillonnage						
			A	B	C	D	E	F	G
			ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni
INSECTES	Coléoptères	<i>Carabidae</i>	8	0	0	0	0	3	0
		<i>Hydrophilidae</i>	6	15	0	6	26	9	2
	Hémiptères	<i>Nepidae</i>	0	0	0	1	2	14	13
		<i>Naucoridae</i>	0	0	0	27	39	11	1
		<i>Hebridae</i>	1	0	0	0	0	12	3
	Plécoptères	<i>Nemouridae</i>	0	8	0	10	0	15	19
	Tricoptères	<i>Hydropsychidae</i>	0	0	0	0	0	2	17
		<i>Glossosomatidae</i>	0	0	0	1	0	1	0
	Diptères	<i>Chironomidae</i>	0	0	14	0	0	17	0
		<i>Syrphidae</i>	0	0	0	0	1	15	11
Odonates	<i>Libellulidae</i>	41	11	45	55	24	8	0	
Lépidoptères	<i>Pyrilidae</i>	1	0	0	0	0	14	7	
MALACOSTRACA	Décapodés	<i>Grapsidae</i>	0	0	0	8	0	16	5
GASTEROPODES	Basommatophores	<i>Ancylidae</i>	0	0	9	0	0	7	5
		<i>Lymnaeidae</i>	0	0	1	1	0	19	12
		<i>Physidae</i>	0	0	1	0	25	12	0
		<i>Lumbricidae</i>	0	23	0	3	2	19	0
		<i>Tubificidae</i>	39	33	8	10	91	13	8
MYRIAPODES	Chilopodes	-	14	0	0	0	0	4	8
		N	96	90	78	122	210	207	103
		H	2,1	2,1	1,7	2,4	2,2	2,8	2,9

(Légende : ni : effectif du taxon i ; N : effectif total, H : Indice de Shannon).

En saison sèche, nous avons échantillonné 906 spécimens de macroinvertébrés benthiques appartenant à 4 Classes, 10 Ordres et 18 familles.

La figure 7 donne la variation saisonnière de l'indice de Shannon par site d'échantillonnage. D'une manière générale, l'indice de Shannon varie d'amont en aval dans les tronçons de ces cours d'eau. Cet indice varie de 0,4 à 2,8 en saison des pluies et de 1,7 à 2,9 en saison sèche. Ce qui signifie que les eaux passe de polluées à moyennement polluées en saison des pluies et de moyennement polluées à faiblement polluées en saison sèche. Cette situation pourrait être due à la capacité auto-épuration des eaux courantes naturelles.

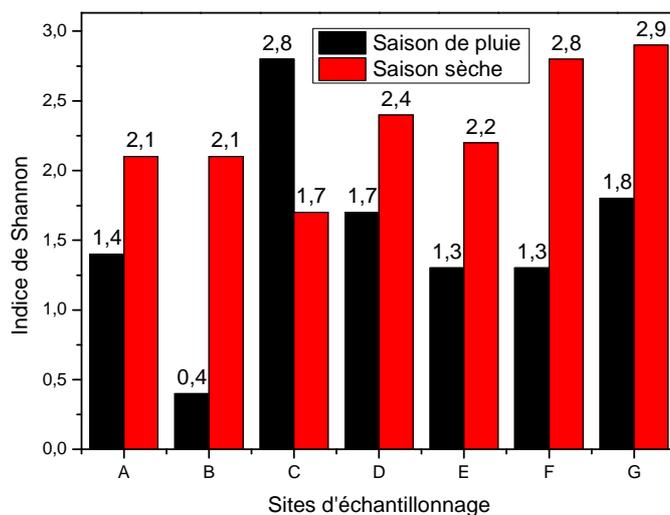


Figure 7 : Variation saisonnière de l'indice de Shannon par site d'échantillonnage

3.4 CARACTERISTIQUES DES EFFLUENTS

3.4.1 PARAMÈTRES PHYSICOCHIMIQUES

o Conductivité

Dans les différentes dilutions préparées à partir de la boue issue du traitement des eaux, la conductivité a varié de 0 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à 4652 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (Figure 8). Les valeurs obtenues sont faibles dans le témoin (eau sans effluent) et dans les dilutions 1% à 0,0019% de l'effluent. Les dilutions 100%, 75%, 50% et 25% ont présentées des valeurs élevées de conductivité.

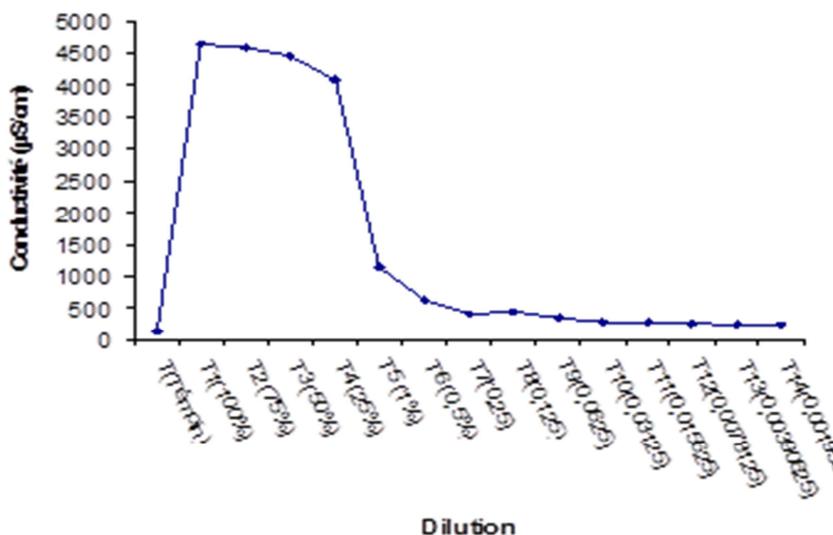


Figure 8 : Variation de la conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$) à 25 °C en fonction des dilutions préparées à partir de la boue provenant de la station d'épuration de la Regideso N'djili. Salinité

La salinité observée dans les dilutions suit l'allure générale de la conductivité. Elle est faible dans le témoin ainsi que dans les dilutions comprises entre 1% et 0,001951 (T14). Les valeurs élevées ont été observées dans les dilutions fortes [entre 100% (solution mère) et 25%] (Figure 9).

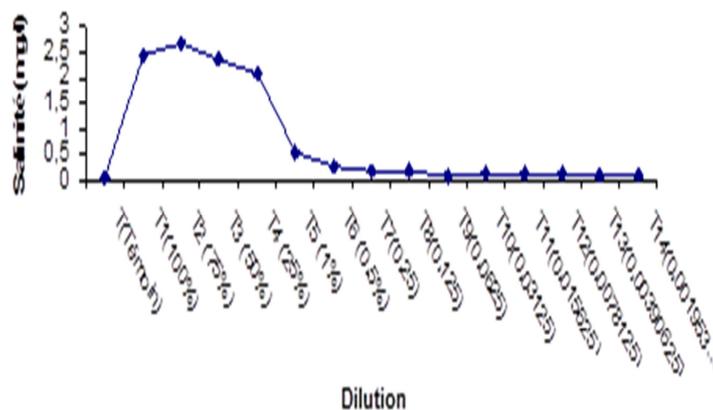


Figure 9 : Variation de la salinité (g/l) en fonction des dilutions préparées à partir de la boue provenant de la station d'épuration de la Regideso N'djili.

o pH

Le pH de dilutions varie de 6,35 à 7,5 (Figure 10). Le pH 7,5 correspond à la dilution 1% tandis que toutes les dilutions ont un pH voisin de 6.

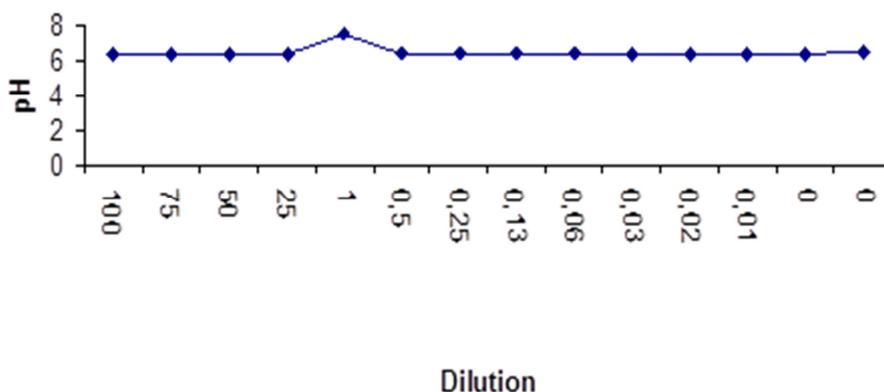


Figure 10 : Variation de pH en fonction des dilutions préparées à partir de la boue provenant de la station d'épuration de la Regideso N'djili.

o Turbidité

Les valeurs de la turbidité obtenues dans les différentes dilutions de la boue issue du traitement des eaux suivent l'allure de la conductivité et de la salinité (Figure 11). Les solutions concentrées sont également turbides.

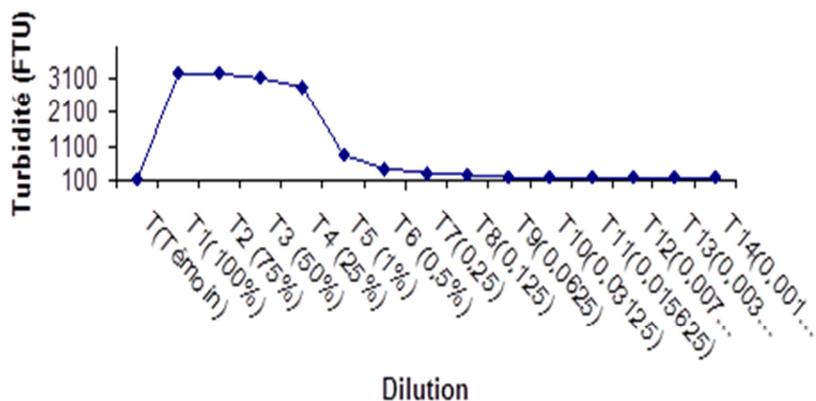


Figure 11 : Variation de turbidité en fonction des dilutions préparées à partir de la boue provenant de la station d'épuration de la Regideso N'djili

3.4.2 TOXICITÉ

La figure donne le taux de mortalité des poissons en fonction de la concentration de la boue provenant de la station d'épuration d'eau de la Regideso N'djili.

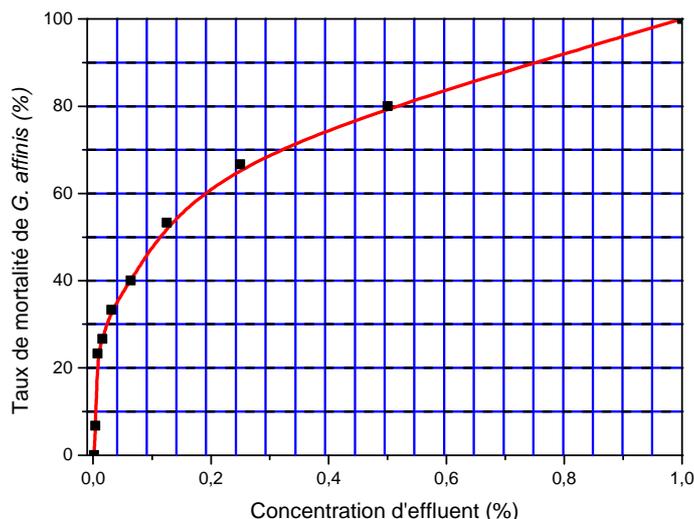


Figure 12: Evolution de la mortalité de *Gambusia affinis* en fonction de la concentration de la boue

Il ressort cette figure que les effluents bruts (T1) sont très toxiques vis-à-vis de *Gambusia affinis* et cette toxicité diminue avec les dilutions. La concentration létale pouvant éliminer 50% d'individus est de 0,109%.

4 CONCLUSION ET SUGGESTIONS

Cette étude avait pour objectif d'évaluer les effets des effluents de la station d'épuration d'eau de la REGIDESO N'djili sur la qualité de l'eau des rivières Matete et N'djili à Kinshasa.

Les résultats obtenus ont montré une variation de la charge microbienne en fonction des points de rejet des effluents chimiques, ce qui signifie que l'eau de la rivière Matete est polluée. Le déversement des effluents chimiques sur la rivière Matete a un effet inhibiteur sur la charge bactérienne globale (coliformes totaux et fécaux) tandis que les *Clostridium* ont proliféré en présence des effluents chimiques. A l'exception de la température, le pH, l'oxygène dissous et la conductivité ont été influencés par les effluents de la REGIDESO.

Une pauvreté en macro-invertébrés a été observée aux stations situées en aval du lieu de déversement des effluents, ce qui traduit la toxicité de ces derniers. L'indice de Shannon a indiqué que l'eau de la rivière Matete est polluée au point de déversement et occasionne la réduction de la biodiversité. Ces résultats ont été confirmés par le bio-test au *Gambusia affinis*.

Il est donc souhaitable d'installer un système monitoring à côté de la station d'épuration d'eau de la REGIDESO N'djili en vue de contrôler régulièrement la dangerosité des effluents déversés dans les écosystèmes aquatiques environnants.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Commissariat Général à l'Energie Atomique/Centre Régional d'Etudes Nucléaires de Kinshasa (C.G.E.A/C.R.E.N-K) et le laboratoire d'Eco-toxicologie de la Faculté des Sciences de l'Université de Kinshasa pour leur assistance technique.

REFERENCES

- [1] PNUE/OMS. Recommandation pour la surveillance sanitaire des zones côtières à usage récréatif et des zones conchylicoles. Bureau régional de l'OMS pour l'Europe, Copenhague, 1977.
- [2] S.K. Mokala, J.M. Mathooko, M. Leichtfried. Influence of antropogenic activities on water quality of a tropical stream ecosystem. African Journal of Ecology Vol. 42, pp. 281-288, 2004.
- [3] S.C. Edberg, E.W. Rice, R.J. Karlin, M.J. Allen. *Escherichia coli*: the best biological drinking water indicator for public health protection. Journal of Applied Microbiology Vol. 88, pp. 106S-116S, 2000.
- [4] D.E. Musibono. Ecotoxicologie, notes de cours: deuxième licence en environnement. Université de Kinshasa, RD Congo, 2003.
- [5] B.H. Shomar, G. Muller, A. Yahya. Seasonal variations of chemical composition of water and bottom sediments in the wetland of Wadi Gaza, gaza Strip, Wetlands Ecology and management Vol. 13, pp. 419-431, 2005.
- [6] K. Tshijik, S.N. Ifuta, A.N. Mbaya, V.K. Pwema. Influence du substrat sur la répartition des macro-invertébrés benthiques dans un système lotique : cas des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge. International Journal of Biological & Chemical Sciences Vol. 9, no. 2, pp. 970-985, 2015.
- [7] J.M. Matooko, G.O. Morara, M. Leichtfried. The effect of different anthropogenic disturbances on benthic plant coarse particulate organic matter in a tropical Rift valley stream; Notes and records. African Journal of ecology Vol. 39, pp. 310-312, 2001.
- [8] D. Zirirane, J.J. Bagalwa, M. Isumbisho, M. Mulengezi, I. Mukomba, M. Bora, J.M. Mucheso, A. Lukamba, G. Iragi, B. Irengé, F. Kibangu, R. Kamangala. Evaluation comparée de la pollution des rivières Kahuwa et Mpungwe par l'utilisation des caro-invertébrés benthiques. Vertigo-la revue électronique en Sciences de l'environnement [En ligne] Vol. 14, no. 3,, 2014. URL: <http://vertigo.revues.org/15365>; DOI: 10.4000/vertigo.15365.
- [9] Y.Y. Baraille, X.F. Garcia, J. Gagneur. Impact of the longitudinal and seasonal changes of the water quality on benthic macroinvertebrate assemblages of the Andorran streams. Compte rendu Biologies, pp. 328-976, 2005.
- [10] J.B. Wallace, J.R. Webster. The role of macro-invertebrates in stream ecosystem function. Annual review of entomology Vol. 41, no. 1, pp. 115-139, 1996.
- [11] A. Aminot, R. Kerouel. Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. Éd. Ifremer, 336p., 2004.
- [12] V. Kapoor, J. White. Conservation biology: a training manual for biological diversity and genetic resources, U.K, 1992.
- [13] J.A. Asimonyio, K. Kambale, E. Shutsha, G.N. Bongo, D.S.T. Tshibangu, P.T. Mpiana, K.N. Ngbolua. Phytoecological Study of Uma Forest (Kisangani City, Democratic Republic Of The Congo). J. of Advanced Botany and Zoology, V3I2. DOI: 10.15297/JABZ.V3I2.01, 2015.
- [14] J.A. Asimonyio, J.C. Ngabu, C.B. Lomba, C.M. Falanga, P.T. Mpiana, K.N. Ngbolua. Structure et diversité d'un peuplement forestier hétérogène dans le bloc sud de la réserve forestière de Yoko (Ubundu, République Démocratique du Congo). International Journal of Innovation and Scientific Research, Vol. 18, no. 2, pp. 241-251, 2015.
- [15] P. Baelo, J.A. Asimonyio, S. Gambalemoke, N. Amundala, R. Kiakenya, E. Verheyen, A. Laudisoit, K.N. Ngbolua. Reproduction et structure des populations des Sciuridae (Rodentia, Mammalia) de la réserve forestière de Yoko (Ubundu, RD Congo). International Journal of Innovation and Scientific Research, Vol. 23, no. 2, pp. 428-442, 2016.
- [16] J.-L.K. Kambale, J.A. Asimonyio, R.E. Shutsha, E.W. Katembo, J.M. Tsongo, P.K. Kavira, E.I. Yokana, K.K. Bukasa, H.S. Nshimba, P.T. Mpiana, K.N. Ngbolua. Etudes floristique et structurale des forêts dans le domaine de chasse de Rubi-Télé (Province de Bas-Uélé, République Démocratique du Congo). International Journal of Innovation and Scientific Research, Vol. 24, no. 2, pp. 309-321, 2016.

- [17] J.-L.K. Kambale, R.E. Shutsha, E.W. Katembo, J.M. Omatoko, F.B. Kirongozi, O.D. Basa, E.P. Bugentho, E.I. Yokana, K.K. Bukasa, H.S. Nshimba, K.N. Ngbolua. Etude floristique et structurale de deux groupements végétaux mixtes sur terre hydromorphe et ferme de la forêt de Kponyo (Province du Bas-Uélé, R.D. Congo). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, Vol. 24, no. 2, pp. 300-308, 2016.
- [18] J. Omatoko, H. Nshimba, J. Bogaert, J. Lejoly, R. Shutsha, J.P. Shaumba, J. Asimonyio, K.N. Ngbolua. Etudes floristique et structurale des peuplements sur sols argileux à *Pericopsis elata* et sableux à *Julbernardia seretii* dans la forêt de plaine de UMA en République Démocratique du Congo. *International Journal of Innovation and Applied Studies* Vol. 13, no. 2, pp. 452-463, 2015.
- [19] E.Y. Isangi, E.M. Katungu, C.K. Mukirania, J.K. Kosele, P. Baelo, E.P. Bugentho, S. Gambalemoke, J.A. Asimonyio, K.N. Ngbolua. Biodiversité des rongeurs et musaraignes de la forêt de Yasikia (Opala, République Démocratique du Congo). *International Journal of Innovation and Scientific Research* Vol. 26, no. 1, pp. 146-160, 2016.
- [20] J.B. Akuboy, F. Bapeamoni, G. Tungaluna, G.B. Badjedjea, L. Baelo, J.A. Asimonyio, A. Laudisoit, A. Dudu, K.N. Ngbolua. Diversité et répartition des ophidiens (Reptilia) dans les trois aires protégées de la province orientale RD Congo. *International journal of innovation and Scientific Research* Vol. 23, no. 2, pp. 476-484. 2016.
- [21] M. Evrard. Utilisation des exuvies nymphales de Chironomidae (Diptera) en tant qu'indicateurs biologiques de la qualité des eaux de surface wallonnes. Thèse de Doctorat, Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix (Namur, Belgique), 1996.
- [22] A.N. Kusonika, D.E. Musibono, T.T. Tangou, R.V. Gizanga, C.I. Nsimanda, H.T. Nkoba. Cartographie numérique des zones à risque chimique de l'environnement de Kinshasa. *International Journal of Innovation and Applied Studies* Vol. 15, no. 3, pp. 565-572, 2016.
- [23] M.S. Foto, T.S.H. Zebaze, T.N.L. Nyamsi, G.A. Ajeegah, T. Njiné. Évolution spatiale de la diversité des peuplements de macroinvertébrés benthiques dans un cours d'eau anthropisé en milieu tropical (Cameroun). *European Journal of Scientific Research* Vol. 55, no. 2, pp. 291-300, 2011.

ANNEXE: RESULTATS DU BIOTEST

Concentration (%)	Nbre	Temps d'exposition (heure)				Total survivants	Taux (%)	
		24	48	72	96		Survie	Mortalité
T (Témoin)	15	15	15	15	15	15	100	0
T1 (100)	15	0	0	0	0	0	0	100
T2 (75)	15	0	0	0	0	0	0	100
T3 (50)	15	0	0	0	0	0	0	100
T4 (25)	15	0	0	0	0	0	0	100
T5 (1)	15	0	0	0	0	0	0	100
T6 (0,5)	15	9	6	5	3	3	20	80
T7 (0,25)	15	10	11	6	5	5	33,3	66,7
T8 (0,125)	15	13	9	9	7	7	46,7	53,3
T9 (0,064)	15	13	13	11	9	9	60,0	40
T10 (0,031)	15	15	14	12	10	10	66,7	33,3
T11 (0,016)	15	15	13	11	11	11	73,3	26,7
T12 (0,008)	15	15	14	14	13	13	86,7	23,3
T13 (0,004)	15	15	14	14	14	14	93,3	6,7
T14 (0,002)	15	15	15	15	15	15	100	0

Technical Efficiency of Maize Farmers in Ghana: A Stochastic Frontier Approach

Abdul-Hanan Abdallah and Awal Abdul-Rahaman

Department of Agribusiness Management and Finance, Faculty of Agribusiness and Communication Sciences, University for Development Studies, Ghana

Copyright © 2017 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 purpose of this study is to examine the technical efficiency of Ghanaian maize farmers from the parametric perspective. In this study, the stochastic frontier approach (SFA) assumed the Cobb-Douglas functional form and technical efficiency of Ghanaian maize farmers is then estimated using first phase data from the database of sub-Saharan Africa's intensification of food crops agriculture (*Afrint I*). Using household characteristics, human capital, farmer's resource situation, social capital and experience variables, the study found that farmers are producing below the frontier with average technical efficiency of 53 percent. Policy variables such as *credit access; education and extension access* and *farm size* played a stronger role in technical efficiency levels.

KEYWORDS: Technical Efficiency, Stochastic Frontier Approach, Maize farmers, Ghana.

1 INTRODUCTION

The role of agriculture in the Ghanaian economy cannot be overemphasized. Until recently, agricultural sector was central to economic activities in Ghana accounting for 40.4 percent of GDP with an expected annual growth rate of 4.3 percent (MoFA, 2013). Currently, the agriculture sector is persistently reported to account for the greatest proportion of Ghana's export earnings with principal agricultural exports being cocoa, timber, horticultural products, fish/sea foods, game and wildlife (Kuwornu et al, 2013). For example, in 2006, 41.1% of foreign exchange was derived from traditional and non-traditional crops (MoFA, 2013). It is solely responsible for providing food security for both the rural and urban population and supplying raw materials to feed industries. Components of the sector include crops, cocoa, livestock, forestry and fisheries with the crops sub-sector leading in annual GDP contribution (MoFA, 2013). The major staple crops produced in Ghana include cereals (mainly rice and maize) and starchy staples such as yams, cassava and plantain.

Among the cereals, maize is the largest staple crop in Ghana and contributes significantly to consumer diets. For instance, per the study of Morris et al (2001), a nationwide survey carried out in 1990 revealed 94% of households relying on maize for their daily meals. Per that same study (Morris et al., 2001), maize and maize-based foods were reported to account for 10.8% and 10.3% of household food expenditures by the poor and all income groups respectively. It is the number one crop in terms of area planted and accounts for 50-60% of total cereal production.

Additionally, maize represents the second largest commodity crop in the country after cocoa. It is one of the most important crops for Ghana's agricultural sector and for food security (MiDA, 2012). The production of maize in Ghana is for three main reasons: food production for consumption, raw materials for industry and production for export (Djokoto, 2012). Unfortunately, the maize sector is unable to meet the targets as producers are repeatedly reported to produce yields below attainable levels and thus, causing a deficit amounting to \$45.886 million plus supplement from food aids, amounting to 9346.0 Mt between 2000 and 2010 alone (MoFA, 2013). Also, projected figures for household consumption depicts that there is considerable unfulfilled demand for processed maize for human uses and for the growing animal feed sector within Ghana (MoFA, 2013). Also in the last four years, the annual domestic deficit has been estimated to fall between 84,000 and 145,000 metric tons. As a result, a shortfall in domestic production ranges between 9 and 15 percent of total human

consumption in these years (MiDA, 2012) and thus, causing a variation in average rural wholesale price from 2001 to 2010 (see Figure 1 below).

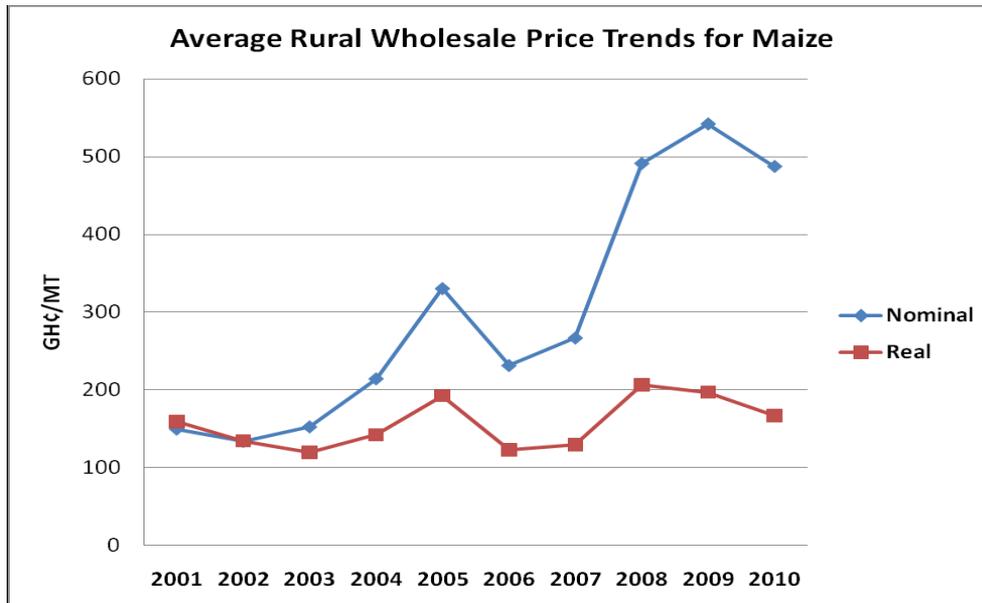


Figure 1: Average rural wholesale price trends for maize

Source: MoFA, 2013.

The Ghana government's policy objective for the grain sub-sector is to encourage increased production so that self-sufficiency and food security for the country can be achieved. It is as a result of this objective that government partnered with the International Institute of Tropical Agriculture (IITA), which has a mandate for maize research in West and Central Africa, to develop and disseminate improved maize technologies to meet the requirements of their major clients and small-scale farmers (Manyong et al., 2000). However, despite this effort, the performance of maize sector has been dwindling per the report of MiDA (2012). This raises questions about the efficiency with which resources are used in Ghana especially in periods when aids are supplied to farmers under favorable weather conditions. One way of answering these questions is to unravel the current levels of technical efficiency of producers. In this manner, production losses due to inappropriate combination of inputs and technologies will be appreciated. This will provide basis for the formulation of specific policies for boosting the efficiency of maize production in the study area and thus lift farmers to a commercial level and out of poverty.

The rest of the study is structured as follows. Section 2 outlines the methodology employed; section 3 presents the empirical results; and section 4 provides the conclusions.

2 METHODOLOGICAL FRAMEWORK

The concept of technical efficiency can be traced back to productive efficiency as first introduced by Farrell (1957) who argued that there were two components of efficiency: technical efficiency and allocative efficiency. In accordance with Farrell's methodology, productive efficiency is equal to the product of technical efficiency and allocative efficiency where, technical efficiency is associated with the ability to produce on the frontier isoquant. In other words, technical inefficiency reflects deviations from the frontier isoquant. Since then, there has been growing literature on the alternative techniques used in measuring technical efficiency of smallholder farmers. Dominant among these techniques are the econometric (or parametric) approach and the mathematical (or non-parametric) approach. The two techniques use different methods to envelop data, and in doing so they make different accommodation for random noise and for flexibility in the structure of production technology.

In the case of the former, a functional form is imposed on the production function and assumptions are made about the data used while there is no such approach in the latter. Popular among nonparametric approaches is the Data Envelopment

Analysis (DEA) while that of the parametric include the Cobb-Douglas, constant elasticity of substitution and translog production functions (see Forsund et al., 1980; Battese, 1992; Coelli et al., 1998).

Also, the non-parametric approach assumes that all the deviations from the frontier are as a result of firms' inefficiency. The parametric approach which is stochastic on the other hand, assume that part of the deviations from the frontier are due to random events and part is due to firm specific inefficiency and therefore decomposes the error term into a two-sided random error that captures the random effects outside the control of the firm and the one-sided efficiency component as argued by Aigner et al. (1977) and Meeusen and van den Broeck (1977).

The stochastic production frontier is therefore defined as:

$$Y_i = f(X_i; \alpha_i) + \varepsilon \tag{1}$$

Where Y_i is the output of farmer i , X_i are the input variables, α_i are production coefficients and ε is the "error term that is composed of two elements, that is:

$$\varepsilon = v_i - u_i \tag{2}$$

Where v_i is the stochastic error which is assumed to be identically, independently and normally distributed with zero mean and a constant variance (σ_v^2). The other second component (u_i) is a one-sided error term which is independent of v_i and is normally distributed with zero mean and a constant variance (σ_u^2), allowing the actual production to fall below the frontier but without attributing all short falls in output from the frontier as inefficiency.

The maximum likelihood estimation of equation (1) yields consistent estimators for β , λ and σ^2 where β is a vector of the unknown parameters, $\lambda = \sigma_u/\sigma_v$ and $\sigma^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2$. Given the fitted values of ε and the respective parameters, Jondrow et al (1982) argued that conclusions can be drawn about the technical inefficiency (u_i) of individual farmers. This is given by the mean of the conditional distribution of inefficiency term u_i defined as:

$$E(u|\varepsilon_i) = \frac{\sigma_u - \sigma_v}{\sigma} - \left[\frac{f(\varepsilon_i\lambda|\sigma)}{1 - F(\varepsilon_i\lambda|\sigma)} - \frac{\varepsilon_i\lambda}{\sigma} \right] \tag{3}$$

Where $\lambda = \sigma_u/\sigma_v$, while f and F stand for the standard normal density and cumulative distribution function, respectively evaluated at $\varepsilon_i\lambda/\sigma$. We define the farm-specific technical efficiency in terms of observed output (Y_i) to the corresponding frontier output (Y_i^*) using the existing technology derived from the equation above as:

$$TE_i = \frac{Y_i}{Y_i^*} = \frac{E(Y_i|u_i, X_i)}{E(Y_i|u_i = 0, X_i)} = e^{-[E(u_i|\varepsilon_i)]} \tag{4}$$

The values of TE range between 0 and 1 where the latter shows that the farm is fully efficient.

2.1 STOCHASTIC FRONTIER PRODUCTION FUNCTION

This study uses the stochastic frontier approach (SFA) to estimate the technical efficiency of maize farmers. The stochastic frontier production function independently proposed by Aigner et al., (1977) and Meeusen and Broeck (1977) decomposes the error term into a two-sided random error that captures the random effects outside the control of the farmer and the one-sided inefficiency component. Thus, the stochastic approach allows for statistical noise (Thiam et al., 2001). The general stochastic model is given as:

$$Y_i = f(X_i; \alpha_i)\varepsilon \tag{5}$$

Where, $i=1, 2, \dots, n$

In this study, a Cobb-Douglas production function was used as the functional form of the stochastic frontier production function to define the relationship between output and inputs. The reason for choosing this type of production function is that it is linear in its logarithmic form, and allows for the usage of Ordinary Least Squares (OLS). The Cobb-Douglas functional form is not only simple but it is also self-dual. At the same time, this function type has been widely used for production function analysis by many researchers (Battese et al., 1993; Bravo-Ureta and Pinheiro, 1993; Djokoto, 2012).

However, the Cobb-Douglas production function model has a number of limitations. The major criticism is that it cannot represent all the three stages of neoclassical production function,. Secondly, the elasticities of this type of a function are constant irrespective of the amount of input used. However, regardless of these limitations the Cobb-Douglas production function was used for its mathematical simplicity. It is also not exclusive to labour and capital but to other variables.

Theoretically Cobb-Douglas production function in this study is expressed as follows:

$$\ln Y = \ln \beta_0 + \sum_{j=1}^3 \beta_j \ln X_{ji} + v_i - u_i \quad (6)$$

Where \ln represents logarithm to base e , Y is the value of output of maize (in GH¢); X_1 is farm size measured in hectares; X_2 is the labour cost (in GH¢); X_3 is cost of fertilizer used (in GH¢); X_4 is the value of seeds used, X_5 the value of agrochemicals used (in GH¢); v_i is a random error that is assumed to be independently and identically distributed as $N(0, \sigma_v^2)$ random variables and u_i is the non-negative technical inefficiency effects that are assumed to be independently distributed among themselves and between the v_i s, such that u_i is defined by the truncation (at zero) of the $N(\mu_u, \sigma_u^2)$ distribution, where u_i is defined by:

$$u_i = \theta_0 + \sum_{j=1}^8 \theta_j Z_{ji} \quad (7)$$

Where Z_1 is the dummy variable that has a value of 1 if the farmer is a male, and 0 if the farmer is a female (*gender dummy*), Z_2 represents the age of the household head measured in years and included to account for human capital, Z_3 represents the years of formal education of the farmer, Z_4 represents the farm size (in acres), Z_5 is the dummy variable that has a value of 1 if the farmer used irrigation and 0 if otherwise (*irrigation dummy*), Z_6 is the dummy variable that has a value of 1 if the farmer received extension services, and 0 if otherwise (*extension dummy*), Z_7 is the dummy variable that has a value of 1 if the farmer is a member of a farmer-based group and 0 otherwise (*group dummy*) and Z_8 is the dummy variable that has a value of 1 if the farmer access credit, and 0 if otherwise (*credit dummy*)

For constant returns to scale, the sum of the parameter coefficients, β_s must be equal to one (1). For increasing returns to scale, they must be greater than one, and for decreasing returns to scale they must be less than one. In mathematical form the returns can be expressed as follows:

$$\beta_i = \frac{\delta Y / Y}{\delta X_i / X_i} \quad (8)$$

Where β_i is the elasticity of production with respect to input used and considered the most important property of the Cobb-Douglas production function.

2.2 DATA AND DESCRIPTIVE STATISTICS

The data used for this study are drawn from the database of sub-Saharan Africa's intensification of food crops agriculture (*Afrint*). The data consisted of two phases, *Afrint I*, which lasted from 2001 to 2004, and *Afrint II* between 2007 and 2010. The first phase of data (*Afrint I*) used for this study contains primarily information of four important staple food crops in sub-Saharan Africa (including Ghana, Kenya, Malawi, Nigeria, Tanzania, Ethiopia, Mozambique, Uganda and Zambia) namely maize, sorghum, rice and cassava. The countries were selected based on their suitability to the charting progress in intensification, induced from below by farmers themselves, or state induced, as in the Asian Green Revolution. According to the *Afrint*, the sample was drawn in four stages, of which the country selection described above was the first one. The next stage was regions within countries, followed by selection of villages within regions, and with selection of farm households as the last stage. All stages except the final one (where households were sampled after having made up household lists) have been based on purposive sampling. To ensure credibility of data, point estimates from the sample were compared with those from other sources, for examples yields for the various crops with FAO statistics, but no apparent sample bias was detected. This paper uses data from 434 farmers in Ghana and concentrate primarily on variables affecting maize production. Readers interested in performance of the other crops are referred to the more comprehensive CABI publication (Aryeetey et al. 2011). Thus, the summary of the descriptive statistics of the explanatory variables used in this study is presented in Table 1.

Previous studies of peasant agriculture have shown that household outputs can be captured using value of output of the farmer (Coelli and Fleming, 2004; Chavas et al., 2005; Gonzalez and Lopez, 2007). For this reason, output is therefore represented by its value (GH¢) and the result indicate that on average the *total value of output* was found to be GH¢ 254.13. This was achieved by utilizing on average, less than 1 hectare of *land*, GH¢ 13.23 of *labour*, GH¢ 20.56 of *fertilizer*, GH¢ 52.09 of *seeds* and GH¢ 53.02 of *agro-chemicals* for production.

As indicated, the stochastic frontier methodology used in this study makes it possible to evaluate factors related with inefficiency. To do so, several socioeconomic and technical variables were incorporated into the model based on the

literature and on data availability. For example, *education* and *extension* variables were incorporated to capture human capital for maize cultivation while *age* represents farmer's experience. For these variables, as the statistics indicate, the population of Ghanaian maize farmers is dominated by the middle-aged whose educational level is at the minimal. The statistics also indicate that about 71 percent of the farmers received extension services. To account for household characteristics, *gender* and *credit* dummies were included and the results show that more than half (57 percent) of the population are males while close to 25 percent access credit. In addition, *membership to association*, a dummy variable that is equal to 1 if the household head is a member of a social group, is included as a proxy for social capital. Meanwhile, 22 percent of the respondents were members of social groups existing in their various communities. Finally, *irrigation* and *farm size* variables were incorporated to capture the farmer's resource situation since abundant resource stocks can improve efficiency. However, less than 30 percent had access to irrigation water supply.

Table 1: Summary Statistics of Variables

Variable	Mean	Std. Dev.
Revenue (GH¢)	254.129	416.211
Farm size (ha)	0.780	3.006
Labour cost (GH¢)	13.229	70.032
Fertilizer cost (GH¢)	20.556	56.819
Seed (GH¢)	52.088	101.500
Agro-chemicals (GH¢)	53.015	321.120
Gender (dummy)	0.57	0.455
Age of farm manager (in years)	49.168	14.954
Education (in years)	5.747	5.274
Irrigation (dummy)	0.295	0.457
Extension services (dummy)	0.712	0.453
Membership to association (dummy)	0.221	0.416
Credit access (dummy)	0.247	0.431

Source: Authors' computation based on survey, 2002

3 RESULTS AND DISCUSSIONS

The maximum likelihood estimates are presented in Table 2. The function coefficient which measures the proportional change in output when all inputs included in the model are changed in the same proportion is approximately 0.78, which indicates that returns to size are decreasing. Out of the five variables in the Cobb-Douglas stochastic frontier model, the parameter estimates of three variables are found to be statistically significant. These are *farm size*, *labour cost* and *agro-chemicals*. Additionally, all the parameter estimates of these variables are significant at 1%. This means that a 1% increase in each of these variables used in the production of maize will lead to an increase in output value by 0.32%, 0.17% and 0.28% respectively. The result exhibited by agro-chemicals is in line with the *a priori* expectation of this study and that of Kwarteng and Towler (1995) who contend that weeds and fungi attacks on maize plant reduce its ability to photosynthesize leading to drastic yield reduction. Application of chemicals protect the maize from the destruction of pests, insects and fungi among others as the activities of these organisms on maize lead to lower levels of output. A farmer who uses agro-chemicals therefore stands the chance of increasing maize output. For labour, the result is also consistent with Amaza et al., (2001) who reveal that farmers who had the main objective of income maximization in food crop production will tend to allocate hired labour more efficiently. Food crop production such as maize is labour intensive and therefore will require more labour especially for weeding and harvesting operations.

Turning to the technical efficiency model, the parameter $\gamma = \sigma_u^2 / \sigma^2$ is statistically significant at the 5% level, with an estimated value of 0.94. These results indicate that inefficiency is highly significant among the studied households. This might also be interpreted to mean that the differences between actual (observed) and frontier output is dominated by technical inefficiency (that is, factors within the control of the farmers). This thus, confirms that technical inefficiency is stochastic in the area.

All coefficients for the human capital variables (*education* and *extension*) present positive and significant effects on household technical efficiency. These results support the premise that increases in human capital enable rural households to improve resource utilisation and thus achieve higher productivity (Solís et al., 2008). As found in some studies (e.g. Oyewo, 2011), education enable farmers update their emerging technologies and hence become more efficient than their illiterates counterparts. As a matter of fact, positive relationship between *extension* and efficiency appears to be the most robust

finding in much efficiency literature as argued Bravo-Ureta and Pinheiro (1993). The result is consistent with the notion that public investment geared to improving provision of managerial support and the dissemination of information to farmers via extension programs or other forms of nonformal education are likely to lead to a higher levels of efficiency.

Also, the variables that constitute household characteristics (*gender and credit access*) present positive and statistically significant effects on TE. For *gender*, the results suggest the efficiency of male-headed households over their female counterparts. Women performed crucial roles in the domestic and economic life of society which affected their technical efficiency. This included the unmeasured non-economic activities (such as child care, cooking, cleaning, etc.) performed by females in the household. Moreover, some customs, traditions, religious beliefs, and social norms placed restrictions on women's activities both on- and off-farm and hence their ability to access new information and use technologies. This finding is in line with that of Solís *et al.* (2008) on technical efficiency and soil conservation in El Salvador and Honduras where female-headed households exhibited lower technical efficiency than male-headed households.

The significant and positive effect of *credit* on TE suggest that farmers with more access to credit are technically efficient than their inaccessible counterparts. The result is not surprising since credit enable farmers to pay for the new technology and undertake long-term investments that improve efficiency.

Also, *age* variable which is used to capture "experience" also had a negative effect on technical inefficiency and was statistically significant at 1%. This suggests that farmers with many years of experience are more technically efficient than those with few years. It is often argued that increase in farming experience provides better knowledge about the production environment in which decisions are made (Oyewol, 2009; Abdulai and Huffman, 2000; Lapple, 2010).

With respect to the variables used to capture the farmer's resource situation, only *farm size* exhibit a positive and significant relation with efficiency. The link between *farm size* and efficiency has been a major discussion in literature but some have found no statistically significant correlation between *farm size* and technical efficiency (Bravo-Ureta and Evenson, 1994). In contrast, the result in this study as in other studies (Bravo-Ureta and Pinheiro, 1997; Aboki *et al.*, 2013 etc.) supports the notion that large farms have efficiency advantage over the other farms in the sample. Already, most of the increases in output over recent years have been associated to increases in the area under maize cultivation. Land plays a vital role in farming with an impact on productivity and as one of the most available resources one can use efficiently.

Membership to association which is a proxy for social capital is positive and significant at 10% level. This implies that a farmers' social capital decreases efficiency in maize production. The result of the social capital variable contradicts the finding of Seligson (1982).

Table 2: MLE estimates for stochastic production function for Ghana and Nigeria

Variable	Coefficient	Standard Error
Stochastic frontier		
Lnfarm size	0.319	0.050***
Lnlabor cost	0.174	0.030***
Lnfertilizer	0.028	0.033
Lnseeds	0.048	0.052
Lnchemicals	0.282	0.058***
Constant	2.740	0.060***
Inefficiency model		
Gender	-0.428	0.161***
Age of farm manager	-0.009	0.003**
Education	-0.071	0.013***
Farm size	-0.290	0.033***
Irrigation	0.107	0.215
Extension services	-0.297	0.123**
Membership group	0.326	0.128**
Credit access	-0.211	0.159
Constant	1.625	0.236***
Variance parameter		
$\sigma^2 = \sigma_v^2 + \sigma_u^2$	0.659	0.086*
$\gamma = \sigma_u^2 / \sigma^2$	0.937	0.018**
σ_u^2	0.618	0.088*
σ_v^2	0.041	0.010**
Mean technical efficiency	0.527	
Function coefficient	0.775	
Log likelihood	373.003	

Note: *, ** and *** denote $p < 0.001$; $p < 0.005$ and $p < 0.10$, respectively.

Source: Authors' computation based on survey, 2002

3.1 LEVELS OF TECHNICAL EFFICIENCY OF MAIZE FARMERS

The results obtained from the econometric estimation indicate that technical efficiency indices range from less than 50 percent to 100 percent for the farms in the sample with an average of 53 percent (Table 3). This is less than 68 percent found by Rao *et al.* (2003) in their study where they compared African agricultural sector with world agricultural sector using 1986-1990 panel data. Though comparisons cannot be made due to differences in geographical location of farmers and use of different technologies in production, the mean technical efficiency of Ghana is far below that of the averages for Central (95 percent), Eastern (85 percent), Northern (95 percent), Western (92 percent), Southern Africa (96 percent) and Europe (90 percent) as revealed by Nkamleu *et al.* (2006) and Andrew and Cesare (2008). This indicates that the maize farmers in the study area produced 53 percent of the potential stochastic frontier output based on the present state of technologies as well as the level of input. These results imply that if the average farmer in the sample was to achieve the technical efficiency level of his or her most efficient counterpart in Ghana, he or she would realize 47 percent more productivity. Possibly, the adoption of the practice of technologies will increase maize production in the region by an average of 47 percent to enable these maize farmers to attain the potential stochastic frontier output level. Also, the wide range of technical efficiency values indicates large variations in performance across farms. For example, the results show that 43 percent of the farmers have technical efficiency below 50 percent followed by 17 percent of the population whose efficiency ranges from 71 percent to 80 percent. This closely followed by farmers with efficiency values ranging from 61 percent to 70 percent. Further, the results show that few of the farmers (less than 2 percent) are producing maize with technical efficiency ranging from 91 to 100 percent.

Table 3: Technical efficiency distribution of maize farmers in Ghana

Efficiency range	Frequency	Percent
≤ 0.5	187	43.1
0.51-0.60	58	13.4
0.61-0.70	68	15.7
0.71-0.80	74	17.0
0.81-0.90	42	9.7
0.91-1.00	5	1.2
Total	434	100.0

Source: Authors' computation based on survey, 2002

4 CONCLUDING REMARKS

In this study, as in most empirical works, the stochastic frontier production function to assume the Cobb-Douglas functional form and the technical efficiency of Ghanaian maize farmers is estimated using data from the database of sub-Saharan Africa's intensification of food crops agriculture (*Afrint I*). Also, the effects of policy variables and farmer characteristics on technical efficiency are also estimated. The study obtained two important results. First, the study found that that returns to size are decreasing and that substantial gains in output can be realized by increasing the levels of inputs used in production. In particular, factors such as *farm size, labour and access to agro-chemicals* are the significant determinant of maize output. Second, the study indicates large variations in performance across farms in 2002 with an average technical efficiency of 53 percent in Ghana. Significant factors that contribute to technical efficiency include household characteristics (*sex and credit access*), human capital (*education and extension*), farmer's resource situation (*farm size*) and years of experience (*age of the farm manager*).

From policy point of view, household characteristics such as *credit access*; human capital such as *education and extension access* and farmer's resource situation such as *farm size* are the variables found to be most promising for action. For farmer's resource situation, reducing market imperfections in the pricing of natural resources such as land will improve farmers' access for farming to increase both efficiency and output. Concerning credit access, there is the need for stakeholders to streamline loan application procedures, intensify education of farmers on loan procedures and promote flexibility in types of collateral demanded by financial institutions in order to enhance access. With regard to the human capital variables, the use of mass extension methods should be emphasized to facilitate the education of farmers on emerging technologies in farming since there is limited number of extension officers in the country. For instance, mass communication through radio, TV, communication vans and dissemination through farmer groups can be used to facilitate the education of these farmers to improve in technical efficiency.

It must be indicated clearly that these results should not be extended to economic efficiency since the allocative efficiency component is not considered in this study. Also, caution should be taken in the interpretation of these results because the data could not permit the incorporation of all variables that might affect technical efficiency.

REFERENCES

- [1] Abdulai A. and Huffman W. (2000). Structure Adjustment and Economic Efficiency of Rice Farmers in Northern Ghana. *Econ. Dev. Cult. Change* pp. 503-519.
- [2] Aboki, E., Jongur A.A.U., Onu J.I. and Umaru I.I. (2013). Analysis of Technical, Economic and Allocative Efficiencies of Cassava Production in Taraba State, Nigeria. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science, Volume 5, Issue 3: 19-26*.
- [3] Aigner, D.J., Lovell, C.A.K. and Schmidt, P. (1977) Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models, *Journal of Econometrics*, 6, 21-37.
- [4] Amaza, P. S., Onu, J. I. & Okunmadewa, F. Y. (2001). Identification of factors that influence the technical efficiency of cotton farmers in Nigeria. *Nigerian Agricultural Development Studies*, 2(1), 133-145.
- [5] Andrew, B., and Cesar, R. (2008). A Meta-frontier Analysis of Technical Efficiency of Selected European Agricultures.
- [6] Aryeetey E., Djurfeldt G. and Isinika, A. (2011). Conclusions: What Direction for the Future of African Agriculture. African smallholders – food crops, markets and technology. Wallingford, Oxon, CABI.
- [7] Battese GE, Malik SJ, Broca S (1993). Production functions for wheat farmers in selected districts of Pakistan: An application of a stochastic frontier production function with time-varying inefficiency effects. *Pak. Dev. Rev.* 32:233-268.

- [8] Battese G.E. (1992). Frontier Production Functions and Technical Efficiency: A Survey of Empirical Applications in Agricultural Economics, *Agricultural Economics*, 7, 185-208.
- [9] Bravo-Ureta B. E. and Pinheiro A. (1993). Efficiency analysis of country agriculture: A review of the frontier Function literature. *Agric. Resour. Econ. Rev.* 22:88-101.
- [10] Bravo-Ureta, B.E. and Pinheiro, A.E. (1997). Technical, Economic and Allocative Efficiency in Peasant Farming: Evidence from the Dominican Republic. *The Developing Economies*, 35 (1), 48-67.
- [11] Bravo-Ureta B.E., Boris E. and Evenson R.E. (1994). Efficiency in Agricultural Production: the Case of Peasant Farmers in Eastern Paraguay. *Agricultural Economics*, 10, no. 1:27-37.
- [12] Chavas, J., Petrie R. and Roth M. (2005). 'Farm household production inefficiency in the Gambia: Resource constraints and market failures', *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 87, pp. 160–179.
- [13] Coelli T. and Fleming E. (2004). 'Diversification economies and specialization efficiencies in a mixed food and coffee smallholder farming in Papua New Guinea', *Agricultural Economics*, Vol. 31, pp. 229–239
- [14] Coelli T., Prasada R. and Battese G. (1998). *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, Boston: Kluwer Academic Press.
- [15] Djokoto, J.G. (2012). Technical Efficiency of Agriculture in Ghana: A Time Series Stochastic Frontier Estimation Approach. *J. Agric. Sci.* 4(1):154.
- [16] Doss, CR, Morris, M.L. (2001). How does gender affect the adoption of agricultural innovations? The case of improved maize technology in Ghana. *Agric. Econ.* 25:27-39.
- [17] Farrell, M.J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)* 120(3):253-290.
- [18] Forsund, F.R., Lovell, C.A.K. and Schmidt, P. (1980). A Survey of Frontier Production Functions and of Their Relationship to Efficiency Measurement, *Journal of Econometrics*, 13, 5-25.
- [19] Gonza'lez, M. and Lo'pez, R. (2007). 'Political violence and farm household efficiency in Colombia', *Economic Development and Cultural Change*, Vol. 55, pp. 367–392.
- [20] Jondrow, J., Lovell, C.A.K., Materov, I.S. and Schmidt, P. (1982) On the Estimation of Technical Inefficiency in the Stochastic Frontier Production Function Model, *Journal of Econometrics*, 19, 233-238.
- [21] Kumornu J.K.M., Amoah E., Seini W. (2013). Technical Efficiency Analysis of Maize Farmers in the Eastern Region of Ghana. *Journal of Social and Development Sciences*, 4(2): 84-99.
- [22] Kwarteng, J. A. & Towler, M. J. (1995). *West African Agriculture: A textbook for Schools and Colleges*. Macmillan Ltd, London, 95-104.
- [23] Lapple D. (2010). Adoption and Abandonment of Organic Farming: An Empirical Investigation of the Irish Drystock Sector. *J. Agric. Econ.* 61(3):697-714.
- [24] Manyong, V.M. Kling, J.G. Makinde, K.O. Ajala, S.O. and Menkir A. (2000). Impact of IITA-improved germplasm on maize production in West and Central Africa. *International Institute of Tropical Agriculture*.
- [25] Meeusen, W. and Broeck, J. van den. (1977) Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Function with Composed Error, *International Economic Review*, 18, 435-444.
- [26] MiDA (2012). *Maize, Soya and Rice Production and Processing*, Accra, Ghana. Available: www.mida.gov.gh/mcaghana.php.
- [27] MoFA (2013). *Agriculture in Ghana: Facts and Figures*.
- [28] Nkamleu, G.B., Nyemeck, J., and Sanogo, D. (2006). Metafrontier Analysis of Technology Gap and Productivity Difference in African Agriculture. *Journal of Agriculture and Food Economics* 1, 111-120.
- [29] Oyewol O. (2009). Determinants of Maize Production among Maize Farmers in Ogbomoso South Local Government in Oyo State, Nigeria. *Agric. J.* 4(3):144-49.
- [30] Seligson M.A. (1982). *Peasant Participation in Costa Rica Agrarian Reform: A View from Below*. Ithaca, N.Y.: Rural Development Committee, Cornell University Center for International Studies.
- [31] Soli's D., Bravo-Ureta B.E. and Quiroga R.E. (2008). Technical Efficiency among Peasant Farmers Participating in Natural Resource Management Programmes in Central America. *Journal of Agricultural Economics*, Vol. 60, No. 1, 202–219.

Etudes floristique, phytosociologique et phytogéographique de la végétation herbacée et du sous-bois de la réserve forestière de la Yoko (Province de la Tshopo, RD Congo)

[Floristic, phytosociological and phytogeographical studies of the herbaceous vegetation and the underwood of the Yoko reserve forest (Tshopo Province, DR Congo)]

Reddy E. Shutsha¹, Justin A. Asimonyio¹, Joseph M. Omatoko², Jean-Léon K. Kambale¹, Roger A. Angoyo¹, C.B. Lomba¹⁻³, M.B. Ndjéle³, and Koto-te-Nyiwa Ngbolua⁴

¹Centre de Surveillance de la Biodiversité, Université de Kisangani, B.P. 2012, Kisangani, RD Congo

²Ecole Régionale post-universitaire d'Aménagement et de Gestion Intégrées des Forêts et Territoires tropicaux, RD Congo

³Faculté des Sciences, Université de Kisangani, B.P. 2012, Kisangani, RD Congo

⁴Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, B.P. 190, Kinshasa XI, RD Congo

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: A floristic inventory of grass and undergrowth was carried out in the southern block of the Yoko Forest Reserve in the Eastern Province. This study aimed to identify grasses and undergrowth, and evaluate the wealth of this areal florula. Transect methods and phytosociological survey was the approach used. A total of 116 plant species have been inventoried and are belonging to 92 genera and 44 families. Note that the dominant families and features are: Commelinaceae (7.76%) and Rubiaceae (6.90%). The relative densities of species and the highest are those of family *Marantochloa congensis* (174.0 feet/ha) and Marantaceae (360.0 feet/ha). The relative frequencies of the most observed species are those of *Palisota barberi* (3.21%) and *Cola congolana* (3.39%), while those of family are Arecaceae, Commelinaceae, Connaraceae, Euphorbiaceae, Lomariopsidaceae, Malvaceae, Marantaceae and Menispermaceae (6.25%). Simpson's diversity index (0.957), Shannon's diversity index (3.619) and equitability (0.798) revealed that this florula is diversified and its species are well distributed. It is thus desirable that this study is extended to other forest reserves and forest groupings of Kisangani city and its surroundings in order to establish a better database necessary for the sustainable management of the classified forests and other sites of high value for the conservation.

KEYWORDS: Tropical forest, floristic groupings/synthaxons, biodiversity, ecological indicators, DR Congo.

RESUME: La présente étude vise à identifier et à évaluer la richesse aréale des plantes herbacées et du sous-bois dans la Réserve forestière de la Yoko. Cette réserve (6,975 ha) se situe dans la province de la Tshopo. Les méthodes de transect et de relevé phytosociologique étaient l'approche utilisée. Au total, 116 espèces végétales ont été inventoriées et sont réparties en 92 genres et 44 familles. Notons que les familles prépondérantes et caractéristiques sont : Commelinaceae (7.76%), Rubiaceae (6.90%). Les densités relatives des espèces et des familles les plus élevées sont celles de *Marantochloa congensis* (174,0 pieds/ha) et de Marantaceae (360,0 pieds/ha). Les fréquences relatives des espèces les plus observées sont celles de *Cola congolana* (3,39%) et de *Palisota barberi* (3,21%), tandis que celles de familles sont prépondérantes chez les Malvaceae (6,31%), Arecaceae, Commelinaceae, Connaraceae, Euphorbiaceae, Lomariopsidaceae, Marantaceae et Menispermaceae (6,25%). Les indices de diversité de Simpson (0,957), Shannon (3,619) ainsi que l'équitabilité (0,784) montrent que cette

florule est diversifiée et ses espèces sont bien réparties. Il est donc souhaitable que cette étude soit étendue à d'autres réserves forestières et groupements forestiers de la région de Kisangani et ses environs en vue d'élaborer une meilleure base des données nécessaire à la gestion durable des forêts classées et autres sites à haute valeur pour la conservation.

MOTS-CLEFS: Forêt tropicale, groupements floristiques/synthaxons, biodiversité, indicateurs écologiques, RD Congo.

1 INTRODUCTION

La République Démocratique du Congo (RDC, dont 62% du territoire national sont couverts par la forêt, représentant 57,5% de superficie totale du bassin du Congo) est un véritable réservoir de la biodiversité tant animale que végétale. Le bloc forestier de la RDC [1-25].

La mauvaise gestion de différentes formations forestières due aux activités anthropiques ou à l'exploitation industrielle, conduit à la disparition de nombreuses espèces (érosion génétique) sans même que leur existence ne soit connue [26]. A l'opposé de cette mauvaise gestion, se trouve la notion de la gestion durable des écosystèmes forestiers qui doivent être écologiquement renouvelables, économiquement rentables et socialement équitables. Cependant, l'on ne peut gérer durablement que ce que l'on connaît. Des nombreuses études privilégient la strate arborescente à cause de l'intérêt économique que portent les essences exploitables. Et pourtant la strate herbacée ; bio-indicatrice de la fragmentation des écosystèmes forestiers, peu étudiée, joue un rôle important dans le maintien de l'équilibre de ces écosystèmes et même des sols. C'est pourquoi un inventaire des plantes herbacées et du sous-bois a été menée à la réserve forestière de la Yoko bloc sud, forêt classée du Ministère de l'Environnement et Conservation de la Nature de la RDC.

Les plantes de la strate herbacée et du sous-bois sont soit des herbacées (à tige creuse) qui sont annuelles ou vivaces, soit à tige boisée dans lesquelles on trouve les sous-arbustes, les arbustes et les lianes. Il est question dans cette étude de vérifier l'hypothèse selon laquelle cette florule aurait une forte diversité biologique qui serait caractérisée par des espèces et familles indicatrices de sa fragmentation et dont la dissémination de leurs diaspores serait faite par les animaux.

La présente étude a été réalisée dans le but d'établir la liste floristique et taxonomique en vue de l'évaluation de la diversité floristique, de la densité ainsi que de la fréquence relative des taxons de la florule étudiée. L'intérêt de ce travail est évident car elle permettra de mettre à la disposition des chercheurs, la valeur floristique de la strate herbacée et du sous-bois de cette réserve et permettra aux décideurs ainsi qu'aux responsables de la gestion, d'appliquer les mesures d'exploitation durable pour cette florule.

2 MILIEU, MATERIEL ET METHODES

2.1 DESCRIPTION DU MILIEU

La Réserve Forestière de Yoko est située dans la collectivité Bakumu-Mangongo, dans le territoire d'Ubundu, dans le district de la Tshopo et dans la province orientale. La réserve forestière de la Yoko (6.975 ha) est située au sud de la ville de Kisangani entre les points kilométriques 21 et 38 sur l'axe routier Kisangani-Ubundu. Ses coordonnées prises au moyen du GPS (Garmin GPS 76) sont les suivantes : 413 m d'altitude, 00° 17,383' N de latitude et 25° 17,215' E de longitude [2]. La rivière Yoko la subdivise en deux blocs : Bloc nord (3.370 ha) et Bloc sud (3.605 ha). Etant située à la périphérie de la ville de Kisangani, elle bénéficie du même climat régional que la ville ; climat équatorial de type Af de la classification de Koppen, caractérisé par des températures moyennes du mois le plus froid supérieures à 18 °C, avec une amplitude thermique annuelle inférieure à 5 °C. La moyenne de précipitation du mois le plus sec oscille autour de 60 mm. Selon Lomba [12], sa végétation est principalement composée par une forêt mixte qui renferme les principaux types d'habitats caractéristiques des forêts tropicales à savoir : les forêts primaires et secondaires de terre ferme. Dans la partie Nord, c'est une végétation sempervirente à *Brachystegia laurentii* (De Wild) Louis., alliance Gilbertiodendro-Scorodophleion, ordre des Gilbertiodendretalian dewevrei, de la classe de Strombosio-Parinarietea. La partie Sud par contre appartient à la forêt semi-caducifoliée à *Scorodophloeus zenkeri* Harms., alliance Oxystigmo-Scorodophleion, ordre des PiptadeniostroCeltidetalia, classe des Strombosio-Parinarietea. Elle est entourée à sa périphérie par une étendue de forêt dégradée (jachères) que la population riveraine utilise pour ses activités agricoles mais, dont une grande partie figure dans la garantie d'approvisionnement des compagnies forestières (CFT et Bego Congo). Le sol de la RFY présente les caractéristiques reconnues aux sols de la cuvette centrale : rouge ocre, avec un faible rapport de silice sesquioxyde de la fraction argileuse [26].

La figure 1 donne la localisation géographique du milieu d'étude.

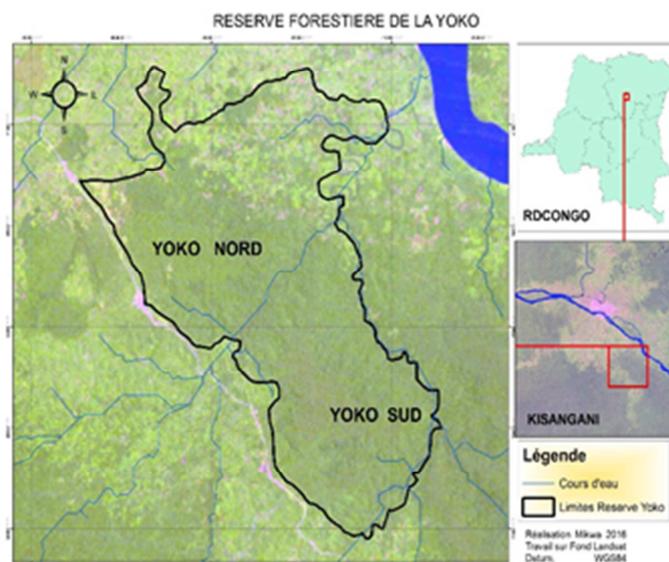


Figure 1: Localisation géographique de la Réserve forestière de la Yoko (Tshopo, RD Congo)

2.2 MÉTHODES D'ÉTUDE

Le matériel végétal constitué de 116 espèces gardées à l'Herbarium de la Faculté des Sciences de l'Université de Kisangani, a été inventorié par deux méthodes sur terrain suivies d'un traitement au laboratoire.

LA MÉTHODE DE TRANSECT

Elle consiste à quantifier la végétation herbacée et du sous-bois de part et d'autres d'un layon de 5 km ouvert à la machette suivant l'orientation Ouest-Est à l'aide de la boussole de marque Sylva, chaîné au penta décimètre et piqueté à chaque 50 m en délimitant les placettes de 200 m. En outre, nous avons inventorié les tiges des herbacées et des sous-bois sur une surface d'un m² placée à 2,5 m de part et d'autres du layon au début de chaque km [27].

LA MÉTHODE DE RELEVÉS PHYTOSOCIOLOGIQUES

Elle consiste à quantifier la végétation herbacée et du sous-bois en délimitant, en dehors du layon une superficie minimale de 0,4 ha dans 4 stations différentes de végétation homogène dont une en forêt secondaire jeune, deux en forêt secondaire vieille et une en forêt primaire mixte [28].

2.3 ANALYSE DES DONNÉES

Les espèces non identifiées sur terrain ont été identifiées à l'Herbarium de la faculté des Sciences par comparaison aux herbiers de référence et au moyen de catalogue informatisé des plantes vasculaires des sous-régions de Kisangani et de la Tshopo, [29] ainsi que de la Flore du Rwanda : Spermatophytes [30]. Par contre, les données concernant les caractéristiques bioécologiques ont été tirées de plusieurs travaux dont [29, 31-41]. Il s'agit de : types morphologiques, types biologiques, types de diaspores, la distribution phytogéographique et le statut phytosociologique. Quant à la mesure de la phytodiversité, la répartition des familles en espèces, la densité relative ainsi que la fréquence relative des taxons ont été évalués à l'aide des formules testées par WHITE(1992) in [27].

En outre, nous avons évalué les indices de diversité de Simpson, Shannon et d'équitabilité dont les formules sont reprises ci-dessous à l'aide du logiciel Past.

3 RESULTATS

3.1 ANALYSE FLORISTIQUE

Au total 116 espèces des plantes herbacées et des sous-bois consignées dans le tableau 1 en annexe ont été identifiées sur le transect et dans les relevés phytosociologiques de la florule étudiée. Elles sont réparties en 92 genres et 44 familles.

La répartition des caractères bioécologiques est reprise dans les figures 2 à 6 ci-dessous.

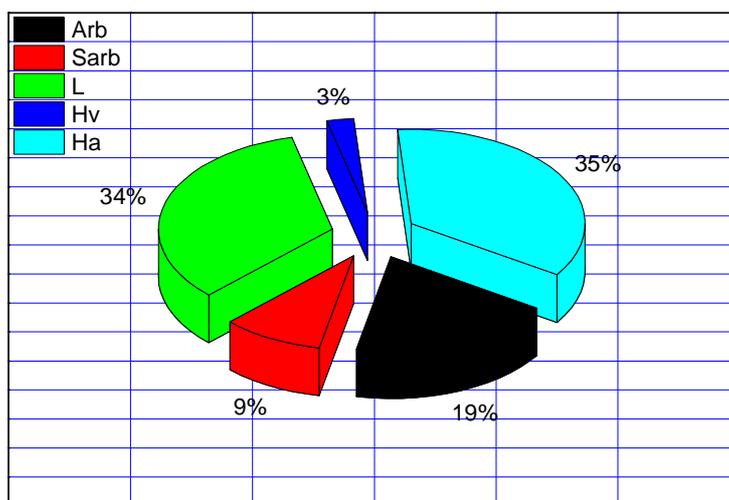


Figure 2: Types morphologiques (Arb : Arbuste, Ha : Herbe annuelle, Hv : Herbes vivaces, L : Lianes et Sous-arbustes)

Selon la figure 2, les ports des espèces recensées se présentent comme suit : Herbes annuelles : 35%, Lianes 34%, Arbustes 19%, Sous-arbustes 9% et Herbes vivaces 3%.

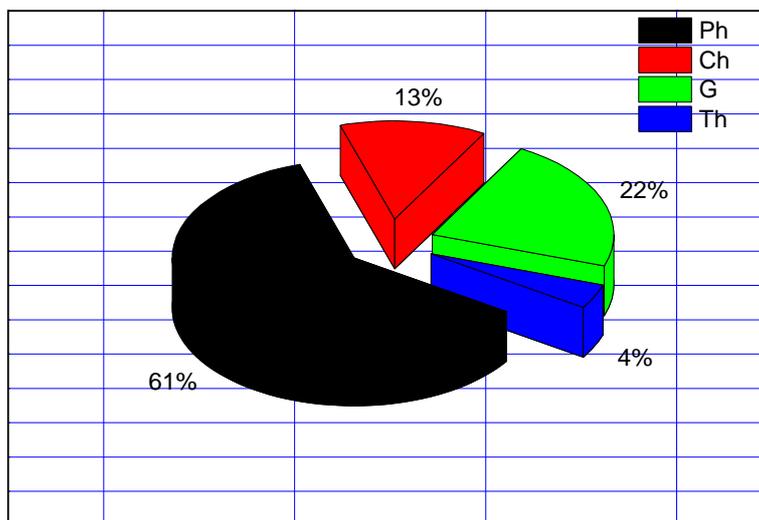


Figure 3: Types biologiques (Ph : phanérophytes, Ch : chaméphytes, G : géophytes et Th : thérophytes)

Il ressort de la figure 3 que les formes de vie sont réparties de la manière suivante : Phanérophytes 61%, Géophytes 22%, Chaméphytes 13% et Thérophytes 4%.

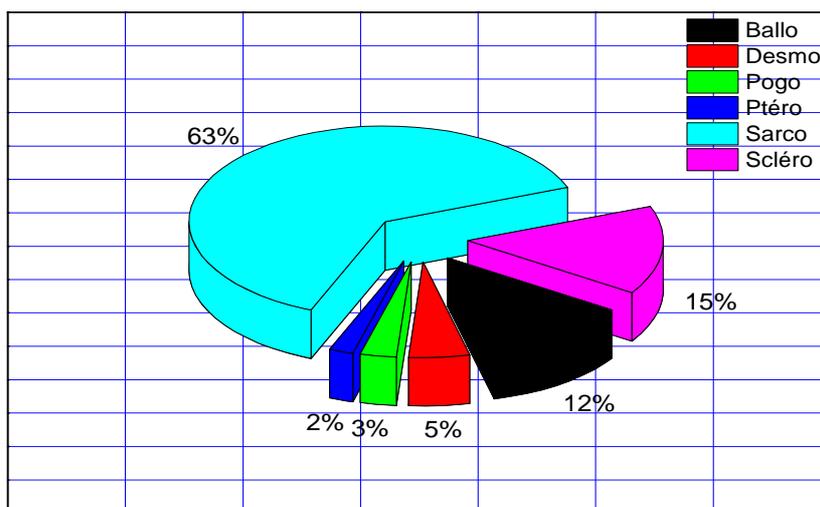


Figure 4: Types de diaspores (Scléro : Sclérochores, Ballo : Ballochores, Sarco : Sarcochores, Desmo : Desmochores, Pogo : Pogonochores, Ptéro : Ptérochores)

Il ressort de cette figure 4 que six modes de dispersion des diaspores ont été répertoriés : Sarcochore 62,93%, Sclérochores 14,66%, Ballochores 12,93%, Desmochores 5,17%, Pogonochores 2,59% et Ptérochores 1,72%.

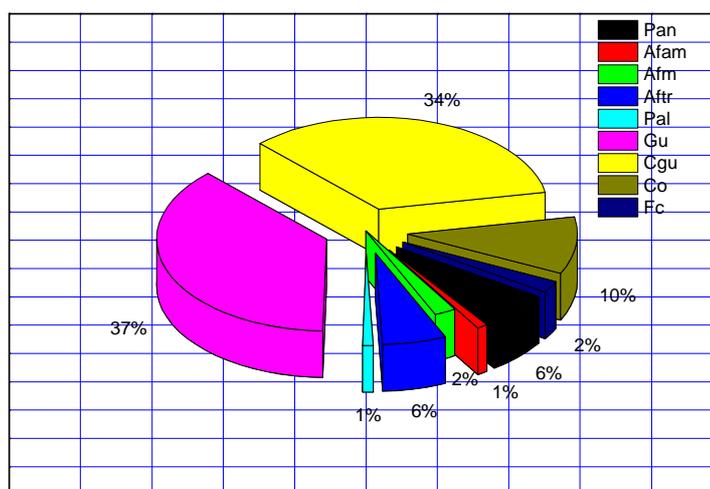


Figure 5: Distribution phyto-géographique (Pan : pantropicale, Aftr : Afrotropicales, Pal : paléo-tropicale, Afam : afro-américaine, Afma : afro-malgache, Guin : guinéenne, C-guin : centro-guinéenne, Cong : congolaise, Fc : forestier central)

Il ressort de la figure 5 que d'après leurs statuts chorologiques, on distingue: les espèces pantropicales, Afro-tropicales (6%), paléo-tropicales (1%), Afro-américaines (1%), Afro-malgaches (2%), guinéennes (37%), centro-guinéennes (34%), congolaises (10%) et celles qualifiées de forestier central (2%).

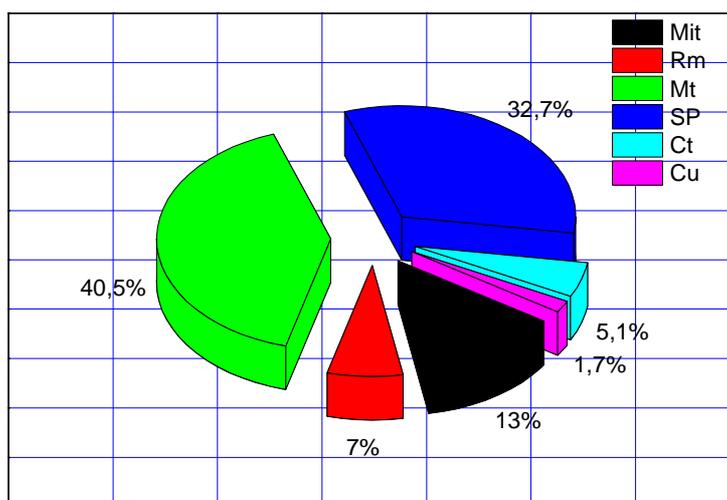


Figure 6: Statuts phytosociologiques (Mit: Mitragynetea, Rm : Ruderali-manihotetea, Mt : Musango-terminalietea, SP : Strombosio-parinarietea, Ct : Caloncobo-tremion, Cu : Cultivées)

Il ressort de la figure 6 que les espèces répertoriées appartiennent aux statuts phytosociologiques suivants : Musango-terminalietea 40,5%, Strombosio-parinarietea 32,7%, Mitragynetea 13,0%, Ruderali-manihotetea 7,0% et Caloncobo-tremion 5,1%

Les familles les plus diversifiées de la florule étudiée sont représentées dans la figure 7 ci-dessous.

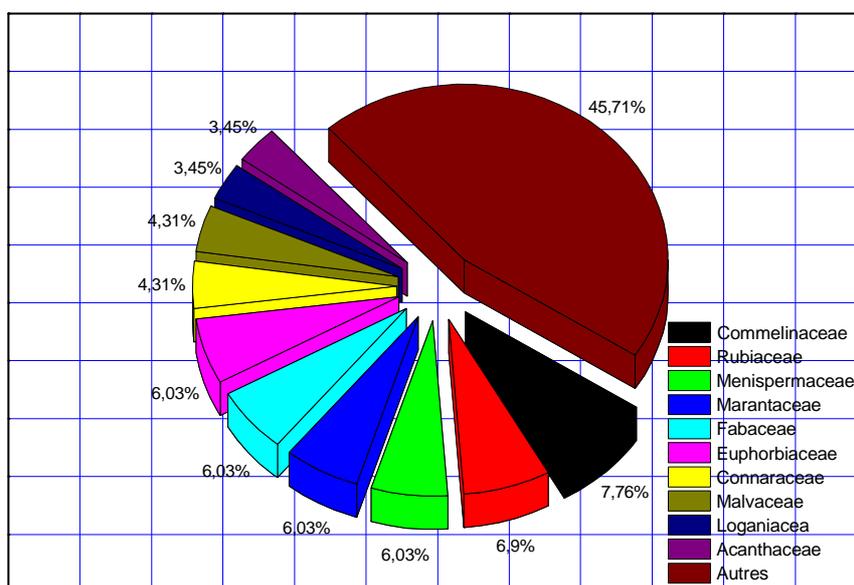


Figure 7: Les dix familles les plus diversifiées de la florule étudiée

Il ressort de la figure 7 que parmi les 10 familles les plus abondantes en espèce des 44 familles recensées dans cette florule, la famille des Commelinaceae est la plus diversifiée (7,76% d'espèces) suivie respectivement des Rubiaceae (6,9%), Menispermaceae (6,03%), Marantaceae (6,03%), Fabaceae (6,03%), Euphorbiaceae (6,03%), Connaraceae (4,31%), Malvaceae (4,31%), Loganiaceae (3,45%) et Acanthaceae (3,45%). Le reste des familles sont groupé dans Autres (46% d'espèces).

Le tableau 1 donne les valeurs d'indices de diversité de la florule étudiée.

Tableau 1 : Les indices de diversités de notre florule.

Indices de diversité	Valeur
Simpson	0,957
Shannon	3,619
Equitabilité	0,784

Il ressort de ce tableau 1 que cette florule est fortement diversifiée compte tenu de son indice de Simpson qui tend vers 1. L'indice de Shannon tend vers 4, ceci montre qu'il y a une forte probabilité de tirer deux individus aux hasards qui n'appartiennent pas à la même espèce. En outre, il y a une bonne répartition des espèces dans cette florule car l'indice d'équitabilité tend vers 1.

3.2 MESURE DE LA PHYTO-DIVERSITÉ

La figure 8 donne la répartition de la densité relative d'espèces et de familles de la florule étudiée.

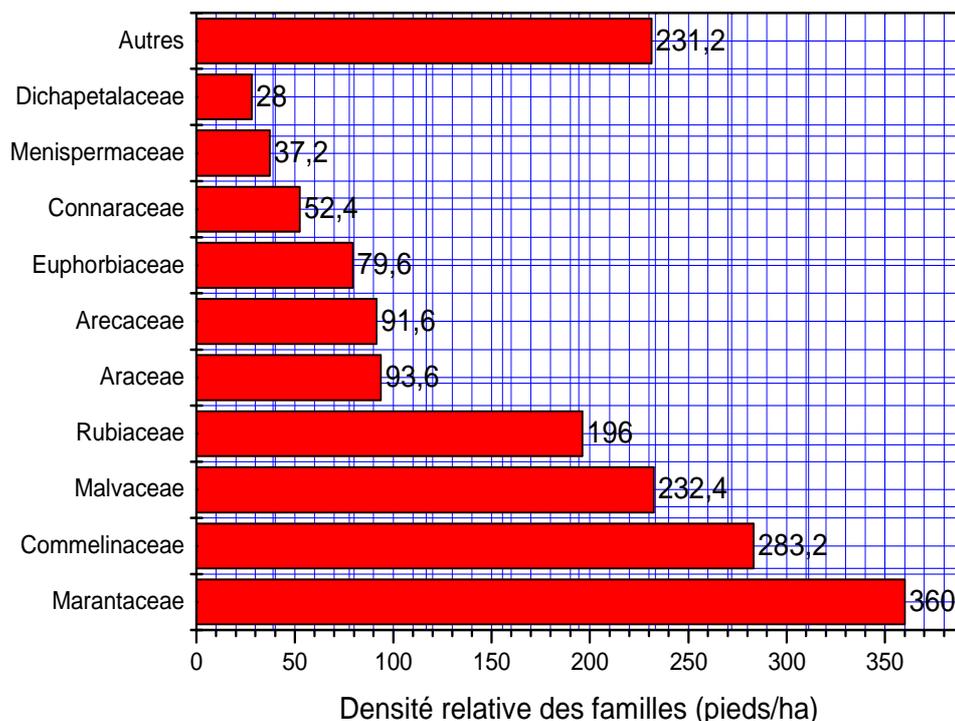


Figure 8: Densité relative des familles de la florule étudiée

L'examen de la figure 8 révèle que parmi les 10 familles à densité relative élevée, celle des Marantaceae (360,0 pieds/ha) est prépondérante viennent ensuite selon l'ordre décroissant, les Commelinaceae (283,2 pieds/ha), Malvaceae (232,4), Rubiaceae (196 pieds/ha), Araceae (93,6 pieds/ha), Arecaceae (91,6 pieds/ha), Euphorbiaceae (79,6 pieds/ha), Connaraceae (52,4 pieds/ha), Menispermaceae (37,2 pieds/ha) et Dichapetalaceae (28,0 pieds/ha). Le reste des familles est regroupé dans Autres (231,2 pieds/ha).

Quant aux 10 espèces à densité relative élevée, celle *Marantochloa congensis* est la plus prépondérante (174 pieds/ha) suivie respectivement de *Scaphopetalum thonnerii* (170,4 pieds/ha), *Geophilla afzelia* (129,6 pieds/ha), *Palisota barteri* (101,2 pieds/ha), *Sarcophyllum brachystachyum* (75,6 pieds/ha), *Palisota ambigua* (74,8 pieds/ha), *Geophilla obvallata* (60,4

pieds/ha), *Alchornea floribunda* (56,4 pieds/ha), *Sarcophrynium prionogonium* (55,6 pieds/ha) et *Laccosperma secundiflorum* (49,6 pieds/ha). Autres (818,8 pieds/ha) regroupent le reste des espèces (figure 9).

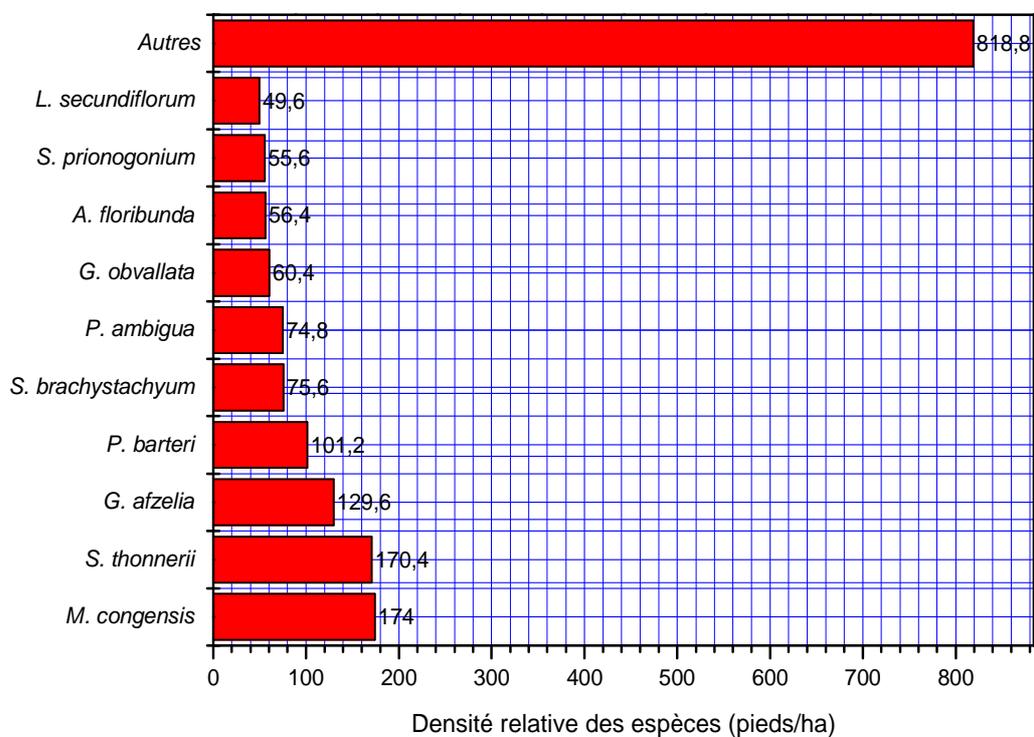


Figure 9: Densité relative des espèces répertoriée dans la florule étudiée

Les fréquences relatives d'espèces et de famille dans les relevés sont reprises dans les figures 10 et 11 ci-dessous.

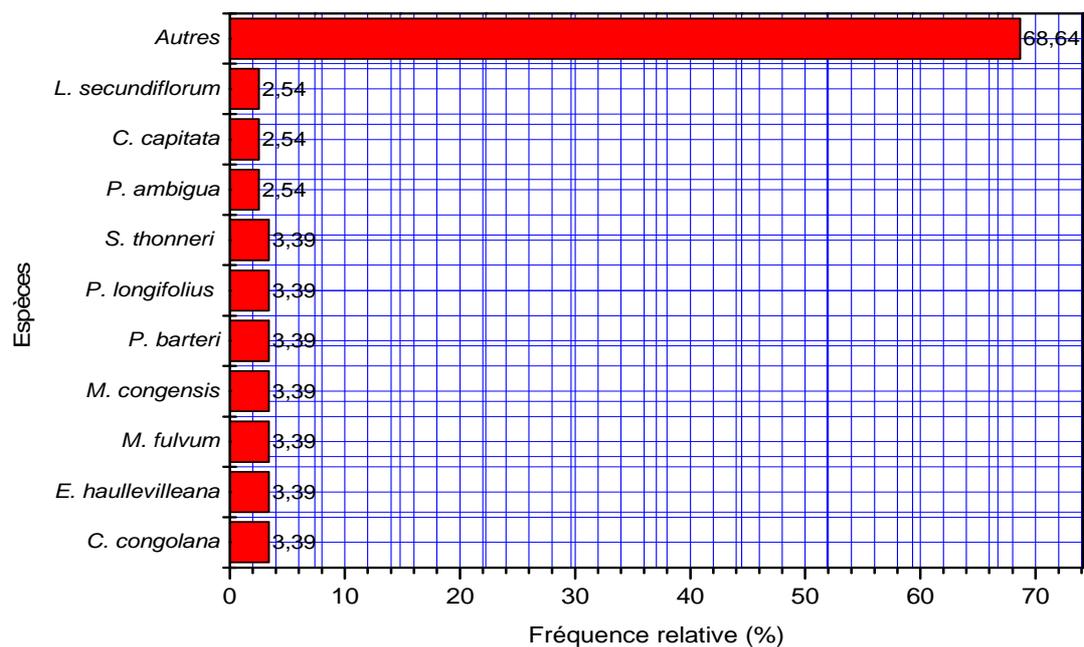


Figure 10: Fréquence relative des espèces dans les relevés

Il ressort de cette figure que *Cola congolana*, *Eremospatha haullevilleana*, *Maniophyton fulvum*, *Marantochloa congensis*, *Palisota barteri*, *Penianthus longifolius* et *Scaphopetalum thonneri* sont les espèces constantes et caractéristiques des relevés de la florule étudiée. Elles ont chacune une fréquence relative la plus élevée de 3,39%. Par contre, la fréquence relative la plus élevée (6,25%) est observée chez huit familles caractéristiques des relevés de la florule étudiée. Il s'agit notamment de: Arecaceae, Commelinaceae, Connaraceae, Euphorbiaceae, Lomariopsidaceae, Malvaceae, Maranthaceae et Menispermaceae (figure 11).

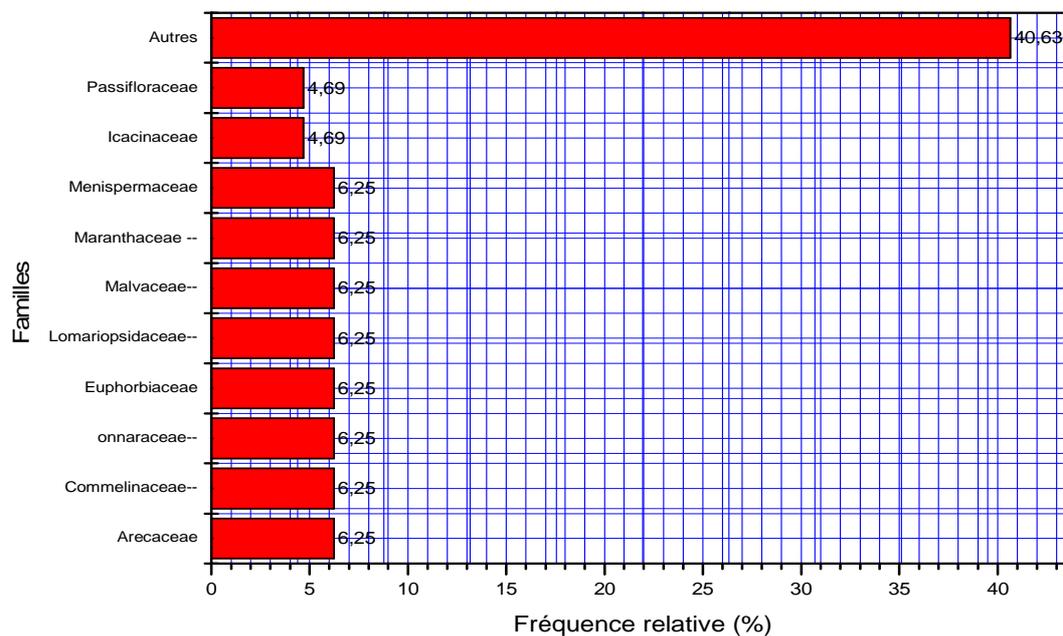


Figure 11: Fréquence relative des familles dans les relevés

Les fréquences relatives des espèces et de familles dans les transects sont reprises dans les figures 12 et 13 ci-dessous.

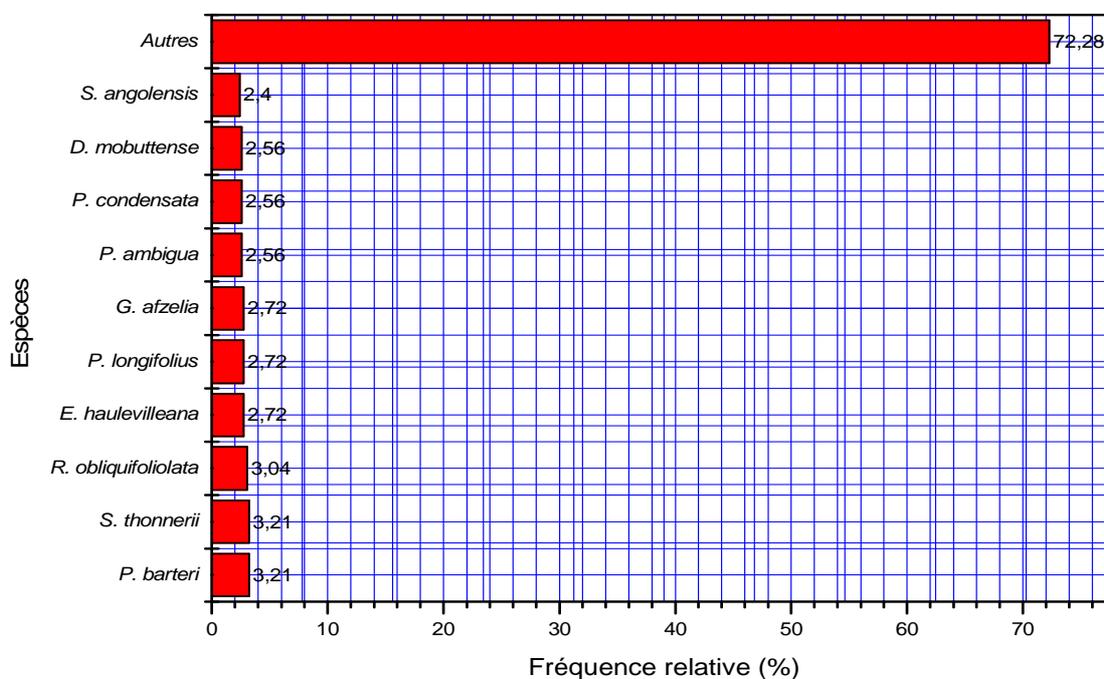


Figure 12: Fréquence relative des espèces dans les transects

L'analyse de la figure 12 montre que les espèces *Palisota barberi* et *Scaphopetalum thonnerii* sont en tête avec une fréquence relative de 3,21% viennent ensuite les espèces *R. obliquifoliolata* (3,04%), *E. haulevilleana* (2,72%), *P. longifolius* (2,72%), *G. afzelia* (2,72%), *P. ambigua* (2,56%), *P. condensata* (2,56%), *D. mobuttense* (2,56%). L'espèce *Scadoxus angolensis* est la moins représentée avec une fréquence relative de 2,40%. En outre, la famille des Malvaceae domine en importance avec une fréquence relative de 6,38% suivie respectivement des Commelinaceae (6,08%), Euphorbiaceae (6,08%), Menispermaceae (6,08%), Rubiaceae (6,08%), Connaraceae (5,78%), Marantaceae (5,78%), Araceae (5,47%), Arecaceae (5,17%). Tandis que la famille des Dichapetalaceae est la moins représentée avec une fréquence relative de 4,86%. Le reste des familles réunies ont une fréquence relative de 42,25% (figure 13).

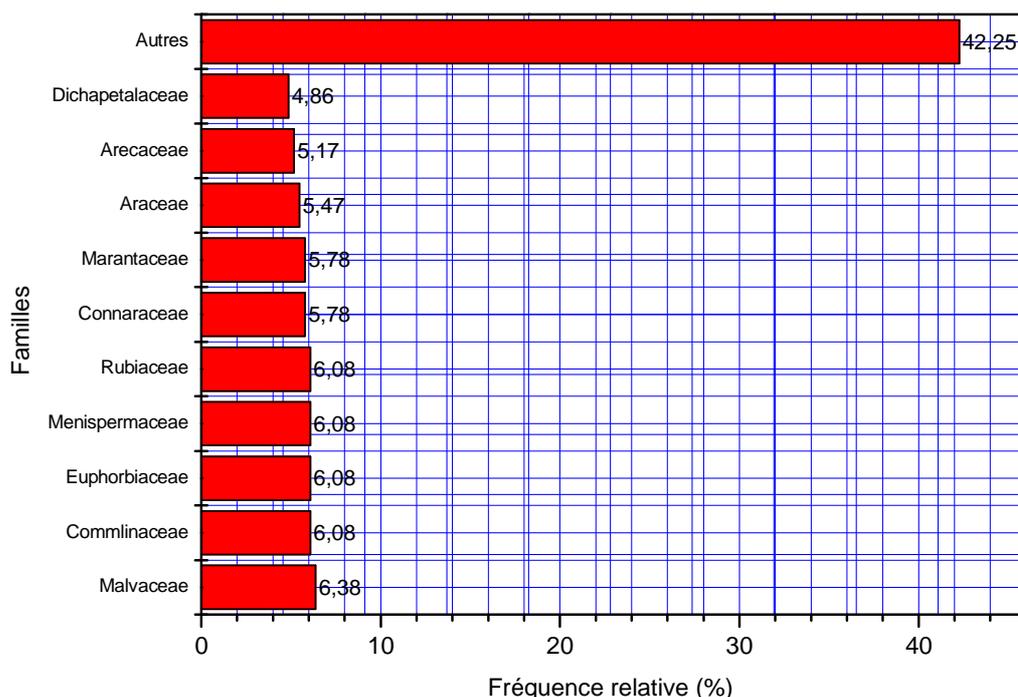


Figure 13: Fréquence relative des familles dans les transects

4 DISCUSSION

Les résultats de nos investigations montrent une dominance des plantes ligneuses (62,1%), du port herbe vivace (35,3%), des Phanérophytes (61,2%), des Sarcocoches (63,8%), des espèces guinéo-congolais (72,4) et de la classe phytosociologique Musango-terminalietea (40,5). Ainsi, l'abondance des Phanérophytes confirme l'appartenance de notre florule aux forêts ombrophiles sempervirentes. L'apparition des Thérophytes par contre témoigne la présence soit des clairières ou trouées ou encore des actions anthropiques. La prépondérance des Sarcocoches révèle que la dissémination se fait par zoochorie. La faible proportion des espèces à large distribution géographique justifie que notre florule n'est pas encore envahie par les espèces exotiques. D'où la prédominance des espèces guinéennes suivies des Centro-guinéennes et des endémiques. La forte proportion d'espèces de la classe phytosociologique Musango-terminalietea prouve que la florule étudiée est une forêt secondaire vieille.

Nos résultats seront exclusivement comparés à ceux obtenus par [42] à l'île Mbie compte tenu de l'approche méthodologique et de l'importance des paramètres analysés. [42] à l'île Mbie a recensé 105 espèces tandis qu'à la Yoko nous en avons eu 116 (annexe 1). Notre florule est plus abondante que celle de l'île Mbie.

En comparant l'importance spécifique de certaines familles de notre florule à celle de l'île Mbie, nous constatons que les Commelinaceae, Rubiaceae et Euphorbiaceae abondent dans les deux florules avec pour la première : 9 contre 11 de l'île Mbiye, 8 contre 11 pour la deuxième et en fin 7 contre 6 pour la troisième famille. Cela montre que ces familles sont caractéristiques de la plupart des forêts tropicales, particulièrement de leurs strates herbacée et du sous-bois.

Dans les résultats de [42] à l'île Mbiye, les paramètres bioécologiques sont dominés par les plantes herbacées (58,1%), les Phanérophytes (38,1%) constituent les types biologiques abondants, les Sarcochores (50%) sont des diaspores les plus fréquents. La majorité des espèces ont un statut chorologique guinéo-congolais (55,2%) et cette florule possède un statut phytosociologique strombosia-parinarietea (35,2%). Les résultats de la présente étude par contre indiquent la même tendance pour les types biologiques (61,2%), les types de diaspore (63,8%) et la distribution phytogéographique (72,4%). Tandis que les types morphologiques et le statut phytosociologique ne montrent pas la même tendance, le statut phytosociologique Musango-terminalietera montre que notre florule est une forêt secondaire vieille dominée par les plantes ligneuses dont les lianes en tête.

La densité relative de 174 pieds/ha de l'espèce *Marantochloa congensis* de la famille des Maranthaceae est la plus élevée de notre florule contre 232,8/ha de l'espèce *Culcasia scandens* de la famille Araceae à l'île Mbiye.

La fréquence relative de famille la plus élevée dans les relevés de notre florule est de 7,8% observé chez les Commelinaceae suivie des Rubiaceae avec 6,9% contre celui de 10,5% des Commelinaceae et Rubiaceae de l'île Mbiye. Ainsi donc, ces familles sont caractéristiques de la strate herbacée et du sous-bois des forêts tropicales sempervirentes ombrophiles. La fréquence relative d'espèces la plus élevée de 3,30% est observée dans la florule étudiée chez *Palisota barteri* et *Scaphopetalum thonneri* contre celle de 64,35% observée chez *Culcasia scandens* à l'île Mbiye.

Les familles les plus fréquentes du transect de la florule étudiée sont : Malvaceae (6,31%), Commelinaceae, Euphorbiaceae et Menispermaceae (6,16% respectivement), Connaraceae et Marantaceae avec 6,01% chacun et en fin les Arecaceae (5,71%) tandis qu'à l'île Mbiye, les auteurs ont dénombrés les Araceae, Euphorbiaceae et Marantaceae. Ces résultats montrent que nous avons tous étudié la végétation herbacée et du sous-bois quelle que soit la différence de biotope.

Dans les deux méthodes utilisées dans la présente étude, les familles les plus fréquentes sont : Arecaceae, Commelinaceae, Connaraceae, Euphorbiaceae, Malvaceae, Maranthaceae et Menispermaceae.

5 CONCLUSION ET SUGGESTIONS

Au terme de cette étude, nous avons montré que la réserve forestière de la Yoko Sud abrite une flore herbacée et sous-arbustive très diversifiée. Ainsi donc, la forêt de la Yoko tout comme celle de l'ensemble de la cuvette centrale congolaise, présente un intérêt écologique majeur. Au total, 116 espèces végétales ont été inventoriées et sont réparties en 92 genres et 44 familles. Notons que les familles prépondérantes et caractéristiques sont les Commelinaceae et les Rubiaceae. L'espèce *Marantochloa congensis* et la famille des Marantaceae ont présenté une valeur élevée de densité relative. Par contre, les fréquences relatives des espèces les plus observées sont celles de *Cola congolana* et de *Palisota barteri*, tandis que les familles ayant une valeur élevée de fréquence relative sont les Malvaceae, Arecaceae, Commelinaceae, Connaraceae, Euphorbiaceae, Lomariopsidaceae, Marantaceae et Menispermaceae. Les valeurs d'indices de diversité (Simpson, Shannon, équitabilité) indiquent que cette florule est diversifiée et ses espèces sont bien réparties. Nos résultats montrent aussi que, les deux méthodes utilisées convergent bien que les transects traversent différents biotopes et dominant en termes d'importance floristique. Il est donc souhaitable que cette étude soit étendue à d'autres réserves forestières et groupements forestiers de la région de Kisangani et ses environs en vue d'élaborer une meilleure base des données nécessaire à la gestion durable des forêts classées et autres sites à haute valeur pour la conservation.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'Université de Kisangani (République démocratique du Congo) et plus spécialement la Faculté des Sciences et le Centre de surveillance de la biodiversité pour leur soutien.

REFERENCES

- [1] L. Debroux, T. Hart, D. Kaimowitz, A. Karsenty, G. Topa. Forests in Post-Conflict, Democratic Republic of Congo: Analysis of a Priority Agenda. Center for International Forestry Research: Jakarta, 2007.
- [2] K.N. Ngbolua, V. Mudogo, P.T. Mpiana, M.J. Malekani, H. Rafatro, R.S. Urverg, L. Takoy, H. Rakotoarimana, D.S.T. Tshibangu. Evaluation de l'activité anti-drépanocytaire et antipaludique de quelques taxons végétaux de la République démocratique du Congo et de Madagascar. *Ethnopharmacologia* Vol. 50, pp. 19-24, 2013.

- [3] J.A. Asimonyio, K. Kambale, E. Shutsha, G.N. Bongo, D.S.T. Tshibangu, P.T. Mpiana, K.N. Ngbolua. Phytoecological Study of Uma Forest (Kisangani City, Democratic Republic Of The Congo). *J. of Advanced Botany and Zoology*, V3I2. DOI: 10.15297/JABZ.V3I2.01, 2015.
- [4] J.A. Asimonyio, J.C. Ngabu, C.B. Lomba, C.M. Falanga, P.T. Mpiana, K.N. Ngbolua. Structure et diversité d'un peuplement forestier hétérogène dans le bloc sud de la réserve forestière de Yoko (Ubundu, République Démocratique du Congo). *International Journal of Innovation and Scientific Research* Vol. 18, no. 2, pp. 241-251, 2015.
- [5] B.G. Badjedjea, B.J. Akuboy, M.F. Masudi, J.A. Asimonyio, K.P. Museu, K.N. Ngbolua. A preliminary survey of the amphibian fauna of Kisangani eco-region, Democratic Republic of the Congo. *J. of Advanced Botany and Zoology*, V3I4. DOI: 10.15297/JABZ.V3I4.01, 2015.
- [6] P. Baelo, J.A. Asimonyio, S. Gambalemoke, N. Amundala, R. Kiakenya, E. Verheyen, A. Laudisoit, K.N. Ngbolua. Reproduction et structure des populations des Sciuridae (Rodentia, Mammalia) de la réserve forestière de Yoko (Ubundu, RD Congo). *International Journal of Innovation and Scientific Research* Vol. 23, no. 2, pp. 428-442, 2016.
- [7] P. Baelo, C. Kahandi, J. Akuboyi1, J.L. Juakaly, K.N. Ngbolua. Contribution à l'étude de la biodiversité et de l'écologie des Araignées du sol dans un champ cultivé de *Manihot esculenta* Crantz (Euphorbiaceae) à Kisangani, RD Congo. *International Journal of Innovation and Scientific Research* Vol. 23, no. 2, pp. 412-418, 2016.
- [8] J.K. Kambale, F.M. Feza, J.M. Tsongo, J.A. Asimonyio, S. Mapeta, H. Nshimba, B.Z. Gbolo, P.T. Mpiana, K.N. Ngbolua. La filière bois-énergie et dégradation des écosystèmes forestiers en milieu périurbain: Enjeux et incidence sur les riverains de l'île Mbiye à Kisangani (République Démocratique du Congo). *International Journal of Innovation and Scientific Research* Vol. 21, no. 1, pp. 51-60, 2016.
- [9] J.-L.K. Kambale, J.A. Asimonyio, R.E. Shutsha, E.W. Katembo, J.M. Tsongo, P.K. Kavira, E.I. Yokana, K.K. Bukasa, H.S. Nshimba, P.T. Mpiana, K.N. Ngbolua. Etudes floristique et structurale des forêts dans le domaine de chasse de Rubi-Télé (Province de Bas-Uélé, République Démocratique du Congo). *International Journal of Innovation and Scientific Research* Vol. 24, no. 2, pp. 309-321, 2016.
- [10] J.-L.K. Kambale, R.E. Shutsha, E.W. Katembo, J.M. Omatoko, F.B. Kirongozi, O.D. Basa, E.P. Bugenthoo, E.I. Yokana, K.K. Bukasa, H.S. Nshimba, K.N. Ngbolua. Etude floristique et structurale de deux groupements végétaux mixtes sur terre hydromorphe et ferme de la forêt de Kponyo (Province du Bas-Uélé, R.D. Congo). *International Journal of Innovation and Scientific Research* Vol. 24, no. 2, pp. 300-308, 2016.
- [11] P.K. Kavira, F.B. Kirongozi, J.-L.K. Kambale, J.M. Tsongo, N.A. Shalufa, K.K. Bukasa, P.Y. Sabongo, H.K. Nzapo, K.N. Ngbolua. Caractéristiques de la régénération naturelle du sous-bois forestier du Jardin botanique S. Lisowski (Kisangani, République Démocratique du Congo). *International Journal of Innovation and Scientific Research* Vol. 24, no. 2, pp. 322-331, 2016.
- [12] C.K. Kaswera, D. Akaibe, J.-L. K. Kambale, E. Verheyen, K.N. Ngbolua. Pression de chasse sur *Petrodromus tetradactylus tordayi* (Thomas, 1910 : Mammalia) dans six villages des environnants de la Réserve Forestière de Yoko (Province de la Tshopo, RD Congo). *International Journal of Innovation and Scientific Research* Vol. 26, no. 1, pp. 182-189, 2016.
- [13] T.B. Mambo, J.U. Thumitho, E.L. Tambwe, C.M. Danadu, J.A. Asimonyio, A.B. Kankonda, J.A. Ulyel, C.M. Falanga, K.N. Ngbolua. Etude qualitative du régime alimentaire de *Hippopotamyrus psittacus* (Boulenger, 1897: Osteiglossiformes, Mormyridae) du fleuve Congo à Kisangani (RD Congo). *International Journal of Innovation and Scientific Research* Vol. 21, no. 2, pp. 321-329, 2016.
- [14] F.M. Masudi, A. Dudu, G. Katuala, J.A. Asimonyio, P.K. Museu, B.Z. Gbolo, K.N. Ngbolua, 2016. Biodiversité des rongeurs et Soricomorphes de champs de cultures mixtes de la région de Kisangani, République Démocratique du Congo. *International Journal of Innovation and Applied Studies* Vol. 14, no. 2, pp. 327-339, 2016.
- [15] K.N. Ngbolua, J.A. Asimonyio, N. Ndrodza, B. Mambo, P. Bugenthoo, Y. Isangi, J.K. Mukirania, L. Ratsina, N.K. Ngombe, P.T. Mpiana. Valeur nutritive et teneur en acide cyanhydrique de huit espèces végétales consommées par *Okapia johnstoni* (Mammalia: Giraffidae) en République Démocratique du Congo. *International Journal of Innovation and Scientific Research* Vol. 23, no. 2, pp. 419-427, 2016.
- [16] K.N. Ngbolua, B.G. Badjedjea, B.J. Akuboy, M.F. Masudi, J.A. Asimonyio, G.N. Bongo, A.D. Siasia. Contribution to the Knowledge of Amphibians of Kponyo village (DR Congo). *J. of Advanced Botany and Zoology*, V4I1 DOI: 10.15297/JABZ.V4I1.04, 2016.
- [17] K.N. Ngbolua., A. Mafoto, M. Molongo, G.M. Ngemale, C.A. Masengo, Z.B. Gbolo, P.T. Mpiana, G.N. Bongo. Contribution to the Inventory of "Protected Animals" Sold As Bush Meats in Some Markets of Nord Ubangi Province, Democratic Republic Of The Congo. *J. of Advanced Botany and Zoology*, V3I2. DOI: 10.15297/JABZ.V3I2.02, 2015.
- [18] K.N. Ngbolua, A. Mafoto, M. Molongo, J.P. Magbukudua, G.M. Ngemale, C.A. Masengo, K. Patrick, H. Yabuda, J. Zama, F. Veke. Evidence of new geographic localization of *Okapia johnstoni* (Giraffidae) in Democratic Republic of the Congo: The rainforest of "Nord Ubangi" district. *Journal of Advanced Botany & Zoology*. V2I1. DOI: 10.15297/JABZ.V2I1.02, 2014.

- [19] K.N. Ngbolua, G.M. Ngemale., N.F. Konzi, C.A. Masengo, Z.B. Gbolo, B.M. Bangata., T.S. Yangba, N. Gbiangbada. Utilisation de produits forestiers non ligneux à Gbadolite (District du Nord-Ubangi, Province de l'Equateur, R.D. Congo): Cas de Cola acuminata (P.Beauv.) Schott & Endl. (Malvaceae) et de Piper guineense Schumach. & Thonn. (Piperaceae). Congo Sciences Vol. 2, no. 2, pp. 61-66, 2014.
- [20] J. Omatoko, H. Nshimba, J. Bogaert, J. Lejoly, R. Shutsha, J.P. Shaumba, J. Asimonyio, K.N. Ngbolua. Etudes floristique et structurale des peuplements sur sols argileux à Pericopsis elata et sableux à Julbernardia seretii dans la forêt de plaine de UMA en République Démocratique du Congo. International Journal of Innovation and Applied Studies Vol. 13, no. 2, pp. 452-463, 2015.
- [21] J.U. Thumitho, T.B. Mambo, C.C. Urom, J.C. Ngab'u, A.B. Kankonda, A.P. Ulyel, M.G. Ngemale, K.N. Ngbolua. Ecologie alimentaire de Ichtyoborus besse congolensis (Giltay, 1930 ;Teleostei: Distichodontidae) de rivière Biaro et son affluent Yoko dans la Réserve forestière de Yoko (RD Congo). International Journal of Innovation and Scientific Research, Vol. 21, no. 2, pp. 330-341.
- [22] J.M. Tsongo , P. Sabongo , J.K. Kambale , B.T. Malombo , E.W. Katembo , P.K. Kavira , J.A. Asimonyio , P.M. Konga , K.N. Ngbolua. Régénération naturelle de *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild.) J. Léonard (Leguminosae) dans la réserve forestière de Masako à Kisangani, République Démocratique du Congo. International Journal of Innovation and Scientific Research Vol. 21, no. 1, pp. 61-68, 2016.
- [23] J.B. Akuboy, F. Bapeamoni, G. Tungaluna, G.B. Badjedjea, L. Baelo, J.A. Asimonyio, A. Laudisoit, A. Dudu, K.N. Ngbolua. Diversité et répartition des ophidiens (Reptilia) dans les trois aires protégées de la province orientale RD Congo, International journal of innovation and Scientific Research Vol. 23, no. 2, pp. 476-484. 2016.
- [24] E.Y. Isangi, E.M. Katungu, C.K. Mukirania, J.K. Kosele, P. Baelo, E.P. Bugenthoo, S. Gambalemoke, J.A. Asimonyio, K.N. Ngbolua. Biodiversité des rongeurs et musaraignes de la forêt de Yasikia (Opala, République Démocratique du Congo). International Journal of Innovation and Scientific Research Vol. 26, no. 1, pp. 146-160, 2016.
- [25] E. Okangola, E. Solomo, Y. Lituka, W.B. Tchatchambe, M. Mate, A. Upoki, A. Dudu, J.A. Asimonyio, P.T. Mpiana, K.N. Ngbolua. Etude ethnobotanique et floristique de quelques plantes hôtes des chenilles comestibles à usage médicinal dans le secteur de Bakumu-Mangongo (Territoire d'Ubundu, Province de la Tshopo, RD Congo). International Journal of Innovation and Scientific Research Vol. 26, no. 1, pp. 161-168, 2016.
- [26] B. Lomba, M. Ndjele. Utilisation de la méthode du transect en vue de l'étude de la phytodiversité dans la réserve de la Yoko (Ubundu, RDC). Annales de la Faculté des Sciences (Université de Kisangani), Vol. 11, pp. 35-46, 1998.
- [27] J. Lejoly. Méthodologie ECOFAC pour les inventaires forestiers (Partie flore et végétation). Lab. Bot. Syst. Phyt., Université Libre de Bruxelles, 1993.
- [28] M. Kahindo. Contribution à l'étude floristique et phytosociologique des forêts secondaires de MASAKO (Kisangani). Travail de fin d'études, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, 1988.
- [29] J. Lejoly, S. Lisowski, M.B. Ndjele. Catalogue informatisé des plantes vasculaires des sous-régions de Kisangani et de la Tshopo. 3ème éd. Faculté des Sciences, Université Libre de Bruxelles, 1988.
- [30] G. Troupin. Flore du Rwanda: Spermatophytes, Vol II. Agence de Coopération Culturelle et Technique, Musée Royal de l'Afrique Centrale, Tervuren, Belgique, 1983.
- [31] L. Amuri. Etude de la forêt primaire de terre ferme de l'île Kongolo (Haut-Congo). Travail de fin d'études, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, 1979.
- [32] R. Germain, C. Evrard. Etude écologique et Phytosociologique de la forêt à *Brachystegia laurentii*. Publication de l'I.N.E.A.C. Revue Scientifique (Bruxelles), no. 67, p. 107, 1956.
- [33] M. Kambale. Contribution à l'étude des flores et de la végétation forestière des chutes Amunyala (Province Orientale). Travail de fin d'études, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, 1996.
- [34] J. Lebrun, G. Gilbert, G., 1954 : Classification écologique des forêts du Congo, Publication de l'I.N.E.A.C., Revue Scientifique (Bruxelles), no. 63, p. 89, 1954.
- [35] J. Lebrun. Les formes biologiques dans les végétations tropicales. Mém. Soc. Bot. Fr., pp. 164-175, 1966.
- [36] B. Likunde. Contribution à l'étude floristique de la forêt à *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild) J. Léonard de Yalisombo. Travail de fin d'études, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, 1987.
- [37] A. Lubini. Végétation muscicole et post-culturale des sous-régions de Kisangani et de la Tshopo (Haut-Zaïre). Thèse de doctorat, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, 1982.
- [38] M. Makana. Contribution à l'étude floristique et écologique de la forêt à *Gilbertiodendron dewevrei* de Masaka (Kisangani). Travail de fin d'études, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, 1986.
- [39] M. Mandango. Flore et végétation de l'île Tundulu à Kisangani. Diplôme d'études supérieures (D.E.S.), Faculté des Sciences, Université de Kisangani, 1981.
- [40] M. Ndjele. Les éléments phytogéographiques endémiques dans la flore vasculaire du zaïre. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences, Université libre de Bruxelles, 1988..

[41] F. White. Végétation de l'Afrique. ORSTOM, UNESCO, Paris, France, 1986.

[42] T. Kasongo. Contribution à l'étude de la végétation herbacée et du sous-bois de l'île Mbie (Kisangani). Travail de fin d'études, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, 1997.

ANNEXE 1: LISTE FLORISTIQUE DE LA FLORULE ÉTUDIÉE

Famille	Espèces	TM	TB	TD	DP	SP	T/R
Acanthaceae	<i>Acanthus montanus</i> T. Anders.	Sarb	Ph	Ballo	Guin	M.T.	T
	<i>Justicia bolomboensis</i> Heine	Sarb	Ph	Ballo	C-guin	M.T.	T-R
	<i>Justicia claenssensii</i> De Wild.	Sarb	Ph	Ballo	C-guin	M.T.	T-R
	<i>Pseuderanthemum ludovicianum</i> Lindau.	Arb	Ch	Ballo	Guin	M.T.	T
Asparagaceae	<i>Dracaena arborea</i> Link.	Arb	Ph	Sarco	Guin	M.	T
	<i>Dracaena klindtiana</i> De Wild.	Arb	Ph	Sarco	congo	S.P.	T
Amaranthaceae	<i>Cyatula prostata</i> Blume	Han	Th	Desmo	Pant	RM	R
	<i>Cyatula Achyranthoides</i> Moq. In DC.	Han	Ch	Desmo	Pant	RM	R
Amaryllidaceae	<i>Scadoxus angolensis</i> Well.	Hvi	Géo	Sarco	Congo	MT	T-R
Apocynaceae	<i>Baissea axillaris</i> Ha.	L	Ph	Pogo	Guin	S.P.	T
	<i>Landolphia owariensis</i> P. Beauv.	L	Ph	Sarco	Aftr	M.	T
	<i>Periploca nigrescens</i> Afzel.	L	Ph	Pogo	Guin	M.T.	T
Araceae	<i>Anchomanes difformis</i> Engl.	Hvi	Géo	Sarco	Cong	M.T.	R
	<i>Cercestis congoensis</i> Engl.	Hvi	Ph	Sarco	C-guin	M.	T
	<i>Culcasia angolensis</i> Welw ex Schott.	Hvi	Ph	Sarco	Guin	M	T
	<i>Culcasia scandens</i> P. Beauv.	Hvi	Ph	Pogo	C-guin	M.T.	T
Arecaceae	<i>Laccosperma secundiflorum</i> Wendl.	L	Ph	Sarco	Cong	M.	T-R
	<i>Eremospatha haulevilleana</i> De Wild.	L	Ph	Sarco	Cong	M	T-R
Aspleniaceae	<i>Asplenium aficanum</i> Desv.	Hvi	Géo	Scléro	C-guin	S.P.	T
Balanophoraceae	<i>Thonningia sanguinea</i> Vahl.	Hvi	Géo	Sarco	Guin	M	T
Commelinaceae	<i>Stanfieldiella imperforata</i> Brenan	Hvi	Ch	Scléro	Guin	M.T.	T-R
	<i>Commelina capitata</i> Benth.	Hvi	Ch	Scléro	Pant	M.T.	T
	<i>Cyanotis hirsuta</i> Louis t Mulnders.	Hvi	Ch	Scléro	Cong	M.T.	T
	<i>Palisota ambigua</i> G.B.Cl.	Hvi	Ch	Sarco	C-guin	M.T.	T-R
	<i>Palisota barberi</i> Hook.	Hvi	Géo	Sarco	C-guin	M.T.	T-R
	<i>Palisota brachythyrza</i> Mildb.	Hvi	Ch	Sarco	Guin	S.P.	T-R
	<i>Palisota schweinfuthii</i> C.B.Cl.	Hvi	Ch	Sarco	C-guin	M.T.	T-R
	<i>Pollia condensata</i> C.B.Cl.	Hvi	Ch	Sarco	Guin	S.P.	T-R
	<i>Polyspatha paniculata</i> Bent.	Hvi	Ch	Scléro	Guin	S.P.	T
Connaraceae	<i>Agelaea dewevrei</i> De wild.& Th.DR	L	Ph	Sarco	C-guin	M.T.	T-R
	<i>Agelaea paradoxa</i> Schellenb.	L	Ph	Sarco	Guin	M.T.	T-R
	<i>Cnestis ferruginea</i> D.C.	L	Ph	Sarco	C-guin	M.T.	T-R
	<i>Cnestis urens</i> Gilg.	L	Ph	Sarco	C-guin	M.T.	T-R
	<i>Rourea obliquifoliolata</i> Gilg.	L	Ph	Sarco	C-guin	S.P.	T-R
Costaceae	<i>Costus locanusianus</i> J. Braun.	Hvi	Géo	Sarco	Guin	R.M.	T
Cyperaceae	<i>Scleria boevinii</i> Stend.	Hvi	Géo	Scléro	Afma	M.T.	R
Dichapetalaceae	<i>Dichapetalum angolense</i> Chod.	L	Ph	Sarco	C-guin	S.P.	T
	<i>Dichapetlum mombuttense</i> Engl.	L	Ph	Sarco	C-guin	M.T.	T
	<i>Dichapetalum</i> sp	L	Ph	Sarco	C-guin	S.P.	T
Dilleniaceae	<i>Tetracera alinifolia</i> Wild.	L	Ph	Sarco	Cong	M.T.	T-R
Dioscoreaceae	<i>Dioscorea bulbifera</i> L	L	Géo	Ptéro	C-guin	M.T.	T-R
Euphorbiaceae	<i>Alchornea floribunda</i> Müll. Arg.	Sarb	Ph	Ballo	Guin	S.P.	T-R
	<i>Alchornea yambuyaensis</i> De Wild.	Sarb	Ph	Ballo	C-guin	S.P.	T
	<i>Cyatogyne viridis</i> Müll Arg.	Sarb	Ph	Ballo	Guin	S.P.	T-R
	<i>Erythrococa oleracea</i> Prain.	Sarb	Ph	Sarco	Guin	M.T.	T
	<i>Manihot esculenta</i> Grantz	Arb	Géo	Ballo	Pant	Cu.	R
	<i>Maniophyton fulvum</i> Müll. Arg.	L	Ph	Ballo	Guin	S.P.	T-R
	<i>Pychnocoma thonneri</i> Pax.	Arb	Ph	Sarco	Fc	S.P.	T-R
	<i>Dalhousiea africana</i> S. Moore	L	Ph	Ballo	C-guin	S.P.	T-R
Fabaceae	<i>Desmodium adscandens</i> DC.	Sarb	Ch	Desmo	Afma	R.M.	T-R
	<i>Dewevrea bilabiata</i> Micheli	L	Ph	Ballo	C-guin	S.P.	T

	<i>Millettia duchesnei</i> De Wild.	L	Ph	Ballo	C-guin	S.P.	T
	<i>Millettia elskensii</i> De Wild.	L	Ph	Ballo	C-guin	S.P.	T
	<i>Millettia macrura</i> Micheli.	L	Ph	Ballo	C-guin	C.T.	T
	<i>Mimosa invisa</i> Mart.	S-arb	Ch	Desmo	Afam	R.M.	T
Icacinaceae	<i>Iccacina mannii</i> Oliver	L	Ph	Sarco	Guin	S.P.	R
Loganiaceae	<i>Mostuea batesii</i> Baker.	Sarb	Ch	Scléro	C-guin	S.P.	T-R
	<i>Mostuea hursita</i> Baill. & Baker	Sarb	Ph	Scléro	Guin	S.P.	T
	<i>Strychnos densiflora</i> Baill.	L	Ph	Sarco	Guin	S.P.	T
	<i>Strychnos icaia</i> Baill.	L	Ph	Sarco	Guin	S.P.	T
Lomariopsidaceae	<i>Lomariopsis guineensis</i> Alst.	Hvi	Géo	Scléro	Guin	S.P.	T-R
	<i>Lomariopsis hederacae</i> Alst.	Hvi	Géo	Scléro	C-guin	S.P.	T-R
	<i>Lomariopsis palustre</i> Mett.	Hvi	Géo	Scléro	Guin	S.P.	T
Malvaceae	<i>Cola brunelii</i> De Wild.	Arb	Ph	Sarco	Cong	S.P.	T-R
	<i>Cola congolana</i> De Wild et Th. Dur.	Arb	Ph	Sarco	C-guin	S.P.	T-R
	<i>Cola marsipium</i> K. schum.	Arb	Ph	Sarco	C-guin	S.P.	T-R
	<i>Scaphopetalum thonnerii</i> De Wild et Th. Dur.	Arb	Ph	Sarco	C-guin	S.P.	T-R
	<i>Triumfetta cordifolia</i> Guill.	Arb	Ph	Desmo	Fc	M.T.	T-R
Marantaceae	<i>Ataenidia conferta</i> K. Scum	Hvi	Géo	Sarco	Guin	M.T.	T-R
	<i>hypselodelphys poggeana</i> M. Redh.	Hvi	Ph	Sarco	C-guin	M	T
	<i>Marantochloa congensis</i> J. Leonard et Mull.	Hvi	Géo	Sarco	Guin	S.P.	T-R
	<i>Sarcophyllum brachystachyum</i> K. Schum.	Hvi	Géo	Sarco	Guin	M	T-R
	<i>Sarcophrynium prionogonium</i> K. Schum.	Hvi	Géo	Sarco	Guin	M.T.	T
	<i>Thaumatococcus daniellii</i> Benth. & Hook.	Hvi	Géo	Sarco	Guin	M.T.	T-R
	<i>Trachypodium braunianum</i> Baker.	Hvi	Géo	Sarco	Guin	M	T-R
Marattiaceae	<i>Marattia fraxinea</i> J. Smith.	Hvi	Géo	Scléro	Guin	M	T
Menispermaceae	<i>Chasmantera welwitschii</i> Troupin	L	Ph	Sarco	C-guin	M.T.	T
	<i>Cissampelos mucronata</i> A Rich.	L	Ph	Sarco	Afr	M.T.	R
	<i>Epinetrum villosum</i> (Exell.) Troupin	L	Ph	Sarco	C-guin	S.P.	T-R
	<i>Kolobopetalum chevalieri</i> (hutch. Et Dals) Troupin	L	Ph	Sarco	Guin	C.T.	T-R
	<i>Penianthus longifolius</i> Miers	Arb	Ph	Sarco	C-guin	S.P.	T-R
	<i>Stephania diklangei</i> Benth.	L	Ph	Sarco	Guin	M	T
	<i>Triclisia louisii</i> Troupin	L	Ph	Sarco	Cong	M	T
Melastomataceae	<i>Tristemma mauritianum</i> J-F. Gmelin	S-arb	Ch	Sarco	Guin	R.M.	T
Musaceae	<i>Musa paradisiaca</i> L.	Hvi	Géo	Sarco	Pant	Cu.	R
Nephrolepidaceae	<i>Nephrolepis biserrata</i> (S.W.) Schott.	Hvi	Géo	Scléro	Pant	M.T.	T-R
Olacaceae	<i>Olax latifolia</i> Engl.	Arb	Ph	Sarco	C-guin	S.P.	T
Passifloraceae	<i>Adenia gracillis</i> Harms	L	Ph	Sarco	Afr	M.T.	T-R
Piperaceae	<i>Piper guineensis</i> K. Schum & Thom	L	Ph	Sarco	Guin	M.T.	T-R
Poaceae	<i>Centotheca lapacea</i> Desv.	Hvi	Th	Scléro	Pant	M.T.	T
	<i>Oplismenus burmannii</i> (RTZ) P. Beauv.	Hvi	Th	Desmo	Pant	M.	R
	<i>Setaria barbata</i> (Lam.) Kuth.	Han	Th	Scléro	Pant	R.M.	R
Polygalaceae	<i>Carpolobia alba</i> G. Don.	Arb	Ph	Sarco	Guin	M.T.	T
Polypodiaceae	<i>Microsorium punctatum</i> (L.) Copel.	Hvi	Géo	Scléro	Pal	M.T.	R
	<i>Platyserum stemaria</i> Desv.	Hvi	Géo	Scléro	Afr	S.P.	T
Rhamnaceae	<i>Maesopsis eminii</i> Engl.	Arb	Ph	Sarco	Guin	M.T.	T
Rubiaceae	<i>Bertiera breviflora</i> Hiern.	Arb	Ph	Sarco	Guin	S.P.	T
	<i>Craterispermum cerinanthum</i> Hiern.	Arb	Ph	Sarco	Guin	C.T.	T-R
	<i>Geophilla afzelia</i> Hiern.	Hvi	Ch	Sarco	Guin	S.P.	T-R
	<i>Geophilla obvallata</i> (Schum.) F. Didr.	Hvi	Ch	Sarco	Guin	S.P.	T
	<i>Oxyanthus Unilocularis</i> Hiern	arb	Ph	Sarco	Guin	M.T.	T
	<i>Psychotria</i> sp	L	Ph	Sarco	Cong	S.P.	T
	<i>Sabicea longipetiolata</i> De Wild.	L	Ph	Sarco	C-guin	M.T.	T
	<i>Morinda morindoides</i> (Bak.) Milne Redh.	L	Ph	Sarco	C-guin	M.T.	R
Salicaceae	<i>Buchnerodendron speciosum</i> Gürk.	Arb	Ph	Sarco	C-guin	M.T.	R
	<i>Oncoba subtomatosa</i> Gilg.	Arb	Ph	Sarco	Cong	M.T.	R

Sapindaceae	<i>Allophylus africanus</i> P. Beuv.	Arb	Ph	Sarco	Aftr	C.T.	T
	<i>Allophylus lastourvillensis</i> Pellegr.	L	Ph	Sarco	C-guin	C.T.	T
	<i>Haplocoelum congolanum</i> Hauman	L	Ph	Sarco	Guin	C.T.	T
Simaroubaceae	<i>Quattia africana</i> Baill.	Arb	Ph	Sarco	C-guin	S.P.	T
Smilacaceae	<i>Smilax kaussiana</i> Meisn.	L	Ph	Ptéro	Aftr	M.T.	T-R
Thomandersiaceae	<i>Thomandersia hensii</i> De Wild et Th. Dur.	Arb	Ph	Ballo	C-guin	M.T.	T
Urticaceae	<i>Urera hypselodendron</i> (hochst) Wedd.	L	Ph	Sarco	C-guin	M.T.	T
Vitaceae	<i>Cissus barbeyana</i> De Wild et Th. Dur.	L	Ph	Sarco	C-guin	M.T.	T
Zingiberaceae	<i>Aframomum laurentii</i> K. Schum.	Hvi	Ph	Sarco	Cong	R.M.	T
	<i>Aframomum angustifolium</i> K. Schum.	Hvi	Géo	Sargo	Aftr	M.	T-R

(Légende : -Types morphologiques : Arb : Arbuste, Han : Herbe annuelle, Hvi : Herbes vivaces, L : Lianes et Sous-arbustes ; -Types biologiques : Ph : Phanérophytes, Ch : Chaméphytes, G : géophytes et Th : thérophytes ; -Types de diaspores Scléro : Sclérochores, Ballo : Ballochores, Sarco : Sarcochores, Desmo : Desmochores, Pogo : Pogonochores, Ptéro : Ptérochores ; -Distribution phytogéographique : Pant : pantropicales, Aftr : Afrotropicales, Pal : paléo tropicales, Afam : afro-américaines, Afma : afro-malgache, Guin : guinéenne, C-guin : centro-guinéenne, Cong : congolaise, Fc : forestier central ; - Statuts phytosociologiques : M : Mitragynetea, R.M : Ruderali-manihotetea, M.T. : Musango-terminalietea, S.P. : Strombosio-parinarietea, CT. : Caloncobo-tremion, Cu : Cultivées. -Appartenance de l'espèce à l'approche : T : espèce appartenant au transect, R : espèce appartenant au relevé, et à fin T-R : espèce appartenant aux deux à la fois).

Optical performances of a solar parabolic trough collector for various solar tracking modes under climatic conditions of Maroua

Joseph Kessel Pombe^{1,2}, Haman-Djalo³, Beda Tibi³, and Albert Ayang⁴

¹Faculty of Sciences, Department of Physics, The University of Maroua, P.O. Box 814, Cameroon

²Department of Applied Sciences, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT),
445 Boulevard de l'Université, Rouyn-Noranda, QC J9X 5E4, Canada

³Faculty of Sciences, Department of Physics,
The University of Ngaoundéré, P.O. Box 405, Cameroon

⁴School of Engineering,
University of Québec in Abitibi-Témiscamingue (UQAT),
445 Boulevard de l'Université, Rouyn-Noranda, QC J9X 5E4, Canada

Copyright © 2017 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: Detailed simulations in aim to evaluate optical performances of a solar parabolic trough collector for various solar tracking modes under climatic conditions of Maroua have been investigated by using the empirical model of Capderou, incidence angle, day of the year, solar direct radiation, legal time, incident angle modifier and global energy absorbed by the heat collection element during the sunniest and the least sunny month. The performances of the three tracking modes assumed compare to full tracking mode during a typical sunny day in Maroua, lead to percentages 98%, 99.98% and 69.25% in the sunniest month and 91.2%, 81.45%, and 62.85% in the least sunny month for East-West polar tracking, East-West horizontal tracking and North-South horizontal tracking respectively. Besides, the results show that, the East-West horizontal and East-West polar solar tracking modes are more suitable and getting closer with full tracking compared the North-South horizontal tracking mode. The optical efficiency reached at about 74% according to the East-West horizontal and East-West polar solar tracking mode and maximum temperatures of 180°C for air and oil and 90°C for water were reached by applying East-West polar and East-West horizontal tracking modes in a typical day of the sunny month.

KEYWORDS: Optical efficiency, parabolic trough collector, solar tracking modes, Maroua.

1 INTRODUCTION

Access of energy is poor in Cameroon Sahelian zone and particularly in Maroua. Furthermore, most of the global energy consumption in Maroua is produced from fossils fuels. But fossil fuel resources are being depleted at an incredible speed and their combustion contributes significantly to greenhouse effect and indirectly to depletion of the ozone layer. Faced with shrinking fossil fuel resources, growing global energy demands and increasing level CO₂ in the earth atmosphere, Maroua urgently needs to reassess how it generates and consumes power. Located on the sun-belt regions, where the most abundant component of solar radiation falling on the ground level is solar direct radiation, the site possesses high solar direct irradiation which is considered the fuel of solar parabolic trough collectors. Thus, solar energy is a very promising alternative to meet Maroua energy needs and solar parabolic trough collectors are the most proven widespread and commercially tested solar energy technologies available for solar harnessing [1]-[2] to explore. Also, solar parabolic trough collector is a very interesting solution near term option for countries with high solar irradiation levels and small resources of fossil fuels

like Cameroon. Furthermore, solar parabolic trough collector offers interesting large-scale applications of solar energy in the context of Maroua such as air conditioning, distillation, industrial process heat, domestic heat water, electricity production.

To operate, a solar parabolic trough collector required a continuous solar axis tracking system as shown in Figure 1. The orientation of the tracking axis has a significant influence on the sun's incidence angle onto the aperture plane of the collectors which, in turn, affects the collector's performances. Once the physical characteristics of the collector are known, the optical performances and even the energy gained can be calculated in order of some configurations, tracking modes and meteorological conditions.

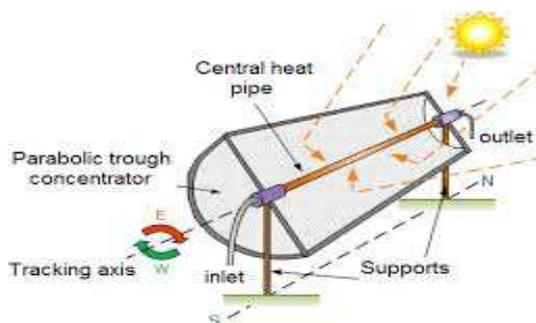


Fig. 1. Solar parabolic trough collector with tracking axis

Cunxu Wang, Hongli Zhang and Shuqun Wang [3] investigated optical performances of a parabolic trough collector for various tracking modes in Sub-tropical Area. By using the Hottel model in equinoxes and solstices, the results show that, for two axes tracking, polar East-West tracking, horizontal East-West tracking and horizontal North-South tracking, the relative proportion of yearly irradiation yield are 100%, 95.93%, 91.32% and 73.67% respectively. Yogender Kumar and Avadhesh Yadav [4] devoted experimental investigation of various tracking configurations of a solar parabolic trough collector and the results show that a two axis tracking mode along East-West direction performs better as compared to other cases and the maximum temperatures of heat collecting element obtained are found to be 139.5 °C, 184.4 °C and 162.4 °C in right-end, in the middle and left-end respectively. By comparing various tracking modes of a solar parabolic trough collector in the site of Ouargla, Yacine Marif, Hocine Benmoussa, Hamza Bouguettaia, Mohamed Mustapha Belhadj and Moussa Zerrouki [5] show that, in the case of full tracking mode, the parabolic trough collector absorbed maximum amount of energies and the optical efficiency of the collector is found to be 73.92%. Furthermore, the one axis East-West polar and East-West horizontal tracking systems are sufficient for a parabolic trough collector in the summer, spring and autumn. The North-South horizontal tracking system is more suitable in summer than East-West horizontal tracking. Y. Marif, M. Zerrouki, M. Belhadj and H. Ben Moussa [6] studied optical and thermal performances of a solar parabolic trough collector. The results obtained show that for various tracking solar modes the East-West polar mode-based one axis solar tracking is suitable. Kalogirou gathered relations for estimation of the angle of incidence for various tracking mode. By applying a radiation model in equinoxes, 100%, 100%, 73.8% and 89.1% amount of energy falling on surface of 1 m² of collector for full tracking, East-West polar, North-South horizontal and East-West horizontal, respectively were obtained. By comparing the performance of the various tracking modes with the full tracking which collects the maximum amount of solar radiation, the percentages obtained are 91.7, 74.0 and 97.7 in summer solstice and 91.7, 86.2 and 60.9 in winter solstice, respectively for some trackers [1]-[2]. More recently, Joseph Kessel Pombe, Camelia Stanciu, Haman-Djalo, Viorel Badescu and Beda Tibi [7] investigated energy balance of heat collecting element of a solar parabolic trough collector by using air as heat transfer fluid. The maximum temperature of air obtained at the outlet of heat collecting element is found to be 590 K and this was expected to study the global performances and relevant areas pertaining of a solar parabolic trough collector in Sahelian zones such as Maroua.

Many researchers have worked and analyzed performances of solar parabolic trough collectors in different countries and for several applications. But none of them worked on effect of various tracking modes on optical performances of solar parabolic trough collectors in Sahelian zones. Furthermore, to date, no solar parabolic trough collector has been installed in Sahelian zones and particularly in Maroua and none is under construction. Moreover, no study in order to evaluate solar direct radiation, solar parabolic trough collector performances and relevant areas pertaining to the central African sun-belt countries has ever been investigated. This work aims at filling that gap by analyzing optical performances of solar parabolic trough collectors in climatic conditions of Maroua for various solar tracking modes.

2 METHODOLOGY OF THE WORK

Three major solar tracking modes as displayed in Figure 2 were examined to show the effect of tracking techniques on the amount of direct normal solar radiation collected in Maroua. The configuration of those three major solar tracking modes consists to maintain the plane of the incident solar radiation so that it is always normal to the collector aperture. For the East-West horizontal tracking mode, the collector is orientated in a North-South direction and then, tracks the sun from East to West while for the North-South horizontal tracking mode, the collector is orientated in an East-West direction and then, tracks the sun from North to South and at least for the East-West polar tracking mode, the collector is orientated facing the sun with a tilted at an angle according the latitude of the site location and then, tracks the sun from East to West. Thus, the direct solar radiation from different points of the parabolic trough-reflecting surface is collected on the heat collecting element. Then, daily direct normal radiation in Maroua was generated by using the empirical model of Capderou after implementing the numerical model which was also used to plot optical efficiency, amount of energy absorbed by heat collecting element and to estimate yearly irradiation yield for various tracking configurations. The model simulated compares the solar direct radiation during the sunniest month on a typical sunny day of 21st March 2014 and the least sunny month on a typical day of 21st August 2014 for various tracking modes. In another hand, optical efficiency and energy absorbed by the heat collecting element are comparing in the sunny and least sunny months for various tracking modes.

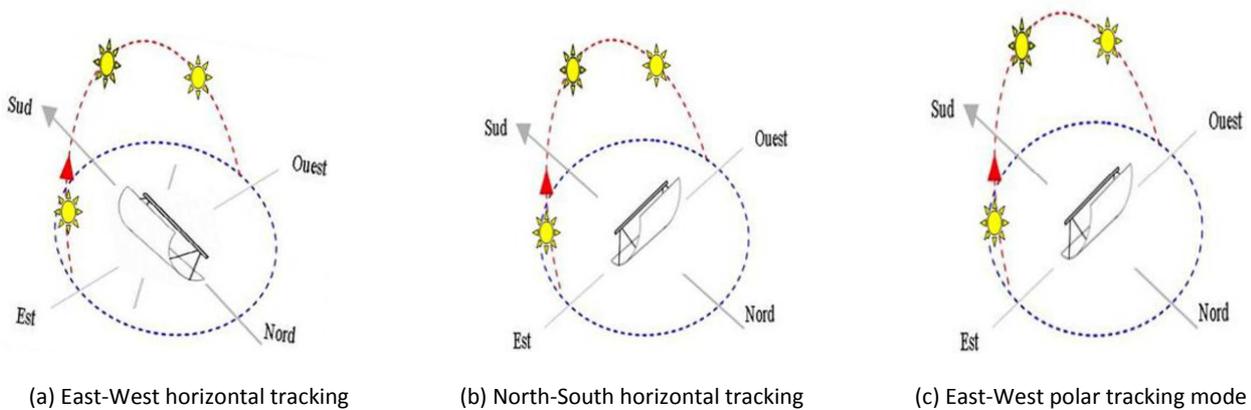


Fig. 2. Solar tracking mode configurations, adapted from [4]

2.1 ESTIMATION OF THE SOLAR DIRECT RADIATION

Daily a large flux of solar energy received on Earth is not completely that issued from the sun. The power of this radiation is based on several criteria such as weather, atmospheric diffusion (dispersion phenomena, reflection and absorption) and aerosols. This can reduced solar technologies performances. Then, knowledge of solar direct radiation is essential for the calculation of various performance-related solar technologies such as solar parabolic trough collectors and the energy gained by the system depends on the tracking modes. Maroua is known of an arid climate with irregular rainfall, low cloudiness of the atmosphere, hot and dry air, permanent aerosols, almost ten sunny months and two less sunny months. Under these climatic conditions, the empirical model of Capderou [8] based clear sky seems suitable to explore in order to estimate solar direct radiation received on a collector surface located in Maroua.

The equation used by Capderou to estimate the direct solar radiation received on any surface is given:

$$I_{dir} (\text{W.m}^{-2}) = I_0 \times \epsilon_0 \times \cos(\theta) \times \exp(-T_L \times m_A \times \delta_{Ra}) \quad (1)$$

In this study, the mean value of the solar constant flux received on the ground is assumed to be set:

$$I_0 (\text{W.m}^{-2}) = 1367 .$$

The correction coefficient of the Earth-Sun distance can be calculated by the equation:

$$\epsilon_0 (-) = 1 + 0.034 \times \cos\left(\frac{360}{365}(N_j - 2)\right) \quad (2)$$

Where N_j is the day number of the year, ranging from 1 on 1 January to 365 on 31st December.

According to equation (3), the absorption and diffusion caused by the atmospheric constituents can be expressed by the Linke turbidity factor, which is calculated, based clear sky as given:

$$T_{lf}(-) = T_0 + T_1 + T_2 \quad (3)$$

The turbidity factor of gaseous absorption based only on geo-astronomical parameters is given by the following expression:

$$T_0(-) = (2.4 - 0.9 \sin \phi) + 0.1 \times Ah_e (2 + \sin \phi) - 0.2z - (1.22 + 0.14 \times Ah_e)(1 - \sin h_s) \quad (4)$$

The turbidity factor of absorption by atmospheric gases (O_2 , CO_2 and O_3) is calculated by the following formula:

$$T_1(-) = (0.89)^z \quad (5)$$

The turbidity factor caused by aerosols is calculated by the formula below:

$$T_2(-) = (0.9 + 0.4 \times Ah_e) \times (0.63)^z \quad (6)$$

With $z(m)$ is the altitude of the site location.

The parameter which characterize seasons is calculated as follow:

$$Ah_e(-) = \sin\left(\frac{360}{365}(N_j - 121)\right) \quad (7)$$

The atmospheric mass given by [9] represents the atmospheric mass trough the solar direct radiation to reach the ground and depends of the local pressure and the sun elevation angle:

$$m_A(-) = \frac{P}{101325} \left[\sin(h_s) + 0.15(h_s + 3.885)^{-1.253} \right]^{-1} \quad (8)$$

Where the pressure is calculated as follow:

$$P(\text{Pa}) = 101325 \times (\exp(-0.0001184z))$$

The sun elevation angle is calculated as follow:

$$h_s(^{\circ}) = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad (9)$$

The atmospheric thickness optical also called the integral Rayleigh optical thickness recommend by [10] is calculated as follow:

$$\delta_R(-) = \left[6,6296 + 1,7513m_A - 0,1202m_A^2 + 0,0065m_A^3 - 0,00013m_A^4 \right]^{-1} \quad (10)$$

The direct solar radiation on a horizontal plane can be estimated as follow:

$$I_{dir_h}(\text{W.m}^{-2}) = I_0 \times \epsilon_0 \times \sin(h_s) \times \exp(-T_L \times m_A \times \delta_{Ra}) \quad (11)$$

2.2 SOLAR TRACKING MODES

Solar tracking mode affects the amount of direct solar radiation received on the reflector and then throughout the day, allows minimizing the angle of incidence of solar radiation on a plane with the solar parabolic trough collector. Indeed, the angle of incidence varies with the optical efficiency of the solar parabolic trough collector. Thus, the optical efficiency of the solar parabolic trough collector is as important as the angle of incidence is small. Usually, the plane of the angle of incidence of solar radiation is heat collecting element or the collector itself. The principle of tracking mode by movement around an axis is to guide in each moment the receiver plane by rotation around the axis so that the normal plane is constantly in the plane formed by the axis and the sun's path (figure 2). Solar tracking systems are classified according the number of axes and tracking modes. The solar tracking mode with two degrees of freedom can track the sun's path so that the incidence is

constantly normal. In applications using solar parabolic trough collector, solar tracking modes based on one or two axis are generally interesting. In this work, we assume the solar tracking modes on one axis based the cosine of incidence angle $\cos(\theta)$ as well as proposed by Capderou in Table 1:

Table 1. Estimation of the Cosine of Incidence Angle Through the Solar Tracking Mode

Tracking modes	Heat collecting element orientation	Cosine of incidence angle
East-West polar	Along the earth axis	$\cos \theta = \cos \delta$
East-West horizontal	Parallel to the North-South axis	$\cos \theta = \left(1 - (\cos(\delta)\sin(\varphi)\cos(\omega) - \sin(\delta)\cos(\varphi))^2\right)^{\frac{1}{2}}$
North-South horizontal	Parallel to the East-West axis	$\cos \theta = \left(1 - \cos^2(\delta)\sin^2(\omega)\right)^{\frac{1}{2}}$

2.3 SOLAR ENERGY ABSORBED

For a solar parabolic trough collector, the incident solar radiation absorbed per unit of area by the heat collecting element is given:

$$Q_{\text{abs}}(W) = A_0 \times I_{\text{dir}} \times \rho_0 \times \alpha_0 \times \gamma \times K \quad (12)$$

For a solar parabolic trough collector, the incident solar radiation absorbed per unit of area by the glass envelope is given:

$$Q_{\text{ver}}(W) = A_0 \times I_{\text{dir}} \times \rho_0 \times \alpha_{\text{ver}} \times \gamma \times K \quad (13)$$

The aperture area of a solar parabolic trough collector is calculated as follow:

$$A_0 (\text{m}^2) = W \times L \quad (14)$$

The transmittance-absorptance factor is calculated in the following form:

$$\alpha_0 (-) = \frac{\tau_{\text{ver}} \times \alpha_{\text{abs}}}{1 - (1 - \alpha_{\text{abs}})(1 - \tau_{\text{ver}})} \quad (15)$$

The shape factor is calculated as follow:

$$\gamma (-) = \prod_{i=1}^6 \gamma_i \quad (16)$$

The incident angle modifier is calculated:

$$K(-) = 1 - 0,00384(\theta) - 0,000143(\theta^2) \quad (17)$$

The solar parabolic trough collector optical efficiency is then defined in the following form:

$$\eta_{\text{opt}} = \frac{Q_{\text{abs}}}{A_0 \times I_{\text{dir}}} = \rho_0 \times \alpha_0 \times \gamma \times K \quad (18)$$

3 RESULTS AND DISCUSSION

2.3.1 Optical performances of solar parabolic trough collectors for various solar tracking modes under climatic conditions of Maroua were performed in this work. Solar direct radiation, optical efficiency, energy absorbed by the heat collecting element, was plot and estimated in this work for various solar tracking modes by using the empirical model of Capderou based clear sky and results were compared for a typical sunny day of the sunniest month and for a typical least sunny day of the least sunny month. Also, maximum temperatures of three heat transfer fluid obtained in right-end of heat collecting element for a typical day of the sunny month was compared and displayed in the case of East-West Polar mode which seems to be, according to this study the suitable solar tracking mode.

3.1 SITE LOCATION

Maroua is situated in the far north region of Cameroon which is located in Cameroon Sahelian zones. The physical characteristics of the site are given in Table 2.

Table 2. Geographical Coordinates of the Studied Location

Position studied	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Climate	Albedo
Maroua	5.15	13.58	718	Sahelian	0.6

3.2 MODEL TESTING

We have used the optical characteristics (Table 3) of the Sandia National Laboratory experimental collector installed in the Mojave Desert in South of California located on Sun-Belt countries to analyse optical performances of a solar parabolic trough collector under climatic conditions of Maroua.

Table 3. Optical Characteristics of the Sandia Experimental Collector [11]

	Symbol	Physical parameters	Value	Unit
Collector	L	Length	7.8	m
	W	Aperture	5	m
	F	Focal length	1.840	m
Reflector	C_{refl}	Specific heat	581	J/kg K
	ρ_{refl}	Density	2400	kg/m ³
	e	Thickness	0.005	m
	α_0	Transmittance-absorptance factor	0.864	-
	ρ_0	Reflectivity	0.93	-
	γ	Shape factor	0.92	-

The Sandia National Laboratory experimental tested collector is displayed in Figure 3.



Fig. 3. Sandia experimental collector installed in desert Mojave in South California, 39m² adapted from [12]

3.3 PERFORMANCES OF PARABOLIC TROUGH COLLECTOR FOR VARIOUS TRACKING MODES

3.3.1 DIRECT SOLAR RADIATION ESTIMATED

Results show that the empirical model of Capderou gives a good estimate of direct solar radiation during the sunniest month compared to the least sunny month. By comparing Figure 4 and Figure 5 it is shown that, the East-West horizontal and the East-West polar modes are more getting closer with full tracking mode on a typical sunny day of the sunniest month than the least sunny month. Furthermore, the North-South horizontal mode is not advantageous during those periods.

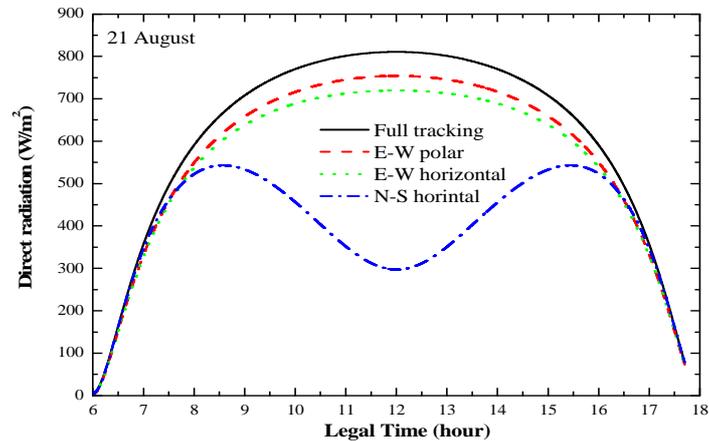


Fig. 4. Direct Solar Radiation for Various Tracking modes on a Typical less Sunny Day

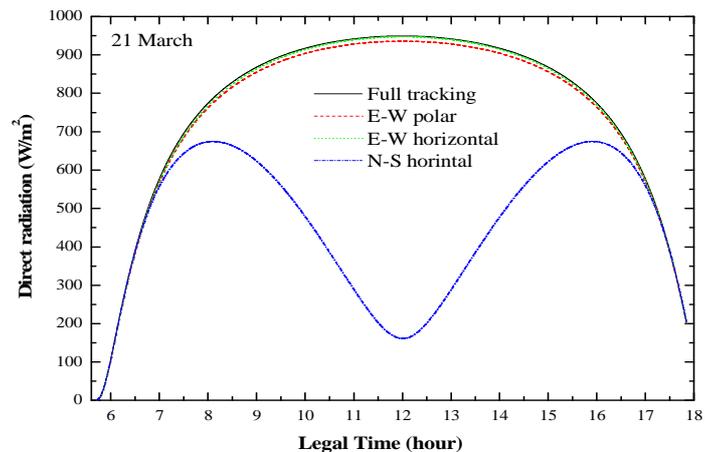


Fig. 5. Direct Solar Radiation for Various Tracking modes on a Typical Sunny Day

3.3.2 OPTICAL PERFORMANCES

The daily annual average of optical efficiency is displayed (Figure 6) for various tracking modes. The maximum of efficiency obtained during the day of the year is around 74% for both the East-West horizontal and the East-West polar mode while the maximum is around 65% for the North-South horizontal tracking mode.

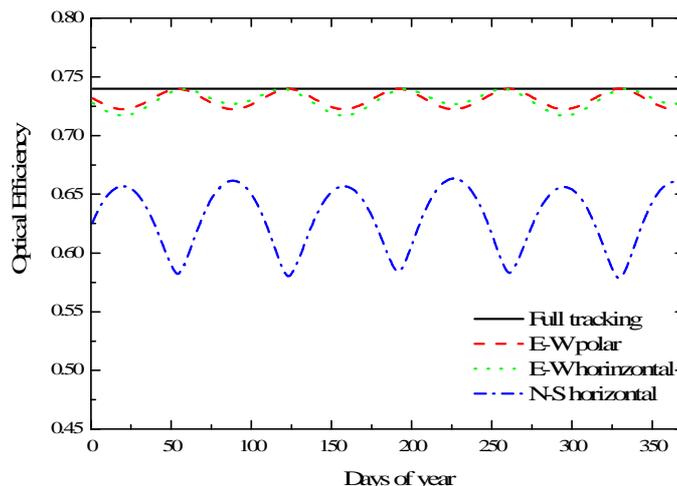


Fig. 6. Daily Annual Average of Optical Efficiency for Various Tracking modes

The optical efficiency for various tracking modes is displayed (Figure 7 and Figure 8) for the sunny and the less sunny months. It is observed that, the full tracking collects the maximum amount of energy with about 74% of optical efficiency. In addition, the optical performances from East-West horizontal and East-West polar modes are getting closer with full tracking mode for both the sunniest and the least sunny months.

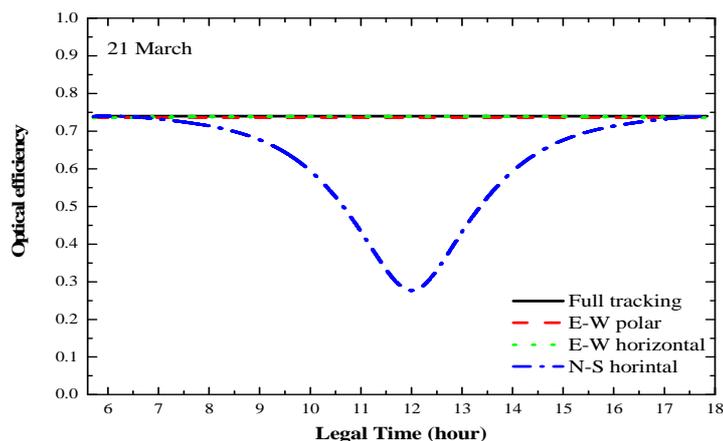


Fig. 7. Optical Efficiency for Various Tracking modes on a Typical Sunny Day

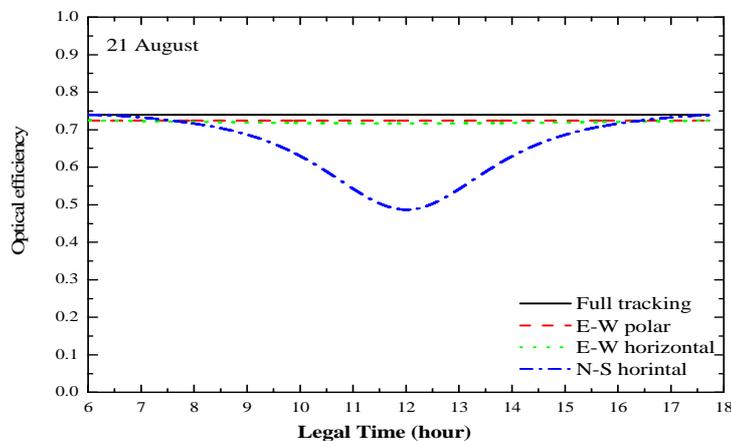


Fig. 8. Optical Efficiency for Various Tracking modes on a Typical Less Sunny Day

The optical efficiency depends on incident angle modifier. The result displaying (Figure 9), show that the optical efficiency and the incident angle modifier decrease substantially with increasing incidence angle. The optical efficiency reached at about more than 74% for both the sunniest and the least sunny months. Hence, coupling tracking mode with a solar parabolic trough collector is necessary for the operation of a solar parabolic trough collector.

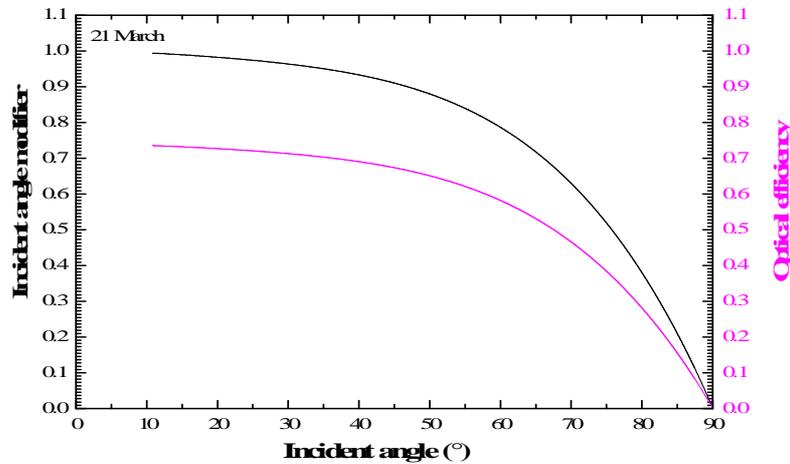


Fig. 9. Variation of Incident Angle Modifier in order with Optical Efficiency and Incident Angle

In those cases (Figure 10 and Figure 11), for East-West horizontal mode, daily energy absorbed is of maximum amount and getting closer with full tracking during the sunny month compared to East-West polar tracking mode during the less sunny month. Furthermore, the North-South horizontal mode consumes less energy during the year compared to the other tracking modes.

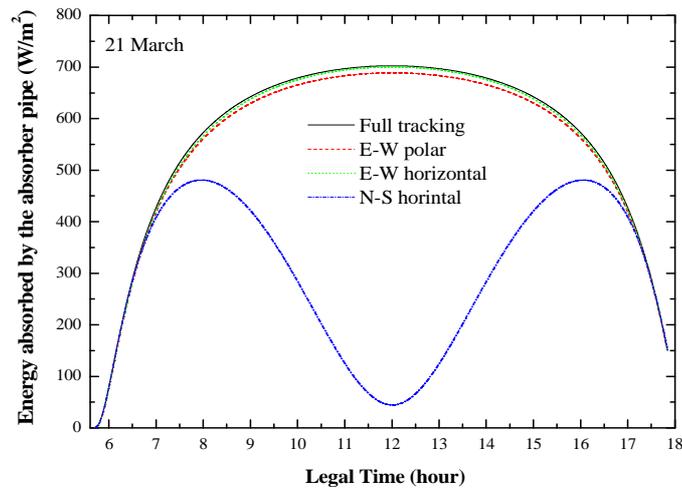


Fig. 10. Energy Absorbed by Heat Collecting Element for Various Tracking modes on a Typical Sunny Day

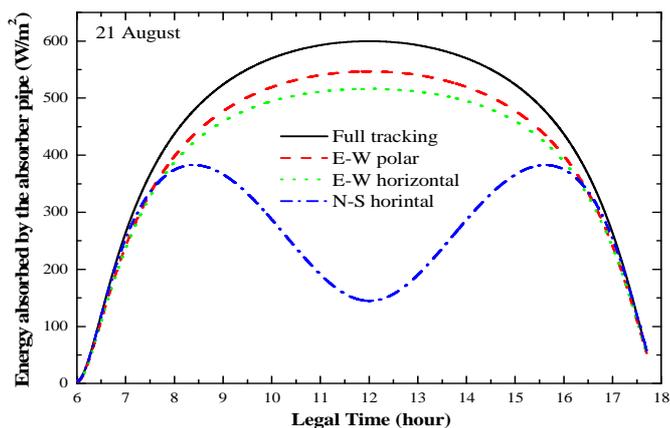


Fig. 11. Energy Absorbed by Heat Collecting Element for Various Tracking modes on a Typical Less Sunny Day

According to Table 4, the energy absorbed by the heat collecting element during the sunny and the less sunny months in the case of the three various tracking modes is compared with the full tracking mode which collects the maximum amount of solar radiation. It is shown, that, the performances of East-West polar and East-West horizontal tracking mode are more suitable and getting closer with full tracking mode during the sunny month while the East-West polar tracking mode performances is comparatively larger than the East-West horizontal tracking mode during the less sunny month. Besides, the performance of North-South horizontal tracking mode is worse during the less sunny and sunny months compared to the other tracking modes. However, this mode consumes less energy during the whole year.

Table 4. Comparison of Energy Absorbed in Maroua for Various Tracking Modes

Tracking mode	Absorbed energy (kWh/m ²)		Percent to full tracking (%)	
	Sunny months	Less sunny months	Sunny months	Less sunny months
Full tracking	8.50	6.55	100	100
East-West polar	8.33	6.1	98.03	91.2
East-West horizontal	8.5	5.41	99.98	81.45
North-South Horizontal	5.89	4.13	69.25	62.85

According to Table 5, full tracking mode compared to East-West horizontal mode, East-West polar mode and North-South horizontal tracking modes lead at about 14.24 GJ/m² of the annual incident irradiation of solar parabolic trough collector surface.

Table 5. Annual Incident Irradiation for Various Tracking Modes

Mode of tracking	Annual irradiation, GJ/m ²
Full tracking	14,24
East-West horizontal	13,32
East-West polar	12,85
North-South horizontal	9,97

By applying under climatic conditions of Maroua, the East-West polar and East-West horizontal mode which is more suitable and getting closer with full tracking than the North-South horizontal mode, we have obtained (figure 12) for a typical day of the sunniest month, maximum temperatures of three heat transfer fluid in the right-end of heat collecting element as well as 180°C for air and oil and 90°C for water.

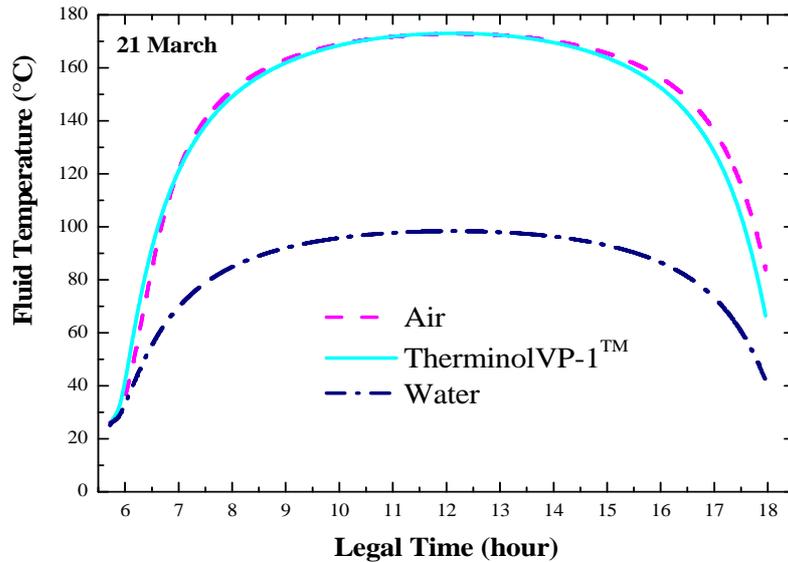


Fig. 12. Temperature Variation of Various Heat Transfer Fluids According the East-West Solar Tracking Mode on a Typical Sunny Day

4 CONCLUSION

In this paper, optical performances of the Sandia National Laboratory experimental collector under climatic conditions of Maroua were performed and compared for various solar tracking modes. The total amount of energy falling on the aperture of solar parabolic trough collector in the case of East-West Horizontal and East-West polar tracking modes is getting closer with full tracking mode than that of the North-South horizontal tracking mode which leads to consume less energy than the others tracking mode during the sunny and the least sunny day. However the East-West polar and the East-West horizontal provide a more constant annual output. In the case of heat application during less sunny months due of abundant rain (June, July, August), the North-South horizontal mode is recommended while the East-West polar and East-West horizontal is preferable during the sunny months (September to May). In another hand, the better period for solar radiation collection is covered from September to May. The maximum of daily annual average of optical efficiency devoted for various tracking modes show that, the East-West horizontal is better for a solar parabolic trough collector field with several collectors due to the low power losses of field's shadow while the East-West polar tracking mode is preferred for individual installation because of the small surface of the reflector.

Further work is ongoing for determining the predictive model control of a solar parabolic trough collector under climatic conditions of far North Cameroon region by using different types of fluids transfer.

REFERENCES

- [1] Soteris A. Kalogirou, "The potential of solar industrial process heat applications," *Applied Energy*, vol. 76, (2003), pp. 337-361.
- [2] Soteris A. Kalogirou, "Solar thermal collectors and applications," *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 30, (2004), pp. 231-295.
- [3] Cunxu Wang, Hongli Zhang, Shuqun Wang, "Track Mode Selection of Parabolic Trough Collectors," *Advanced Science and Technology, Letters*, Vol. 73 (FGCN 2014), pp. 52-59.
- [4] Yogender Kumar, Avadhesh Yadav, "Experimental investigation of different tracking modes of the parabolic trough collector," *International Journal of Advance Research In Science And Engineering*, IJARSE, Vol. No.4, Special Issue (01), February 2015 ISSN-2319-8354(E).
- [5] Yacine Marif, Hocine Ben Moussa, Hamza Bouguettaia, Mohamed Mustapha Belhadj, Moussa Zerrouki, "Etude comparative entre les modes de poursuite solaire d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique," *Annales des Sciences et Technologie*, Vol. 6, N° 2, Octobre 2014.
- [6] Marif. Y, Zerrouki. M, Belhadj. M, Benmoussa. H, "Etude de l'efficacité optique et thermique d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique," *Revue des Energies Renouvelables* 16 (4), 679- 689 2013.

- [7] Joseph Kessel Pombe, Camelia Stanciu, Haman-Djalo, Viorel Badescu, Beda Tibi, "Modélisation thermodynamique d'un récepteur tubulaire pour concentrateurs solaires de type linéaire," International Journal of Scientific Research & Engineering Technology (IJSET) Vol. 3, pp. 19-26, 2015.
- [8] Capderou. M, "Atlas Solaire de l'Algérie, Modèles Théoriques et Expérimentaux," Volume1, Tome 2, Office des Publications Universitaires, Algérie, 1987.
- [9] Trabelsi. A, Masmoudi. M., "an investigation of atmospheric turbidity over Kerkennah Island in Tunisia," Atmospheric Research 101, 22–30, 2011.
- [10] Kasten. F, "the linke turbidity factor based on improved values of the integral Rayleigh optical thickness," Solar Energy 56 (3), 239–244, 1996.
- [11] Ya-Ling. He, Jie. Xiao, Ze-Dong. Cheng, Yu-Bing. Tao, "A MCRT and FVM coupled simulation method for energy conversion process in parabolic trough solar collector", Renewable Energy 36, 976-985, 2011.
- [12] Timothy A. Moss and Doug A. Brosseau, "Final Test Results for the Schott HCE on a LS-2 Collector," 2005.

Optical and thermal performances of a solar parabolic trough collector under climate conditions of the Cameroon Sahelian Zones

Joseph Kessel Pombe^{1,2}, Haman-Djalo³, Beda Tibi³, Etienne Tchoffo Houdji⁴, and Steven Heugang Ndjanda⁴

¹Faculty of Sciences, Department of Physics, The University of Maroua, P.O. Box 814, Cameroon

²Department of Applied Sciences, Université du Québec en Abitibi-Temiscamingue,
445 Boulevard de l'Université, Rouyn-Noranda, QC J9X 5E4, Canada

³Faculty of Sciences, Department of Physics, The University of Ngaoundere, P.O. Box 405, Cameroon

⁴The Higher Institute of the Sahel, Department of Renewables Energy, The University of Maroua, P.O. Box 46, Cameroon

Copyright © 2017 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: Detailed simulations in aim to evaluated performances of a solar parabolic trough collector under climatic conditions of Cameroon Sahelian Zones was devoted by using a computer program based on one-dimensional flow implicit finite volume method with energy balance. The heat collecting element of the collector was divided into several control volume and heat balance correlations was applied for each control volume of the trough. In other to solve the three linear algebraic equations obtained from the model, the Tri-Diagonal Matrix Algorithm was implemented. At all, the model estimates for a typical day of the least sunny and the sunniest months, the optical and thermal performances of the collector, the solar energy absorbed the useful thermal heat and the heat lost to the ambient. The E-W horizontal tracking mode which is getting closer with full tracking mode is assumed to collect high optical efficiency at about 74% during all the seasons. The maximum of outlet temperature of heat transfer fluid obtained at the right end of the absorber tube is about 140°C, 138°C and 80°C during a typical day of the least sunny months and 180°C, 180°C and 90°C during a typical day of the sunniest month respectively for water, air and TherminolVP-1TM synthetic oil used as heat transfer fluid. Outlet temperatures obtained from the model compared with data from Sandia experimental tested collector and from another devoted work show that the model is very suitable to predict the behavior of a solar parabolic trough collector under climatic conditions of Cameroon Sahelian Zones.

KEYWORDS: Simulation, finite volume method, tracking modes, Far North Cameroon Region.

1 INTRODUCTION

Solar energy is a very interesting alternative to meet Cameroon Sahelian Zones energy needs and solar parabolic trough collectors offer good solutions for a large scale harnessing of solar energy with about 3490 hour/year of sunshine duration in Far North Cameroon region. A solar parabolic trough collector uses reflectors to concentrate direct solar radiation into a heat collection element located along a small focal line of the parabola. Thus, the concentrated solar radiation is absorbed and converted into useful thermal energy through the heat transfer fluid flowing through the absorber tube. Once the physical characteristics and thermal properties of the heat transfer fluid are known, the optical and thermal performances and even energy gained by the heat transfer fluid can be calculated in other of such configurations and meteorological conditions. Thus, the outlet temperature of the heat transfer fluid and thermal efficiency obtained indicate clearly the thermal performances of the model.

Many studies have been carried out to analyze thermal and optical performances of solar parabolic trough collectors in different localities. Also many numerical method and software tools have been used and most of results from simulation devoted were validated with data from Sandia National Laboratories experimental tested collector. For example, Kalogirou Soteris A. [1] developed a model of solar parabolic trough collector and solved it by using Engineering Equation Solver in aim to analyze the performances of the collector installed in Cyprus University of Technology. The model was validated by results from Sandia National Laboratories experimental tested collectors. Ya-Ling. He, Jie. Xiao, Ze-Dong. Cheng, Yu-Bing. Tao [2] simulate the LS-2 solar collector by using a coupled method based on Monte Carlo Ray Trace (MCRT) and Finite Volume Method to solve the complex coupled heat transfer problem of radiation, heat conduction and convection. According to results, four outlet temperatures with good agreement were counted out and compared with Dudley, V. E., Kolb, G. J., Sloan, M., Kearney, D et al., [3] report data. Experimental data from Sandia National Laboratories experimental tested collector were used by A. A. Hachicha, I. Rodríguez, R. Capdevila and A. Oliva [4] to validate numerical heat transfer model of a solar parabolic trough collector based on the finite volume method. Results obtained show a good agreement with experimental data. By dividing into several segments a heat collection element of a solar parabolic trough collector and by applying heat transfer balance equations in each segment of the trough, Modified Euler Method were applied by Ouagued M, Khellaf A, Loukarfi L [5] to solve a system of differential equations that govern the heat balances in each segment in aim to analyze thermal performances of a parabolic trough collector under Algerian climate. Results indicated that with the increase in temperature of absorber tube and heat transfer fluid, the heat loss of the parabolic trough collector increases and also heat gain decreases. Mohanad Abdulazeez Abdulraheem Alfellag [6] applied mathematical model in aim to estimate thermal performances of a solar parabolic trough collector located at Embry-Riddle Aeronautical University, Daytona Beach. By dividing the model in three parts and implemented it into Matlab, results from simulation gives acceptable agreement with experimentation and indicated a maximum temperature of 48°C and a maximum efficiency of 30 % for water used as heat transfer fluid. To determine the performances and the outlet temperature of TherminolVP-1™ oil and liquid water used as heat transfer fluid in a solar parabolic trough collector in Algerian Saharan region climate conditions, Yacine Marif, Hocine Benmoussa, Hamza Bouguettaia, Mohamed M. Belhadj, Moussa Zerrouki [7] recently used one dimensional implicit finite difference numerical method. Results obtained were validated by data from Sandia National Laboratories experimental tested collectors and shown that the thermal efficiency was about 69.73–72.24%. More recently, Joseph Kessel Pombe, Camelia Stanciu, Haman-Djalo, Viorel Badescu and Beda Tibi [8] investigated energy balance of heat collection element of a solar parabolic trough collector by using air as heat transfer fluid. The model based on one-dimensional flow was solved by applying pdepe tool's Matlab to evaluate the maximum temperature of air obtained at the outlet of heat collection element at about 590 K and this was expected to study the performances and relevant areas pertaining of a solar parabolic trough collector in Sahelian zones.

Many researchers worked and analyzed performances of solar parabolic trough collectors in different localities and for several applications. Also many numerical method and heat balance correlations were used. In addition, geometrical and thermo physical characteristics were used in modeling and results from Sandia experimental tested collector were used to validate several numerical models. But none of them worked on optical and thermal performances of solar parabolic trough collectors in Sahelian climatic conditions. Furthermore, to date, no solar parabolic trough collector has been installed in Sahelian zones and particularly in Cameroon Sahelian Zones and none is under construction. Moreover, studies have been rarely conducted in order to evaluate solar direct radiation, solar parabolic trough collector performances and relevant areas pertaining. By highlighting some researchers work, this study aims at filling that gap by analyzing performances of solar parabolic trough collectors in climatic conditions of Cameroon Sahelian zones. Finite volume numerical method based one-dimension flow is used for modeling and computer program is used for implementation.

2 METHODOLOGY OF THE WORK

2.1 CHARACTERISTICS OF THE MODEL

We have used (Table 1) the geometrical and thermo-physical properties of the Sandia National Laboratory experimental tested collector installed in the Mojave Desert in South of California to analyse performances of a solar parabolic trough collector under climatic conditions of Cameroon Sahelian Zones.

Table 1. Geometrical and Thermo-physical Characteristics of the Solar Parabolic Trough Collector [9]

	Symbol	Physical parameters	Value	Unit
Collector	L	Length	7.8	m
	W	Aperture	5	m
	F	Focal length	1.840	m
Reflector	C _{refl}	Specific heat	581	J/kg K
	ρ _{refl}	Density	2400	kg/m ³
	e	Thickness	0.005	m
	α ₀	Transmittance-absorptance factor	0.864	-
	ρ ₀	Reflectivity	0.93	-
	γ	Shape factor	0.92	-
Glass envelope	d _{ev}	External diameter	0.115	m
	d _{iv}	Internal diameter	0.112	m
	k _{gl}	Thermal conductivity	1.2	W/mK
	α _{ver}	Thermal absorptance	0.02	-
	C _{gl}	Specific heat	1090	J/kg K
	ρ _{gl}	Density	2230	kg/m ³
	ε _{gl}	Emissivity	0.86	-
Absorber	τ _{gl}	Transmittance	0.95	-
	d _{ea}	External diameter	0.070	m
	d _{ia}	Internal diameter	0.066	m
	k _{abs}	Thermal conductivity	54	W/mK
	α _{abs}	Thermal absorptance	0.906	-
	C _{pabs}	Specific heat	500	J/kg K
	ρ _{abs}	density	8020	kg/m ³
ε _{abs}	Emissivity	0.14	-	

2.2 SITE LOCATION

Cameroun Sahelian Zones include two Regions, North and Far North. The site location our study concerns is specifically Maroua which is located in the Far North Region of Cameroon. The characteristics of the site from Maroua Sallak weather Airport are given in Table 2.

Table 2. Geographical Coordinates of the Studied Location from Maroua Sallak weather Airport

Position studied	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Climate	Albedo
Maroua	5.15	13.58	718	Tropical and Sahelian	0.6

2.3 SOLAR RADIATION MODEL

Sahelian Zones are known of an arid climate with irregular rainfall, low cloudiness of the atmosphere, hot and dry air, permanent aerosols, almost ten sunny months of dry seasons and two less sunny months of wet seasons. Under these climatic conditions, the empirical model of Capderou [10] based clear sky seems suitable to explore in order to estimate direct solar radiation received on a collector surface located in any Cameroon Sahelian Zones and even his optical efficiency.

2.3.1 ESTIMATION OF SOLAR DIRECT RADIATION ON A HORIZONTAL PLANE

The solar direct radiation on a horizontal plane is estimated as follow:

$$I_{dir} \text{ (W.m}^{-2}\text{)} = I_0 \times \varepsilon_0 \times \cos(\theta) \times \exp \left(-T_L \left(0.9 + \frac{9.4}{(0.89)^z \sinh_s} \right)^{-1} \right) \quad (1)$$

In this study, the mean value of the solar constant flux received on the ground is assumed to be set:

$$I_0 = 1367 \text{W.m}^{-2}.$$

The correction coefficient of the Earth-Sun distance can be calculated by the equation (2):

$$\epsilon_0(-) = 1 + 0.034 \times \cos\left(\frac{360}{365}(n-2)\right) \tag{2}$$

Where n is the day number of the year, ranging from 1 on 1 January to 365 on 31st December.

In this work, we assume the solar tracking modes on one axis based the cosine of incidence angle $\cos(\theta)$ as well as proposed by Capderou [10] in Table 3:

Table 3. Estimation of the Cosine of Incidence Angle Trough the Solar Tracking Mode

Tracking mode	Tubular receiver orientation	Cosine of incidence angle
East-West polar tracking	Along the earth axis	$\cos\theta = \cos\delta$
East-West horizontal tracking	Parallel to the North-South axis	$\cos\theta = \left(1 - (\cos(\delta)\sin(\varphi)\cos(\omega) - \sin(\delta)\cos(\varphi))^2\right)^{\frac{1}{2}}$
North-South horizontal tracking	Parallel to the East-West axis	$\cos\theta = \left(1 - \cos^2(\delta)\sin^2(\omega)\right)^{\frac{1}{2}}$

The absorption and diffusion caused by the atmospheric constituents can be expressed by the Linke turbidity factor which is calculated based clear sky as given:

$$T_{lf}(-) = T_0 + T_1 + T_2 \tag{3}$$

With

The modeling of the turbidity factor of gaseous absorption based only on geo-astronomical parameters is given by the following expression:

$$T_0(-) = (2.4 - 0.9\sin\varphi) + 0.1 \times Ah_e (2 + \sin\varphi) - 0.2z - (1.22 + 0.14 \times Ah_e)(1 - \sinh_s) \tag{4}$$

The turbidity factor of absorption by atmospheric gases (O_2 , CO_2 and O_3) is calculated by the following formula:

$$T_1(-) = (0.89)^z \tag{5}$$

The turbidity factor caused by aerosols is calculated by the following formula:

$$T_2(-) = (0.9 + 0.4 \times Ah_e) \times (0.63)^z \tag{6}$$

With $z(m)$ is the altitude of the site location.

The parameter which characterize seasons is calculated as follow:

$$Ah_e(-) = \sin\left(\frac{360}{365}(n-121)\right) \tag{7}$$

The sun elevation angle is calculated as follow:

$$h_s(^\circ) = \cos\varphi\cos\delta\cos\omega + \sin\varphi\sin\delta \tag{8}$$

2.3.2 ESTIMATION OF SOLAR DIFFUSE RADIATION ON A HORIZONTAL PLANE

The diffuse component of solar radiation received on a horizontal plane is given:

$$I_{\text{dif}} (\text{W.m}^{-2}) = I_0 \times \varepsilon_0 \times \exp(-1 + 1.06 \times \log(\sin(h_s))) + \xi \quad (9)$$

With:

$$\xi = 1.1 - \sqrt{(\log(T_1 + T_2) - 2.8 + 1.02(1 - \sinh_s)^2)^2 + (1.1)^2} \quad (10)$$

2.3.3 ESTIMATION OF SOLAR GLOBAL RADIATION ON A HORIZONTAL PLANE

It is the sum of the direct and diffuse solar radiation given as follow:

$$G_{\text{sol}} (\text{W.m}^{-2}) = I_{\text{dir}} + I_{\text{dif}} \quad (11)$$

2.3.4 SOLAR ENERGY ABSORBED

For a solar parabolic trough collector, the incident solar radiation absorbed per unit of area by the absorber tube is given:

$$Q_{\text{abs}} (\text{W}) = A_0 \times I_{\text{dir}} \times \rho_0 \times \alpha_0 \times \gamma \times K \quad (12)$$

For a solar parabolic trough collector, the incident solar radiation absorbed per unit of area by the glass envelope is given:

$$Q_{\text{ge}} (\text{W}) = A_0 \times I_{\text{dir}} \times \rho_0 \times \alpha_{\text{ge}} \times \gamma \times K \quad (13)$$

The aperture area of a solar parabolic trough collector is calculated as follow:

$$A_0 (\text{m}^2) = W \times L \quad (14)$$

The transmittance-absorptance factor is calculated in the following form:

$$\alpha_0 (-) = \frac{\tau_{\text{ge}} \times \alpha_{\text{abs}}}{1 - (1 - \alpha_{\text{abs}})(1 - \tau_{\text{ge}})} \quad (15)$$

The shape factor is calculated as follow

$$\gamma (-) = \prod_{i=1}^6 \gamma_i \quad (16)$$

The incident angle modifier is calculated:

$$K (-) = 1 - 0,00384(\theta) - 0,000143(\theta^2) \quad (17)$$

The solar parabolic trough collector optical efficiency is defined in the following form:

$$\eta_{\text{opt}} (\%) = \frac{Q_{\text{abs}}}{A_0 \times I_{\text{dir}}} = \rho_0 \times \alpha_0 \times \gamma \times K \quad (18)$$

2.4 THERMAL MODEL

The thermal model based on heat collection element consists of three main components: a stainless steel absorber tube with selective surface surrounded by a partially anti-reflective evacuated glass envelope tube to significantly reduce heat losses and a heat transfer fluid which passes through the absorber tube. When the direct solar radiation is reflected on the heat collection element, most of his energy is absorbed by the glass envelope and the absorber tube surface. The useful heat received from the direct solar radiation is directly transmitted to the heat transfer fluid which enters into the absorber tube with a specific temperature, pressure and mass flow rate and exits it with a pressure and temperature according the boundary conditions found along the heat collection element. In fact, the heat transfer model is based on an energy balance

between the heat transfer fluid and the surroundings. A part of energy absorbed into the absorber is transferred to the heat transfer fluid by forced convection and remaining energy is transferred back to the glass envelope by radiation and natural convection and lost through the support brackets by conduction as well. The heat loss coming from the absorber (radiation and natural convection) passes through the glass envelope by conduction and along with the energy absorbed by the glass envelope is lost to the environment by convection and to sky by radiation.

We have divided the heat collection element into several layers in axial direction and discretized it by using the fully Finite Volume Method and applied an energy balance for each control volume which leads to three partial differential equations of three temperatures solved by using the Tri-Diagonal Matrix Algorithm.

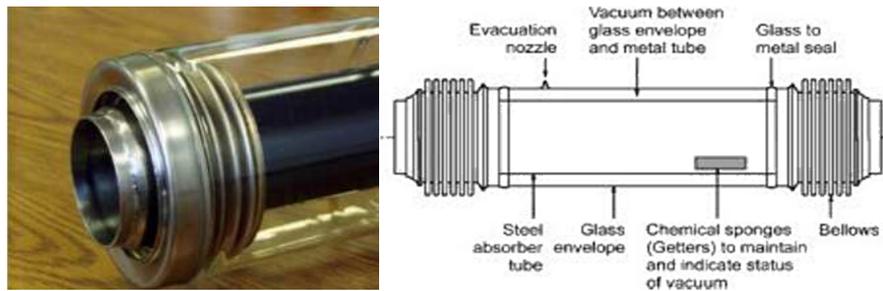


Fig. 1. Heat collection element, Adapted from [9]
Useful absorptivity (95%) and useful emissivity (14%) with about 350°C and 400°C supported

2.4.1 HEAT BALANCE ON HEAT COLLECTING ELEMENT

By considering a control volume of the heat collection element, the heat balance which leads of three partial differential equations of temperatures of each component of the heat collection element has been expressed as follow:

On the glass envelope, the heat balance is expressed as follows:

$$\underbrace{\rho_{ge} C_p A_{ge} \frac{\partial T_{ge}(x,t)}{\partial t}}_{\text{increase internal energy}} = \underbrace{A_0 \times I_{dir} \times \rho_0 \times \alpha_{ge} \times \gamma \times K}_{\text{absorbed solar energy}} + \underbrace{\pi \times d_{eabs} \times h_{c(int)} \times (T_{abs} - T_{ge})}_{\text{internal loss}} + \underbrace{A_{ge} k_{ge} \frac{\partial^2 T_{ge}(x,t)}{\partial x^2}}_{\text{thermal diffusion}} - \underbrace{\pi \times d_{ege} \times [h_{c(ext)} \times (T_{ge} - T_{amb}) + h_{r(ext)} \times (T_{ge} - T_{sky})]}_{\text{external loss}} \quad (19)$$

The cross sectional area of the glass envelope is given as follow:

$$A_{ge} \text{ (m}^2\text{)} = \frac{\pi}{4} \times (d_{ege}^2 - d_{ige}^2) \quad (20)$$

On the absorber tube, the heat balance is as follows:

$$\underbrace{\rho_{abs} C_p A_{abs} \frac{\partial T_{abs}(x,t)}{\partial t}}_{\text{increase internal energy}} = \underbrace{A_0 \times I_d \times \rho_0 \times \alpha_0 \times \gamma \times K}_{\text{absorbed solar energy}} + \underbrace{A_{abs} k_{abs} \frac{\partial^2 T_{abs}(x,t)}{\partial x^2}}_{\text{thermal diffusion}} - \underbrace{\pi \times d_{eabs} \times h_{c(int)} \times (T_{abs} - T_{ge})}_{\text{internal loss}} - \underbrace{\pi \times d_{iabs} \times h_{u,f} \times (T_{abs} - T_f)}_{\text{useful heat}} \quad (21)$$

The cross sectional area of absorber tube is given as follow:

$$A_{abs} \text{ (m}^2\text{)} = \pi \times \left(\frac{d_{eabs}^2 - d_{iabs}^2}{4} \right) \quad (22)$$

On the heat transfer fluid, the heat balance is expressed as follow:

$$\underbrace{\rho_f C_p A_f \frac{\partial T_f(x,t)}{\partial t}}_{\text{increase internal energy}} = - \underbrace{C_p \frac{\dot{m}_f}{n_{\text{coll}}} \frac{\partial T_f(x,t)}{\partial x}}_{\text{heat converted by fluid motion}} + \underbrace{A_f k_f \frac{\partial^2 T_f(x,t)}{\partial x^2}}_{\text{thermal diffusion}} + \underbrace{\pi \times d_{\text{iaabs}} \times h_{u,f} (T_{\text{abs}} - T_f)}_{\text{useful heat}} \quad (23)$$

The cross sectional area of heat transfer fluid is given as follow:

$$A_f \text{ (m}^2\text{)} = \pi \times \frac{d_{\text{iaabs}}^2}{4} \quad (24)$$

2.4.2 ESTIMATION OF EXTERNAL AND INTERNAL HEAT TRANSFER COEFFICIENT

We have considered a heat collecting element with annulus vacuum between the glass envelope and the absorber tube. According to [11], the internal heat transfer coefficient depends on the annulus pressure. When the annulus pressure is less than 13.10^{-3} Pa, the heat transfer coefficient is turn off zero. When the annulus pressure is upper than 13.10^{-3} Pa, the annulus pressure is estimated through natural convection relations between two horizontal concentric cylinders [12], [13].

2.4.2.1 INTERNAL AND EXTERNAL HEAT TRANSFER COEFFICIENT FROM CONVECTION

When the vacuum is turn off zero, natural convection within the annulus occurs. The heat transfer coefficient is then expressed with the Raithby and Holland's correlation [14] for natural convection in an annular space between horizontal cylinders as follow:

$$h_{c(\text{int})} \text{ (W / m}^2\text{)} = \frac{2 \times k_{\text{eff}}}{d_{\text{eabs}} \times \ln\left(\frac{d_{\text{ige}}}{d_{\text{eabs}}}\right)} \quad (25)$$

The effective thermal conductivity function of the thermo-physical properties of the gas is calculated as:

$$k_{\text{eff}} = 0.386 \times k \times \left(\frac{\text{Pr}}{0.861 + \text{Pr}}\right)^{1/4} \times \text{Ra}_c^{1/4} \quad (26)$$

The equivalent Rayleigh number calculated in equation (28) is used for the range of ($10^2 \leq \text{Ra}_c \leq 10^7$) and depends on the effective Rayleigh number Ra_{eff} (evaluated at the air gap distance) which also depends on the dimensionless numbers of Grashof and Prandtl as:

$$\text{Ra}_c = \frac{\left(\ln\left(\frac{d_{\text{ige}}}{d_{\text{eabs}}}\right)\right)^4}{L_{\text{eff}}^3 \times (d_{\text{eabs}}^{-3/5} + d_{\text{ige}}^{-3/5})^5} \times \text{Ra}_{\text{eff}} \quad (27)$$

The air gap distance between the internal diameter of the glass envelope and the external diameter of the absorber tube is calculated as follow:

$$L_{\text{eff}} = 0.5(d_{\text{ige}} - d_{\text{eabs}}) \quad (28)$$

The physical properties of the air in annulus vacuums have been calculated at the mean temperature between the absorber tube and the glass envelope as follows:

$$T_{m(\text{air})} = 0.5 \times (T_{\text{abs}} + T_{\text{ige}}) \quad (29)$$

The convection heat transfer coefficient between glass envelope and exterior air is natural in the absence of wind. Thus, for natural convection the correlation developed by Churchill and Chu [15] for horizontal cylinders for the calculation Nusselt number is recommended.

$$h_{c(\text{ext})} \left(\text{W} / \text{m}^2 \right) = \left[0.60 + 0.387 \left(\frac{\text{Ra}}{1 + \left(\frac{0.559}{\text{Pr}} \right)^{\frac{9}{16}}} \right)^{\frac{1}{6}} \right] \frac{k_{\text{air}}}{d_{\text{ege}}} \quad (30)$$

The physical properties of the exterior air are calculated at the mean temperatures between the glass envelop and the absorber tube as follows:

$$T_{m(\text{ext})} = 0.5 \times (T_{\text{abs}} + T_{\text{ge}}) \quad (31)$$

In the presence of wind, the convection heat transfer between glass envelope and exterior air becomes forced and Zhukauskas correlation in equation (36) is recommended:

$$h_{c(\text{ext})} \left(\text{W} / \text{m}^2 \right) = C \times \text{Re}^m \times \text{Pr}^n \times \left(\frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_{\text{ge}}} \right)^{0.25} \times \frac{k_{\text{air}}}{d_{\text{ege}}} \quad (32)$$

According to [1], the following assumption has been made:

C	m	Re	n	Pr
0.75	0.4	1-40	0.37	<=10
0.51	0.5	40-10 ³	0.36	>10
0.26	0.6	10 ³ -2.10 ⁵		
0.076	0.7	2.10 ⁵ -10 ⁶		

The physical properties of the exterior air are calculated at the ambient temperature while Pr_{ge} is evaluated considering glass envelope temperature.

2.4.2.2 INTERNAL AND EXTERNAL HEAT TRANSFER COEFFICIENT FROM RADIATION

The glass envelope is assumed to be a small convex grey object in a large black body cavity (the sky). By applying the net radiation method, the radiation between the glass envelope and the sky is written as:

$$h_{r(\text{ext})} \left(\text{W} / \text{m}^2 \right) = \sigma \times \epsilon_{\text{ge}} \times \left[(T_{\text{e,ge}} + 273)^2 + (T_{\text{sky}} + 273)^4 \right] (T_{\text{e,ge}} + T_{\text{sky}} + 546) \quad (33)$$

The surfaces have been considered as gray and diffuse emitters, absorbers and reflectors. The glass envelope is assumed to be opaque to the infrared radiation. For simplicity and according to the spatial discretization, the radiation in the j^{th} control volume can be approximated as follow:

$$h_{r(\text{int})} \left(\text{W} / \text{m}^2 \right) = \epsilon_{\text{int}} \times \sigma \times \left((T_{\text{abs}} + 273)^2 + (T_{\text{ge}} + 273)^2 \right) \times (T_{\text{abs}} + T_{\text{ge}} + 546) \quad (34)$$

Where ϵ_{int} is calculated in equation (39) with ϵ_{abs} the emittance of the absorber tube and ϵ_{ge} the emittance of the glass envelope

$$\epsilon_{\text{int}} = \left(\frac{\frac{d_{\text{ige}}}{d_{\text{eabs}}}}{\left(\frac{1}{\epsilon_{\text{abs}}} + \frac{1 - \epsilon_{\text{ge}}}{\epsilon_{\text{ge}}} \right)} \right) \quad (35)$$

The internal heat transfer flux from convection and radiation is calculated as:

$$Q_{\text{int}} \left(\text{W} \right) = A_{\text{eabs}} \times (h_{c(\text{int})} + h_{r(\text{int})}) \times (T_{\text{abs}} - T_{\text{f}}) \quad (36)$$

The external heat transfer flux from convection and radiation is calculated as:

$$Q_{\text{ext}} \text{ (W)} = Q_{\text{c(ext)}} + Q_{\text{r(ext)}} = A_{\text{ge}} \left(h_{\text{c(ext)}} (T_{\text{ge}} - T_{\text{amb}}) + h_{\text{r(ext)}} (T_{\text{ge}} - T_{\text{sky}}) \right) \quad (37)$$

2.4.2.3 USEFUL HEAT TRANSFER COEFFICIENT

The useful heat transfer coefficient for the convective heat transfer for the heat transfer fluid is calculated as follow:

$$h_{u,f} \text{ (W / m}^2\text{)} = \frac{Nu_f k_f}{d_{\text{iabs}}} \quad (38)$$

To evaluated the useful heat transfer coefficient it is recommend to use Gnielinski [16] correlations' in aim to calculate the Nusselt number in the case of laminar or turbulent flow case and even in the transition region between the laminar and turbulent regime.

For laminar flow at lower Reynolds numbers ($Re < 2300$), the Nusselt numbers Nu_{f1} with constant wall temperature boundary condition and Nu_{f2} with constant heat flux boundary condition are given:

$$Nu_{f1} = \left\{ (3,66)^3 + (0,7)^3 + \left(1,615 \times \sqrt[3]{Re_f \times Pr_f \times d} - 0,7 \right)^3 + \left(\left(\frac{2}{1 + 22Pr_f} \right)^{\frac{1}{6}} \sqrt{Re_f \times Pr_f \times d} \right)^3 \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (39)$$

$$Nu_{f2} = \left\{ (4,354)^3 + (0,6)^3 + \left(1,953 \times \sqrt[3]{Re_f \times Pr_f \times d} - 0,6 \right)^3 + \left(0,924 \times \sqrt[3]{Pr_f \times \sqrt{Re_f \times Pr_f \times d}} \right)^3 \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (40)$$

With:

$$d \text{ (m)} = \frac{d_{\text{iabs}}}{L} \quad (41)$$

For turbulent flow at higher Reynolds numbers ($Re > 4000$), the Nusselt number is calculated as:

$$Nu_f = \frac{\frac{f}{8} (Re_f - 1000) Pr_f}{1 + 12.27 \left(\frac{f}{8} \right)^{\frac{1}{2}} \left(Pr_f^{\frac{2}{3}} - 1 \right)} \left(1 + \left(\frac{d}{L} \right)^{\frac{2}{3}} \right) k_f \quad (42)$$

Where $k_f = \left(\frac{Pr_f}{Pr_{\text{abs}}} \right)^{0.11}$ is for liquid and $k_f = \left(\frac{T_f}{T_{\text{abs}}} \right)^n$ is for gases and n depend on the gas and it is assumed to be equal to 0.45 for air, in the case of this study.

In equation (42), the friction factor for turbulent flow according to Gnielinski in absorber tube is evaluated as follow:

$$f = (1.8 \times \log_{10} (Re_{\text{diabs}}) - 1.5)^{-2} \quad (43)$$

In the case of higher values of Pr_f and d , the following friction factor is calculated as:

$$f = (1.82 \times \log_{10} (Re_{\text{diabs}}) - 1.64)^{-2} \quad (44)$$

For transition region ($2300 \leq Re \leq 4000$), Gnielinski proposed equation (45) to estimate the Nusselt number:

$$Nu_f = (1 - \chi) Nu_{\text{lam}} + \chi Nu_{\text{Tur}} \quad (45)$$

$$\text{With: } \chi = \frac{Re_f}{1700} - \frac{23}{17} \quad (46)$$

The physical properties of the heat transfer fluid are calculated at fluid temperature while Pr_{abs} is evaluated considering absorber temperature.

The global thermal efficiency is defined as follow:

$$\eta_{ther} = \frac{\pi \times d_{iabs} \times h_{u,f} \times (T_{abs} - T_f)}{A_0 \times I_{dir}} \quad (47)$$

2.5 SOLUTION PROCEDURE

Finite volume numerical method based on one-dimensional flow has been used to solve this problem. The heat collection element has been divided into three layers in axial direction with energy balance in each control volume. This leads to three algebraic equations (19), (20), (21) which were simultaneously solved by applying the Tri-Diagonal Matrix Algorithm after discretization. Then, the solution obtained based temperature of each component of the heat collection element is as follow:

For glass envelope, $j = 2, P$

$$a_{ge,j} T_{ge,j} = a_{ge,j+1} T_{ge,j+1} + a_{ge,j-1} T_{ge,j-1} + b_{ge} \quad (48)$$

$$a_{ge,j}^0 = \phi_{ge} Cp_{ge} \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (49)$$

$$a_{ge,j} = a_{ge,j}^0 + a_{ge,j+1} + a_{ge,j-1} + \pi \frac{\Delta x}{A_{ge}} \left(d_{eabs} h_{(int)} + d_{ege} (h_{c(ext)} + h_{r(ext)}) \right) \quad (50)$$

$$a_{ge,j+1} = \frac{k_{ge}}{\delta x_{ge,j+0.5}} \quad (51)$$

$$a_{ge,j-1} = \frac{k_{ge}}{\delta x_{ge,j-0.5}} \quad (52)$$

$$b_{ge} = \frac{\Delta x}{A_{ge}} \left[A_0 \times I_{dir} \times \rho_0 \times \alpha_{ge} \times \gamma \times K + \pi \left(d_{eabs} h_{(int)} T_{abs,j+(P+1)} + d_{ev} (h_{c(ext)} T_{amb} + h_{r(ext)} T_{sky}) \right) \right] a_{ge,j}^0 T_{ge,j}^0 \quad (53)$$

For absorber tube, $j = P + 3, 2P + 1$

$$a_{abs,j} T_{g,j} = a_{abs,j+1} T_{abs,j+1} + a_{abs,j-1} T_{abs,j-1} + b_{abs} \quad (54)$$

$$a_{abs,j}^0 = \phi_{abs} Cp_{abs} \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (55)$$

$$a_{abs,j} = a_{abs,j}^0 + a_{abs,j+1} + a_{abs,j-1} + \pi \frac{\Delta x}{A_{abs}} \left(d_{eabs} h_{(int)} + d_{iabs} h_{uf} \right) \quad (56)$$

$$a_{abs,j+1} = \frac{k_{abs}}{\delta x_{abs,j+0.5}} \quad (57)$$

$$a_{abs,j-1} = \frac{k_{abs}}{\delta x_{abs,j-0.5}} \quad (58)$$

$$b_{abs} = \frac{\Delta x}{A_{abs}} \left[A_0 \times I_{dir} \times \rho_0 \times \alpha_0 \times \gamma \times K + \pi \left(d_{eabs} h_{(int)} T_{g,j-(P+1)} + d_{iabs} h_{uf} T_{f,j+(P+1)} \right) \right] a_{abs,j}^0 T_j^0 \quad (59)$$

For heat transfer fluid, $j = 2P + 4, 3P + 2$

$$a_{f,j} T_{f,j} = a_{f,j+1} T_{f,j+1} + a_{f,j-1} T_{f,j-1} + b_f \quad (60)$$

$$a_{f,j}^0 = \frac{\Delta x}{\Delta t} (\varphi_f C p_f)^{t+\Delta t} \quad (61)$$

$$a_{abs,j+1} = \frac{k_{f,j+0.5}}{\delta x_{f,j+0.5}} \quad (62)$$

$$a_{f,j-1} = \frac{k_{f,j-0.5}}{\delta x_{f,j-0.5}} + \frac{\dot{m}_f}{A_f} C p_{f,j-0.5} \quad (62)$$

$$a_{f,j} = \frac{k_{f,j+0.5}}{\delta x_{f,j+0.5}} + \frac{k_{f,j-0.5}}{\delta x_{f,j-0.5}} + \frac{\dot{m}_f}{A_f} C p_{f,j-0.5} + \frac{\Delta x}{\Delta t} (\varphi_f C p_f)^{t+\Delta t} + \pi \frac{\Delta x}{A_f} d_{iabs} h_{u,f} \quad (64)$$

$$b_f = \frac{\Delta x}{A_f} \left[\pi (d_{iabs} h_{uf} T_{abs,j-(P+1)}) \right] a_{f,j}^0 T_{f,j}^0 \quad (65)$$

By considering that external node corresponds to boundary node for each sub-system, we have assumed the boundary conditions as follow:

- outer of glass envelope: adiabatic boundary conditions on both inlet and outlet surfaces;
- absorber tube: adiabatic boundary conditions on inlet and outlet surfaces;
- heat transfer fluid: uniform inlet temperature and adiabatic boundary assumption on outlet temperature.

Then, we have at all:

For j=1

$$a_{ge,2} = 1 \quad a_{ge,-1} = 0 \quad a_{ge,1} = 1 \quad b_{ge} = 0 \quad (66)$$

For j=P+1

$$a_{ge,P+2} = 0 \quad a_{ge,P} = 1 \quad a_{ge,P+1} = 1 \quad b_{ge} = 0 \quad (67)$$

For j=P+2

$$a_{abs,P+3} = 1 \quad a_{abs,P+1} = 0 \quad a_{abs,P+2} = 1 \quad b_{abs} = 0 \quad (68)$$

For j=2P+2

$$a_{abs,2P+3} = 0 \quad a_{abs,2P+1} = 1 \quad a_{abs,2P+2} = 1 \quad b_{abs} = 0 \quad (69)$$

For j=2P+3

$$a_{f,2P+4} = 1 \quad a_{f,2P+2} = 0 \quad a_{f,2P+3} = 1 \quad b_f = T_e \quad (70)$$

For j=3P+3

$$a_{f,3P+4} = 0 \quad a_{f,3P+2} = 1 \quad a_{f,3P+3} = 1 \quad b_f = 0 \quad (71)$$

The algebraic system of three equations were solved simultaneously by using the direct method of Tri-Diagonal Matrix Algorithm, with a temperature tolerance of 10^{-2} and time step $\Delta t = 10s$ and inter nodal distance $\Delta x = 0.2m$ are optimized to get a good convergence with small computational cost. The initial value of the temperature is assumed to be equal to the ambient temperature.

3 RESULTS AND DISCUSSION

Programing equation of a solar parabolic trough collector was performed in this work. Finite volume method based on one-dimensional flow was devoted to discretize three partial differential equations from the model and implemented by using Tri-Diagonal Matrix Algorithm. In order to validate the solar radiation model, solar radiation components' estimated were compared with measurements campaigns from weather station of Maroua Sallack Airport. Also, thermal model was validated by comparing results from Sandia experimental tested collector and results from other devoted works. Results

were displayed by considerate two seasons: then months of hot and dry season characterized by sunny months and two months of wet seasons characterized by less sunny months. A typical day of both the sunniest and the least sunny months of those seasons lead to useful results.

3.1 SOLAR RADIATION COMPONENT'S ESTIMATED

In figure 2, direct, diffuse and global solar radiations estimated on a horizontal plane in Maroua are presented. The solar radiation model, implemented by using the empirical model of Capderou based clear skies is compared with measurements campaigns from the weather station of Maroua Sallak Airport. The figure shows that the empirical model of Capderou gives acceptable estimate of direct, diffuse and global solar radiation during a typical day of the least sunny month of wet season in Maroua.

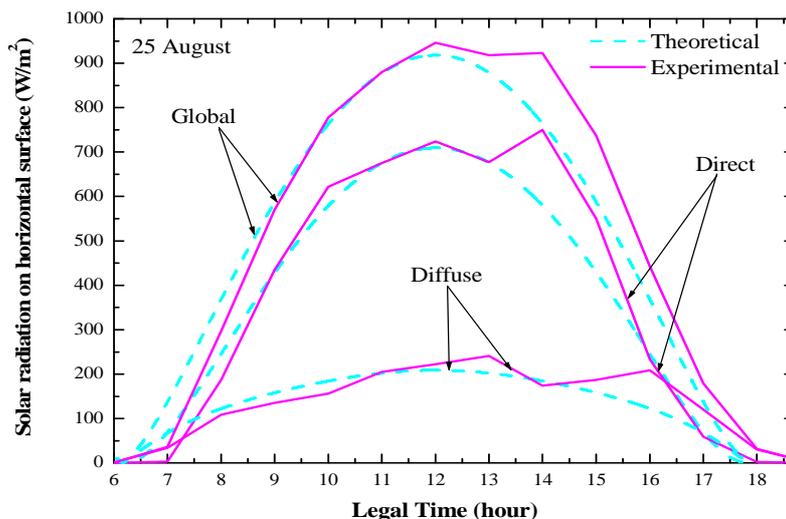


Fig. 2. Direct, diffuse and global solar radiation validated with measurements campaigns from Maroua Sallak Airport during a typical day of the least sunny month

According to figure 3, the direct solar radiation estimated during a typical day of the least sunny month is about 800W/m² with full tracking mode. In addition, compared to the E-W horizontal tracking mode which gives good estimation than the E-W polar tracking mode in the same climatic conditions, the full tracking mode is more suitable than the others mode because of maximum amount of energies absorbed while the N-S horizontal mode consumes less energy compared to the others mode.

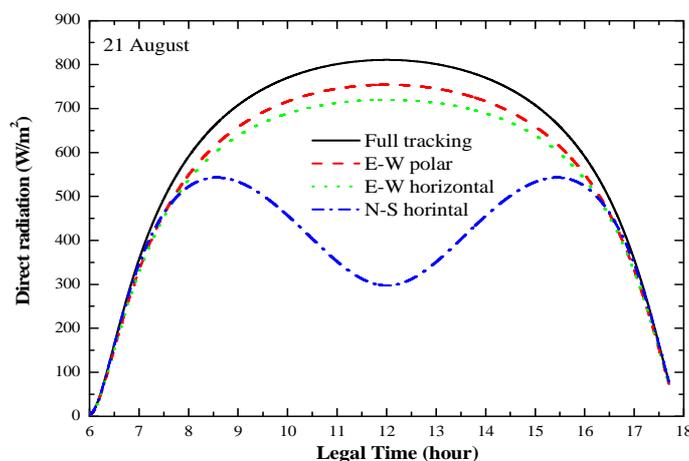


Fig. 3. Direct solar radiation on a horizontal plane for various tracking mode during a typical day of the least sunny month

3.2 OPTICAL PERFORMANCES

The optical efficiency for various tracking mode is displayed during a typical day of the sunniest month (Figure 4). It is observed that, the full tracking mode collects the maximum amount of energy with about 74% of optical efficiency. In addition, the optical performances from E-W horizontal and E-W polar mode is getting closer with full tracking mode for both the sunny and the less sunny months.

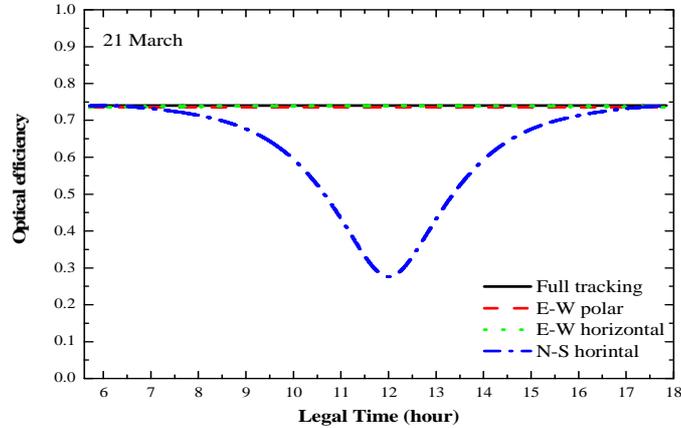


Fig. 4. optical efficiency for various tracking mode on a typical day of the sunniest month

The daily annual average of optical efficiency is displayed (Figure 5) for various tracking modes. This result shows that, the E-W polar and the E-W horizontal modes are better for solar parabolic trough collectors. In these conditions, if we consider a solar parabolic trough collector field with several collectors, the E-W horizontal tracking mode is better due to the low power losses by field's shadow. In another hand, the E-W polar solar tracking system is preferred for individual installation because of the small surface of the reflector.

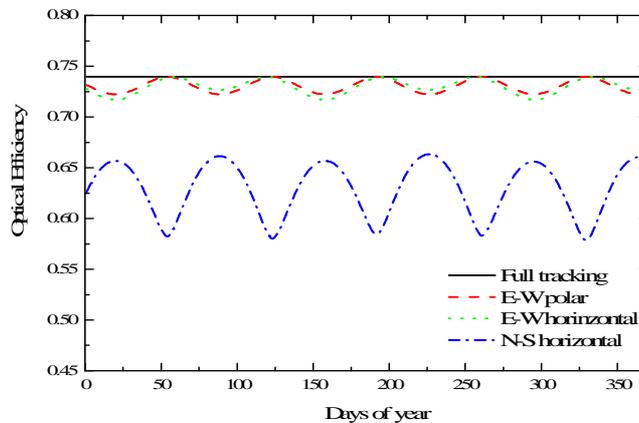


Fig. 5. Daily annual average of optical efficiency for various tracking modes

3.3 THERMAL PERFORMANCES

The thermal performances of the model are estimated under the same climatic conditions during a typical day of the sunniest and the least sunny months for air, water and TherminolVP-1TM synthetic oil. The inlet temperature assumes is at about 25°C; with wind speed at around 2m/s and mass flow rate equal to 0.08kg/s. The flow rate has been supposed to be turbulent and the East-West horizontal solar tracking mode which is getting closer with full tracking is assumed to be in high optical efficiency at about 74% during all the seasons. The model is validated by comparing results from Sandia experimental tested parabolic trough collector and results from another devoted work.

Table 4. Comparison of the outlet temperature between Sandia experimental tested parabolic trough collector and simulation results.

Fluid	I_{dir} (W/m^2)	m_f (l/min)	T_{init} ($^{\circ}C$)	Exp $\Delta T(^{\circ}C)$	Ref [17] $\Delta T(^{\circ}C)$	Model $\Delta T(^{\circ}C)$	Error (%) Exp Vs Ref [29]	Error (%) Exp Vs Model
Water	807.9	18.4	18.3	17.8	17.79	17.8	0.056	0.00
Syltherm 800	933.7	47.7	102.2	21.8	21.25	21.78	2.52	0.092

In figure 6, temperatures variation at the output of absorber tube and glass envelope are displayed during a typical day of the sunniest months by using air, water and TherminolVP-1TM as heat transfer fluids.

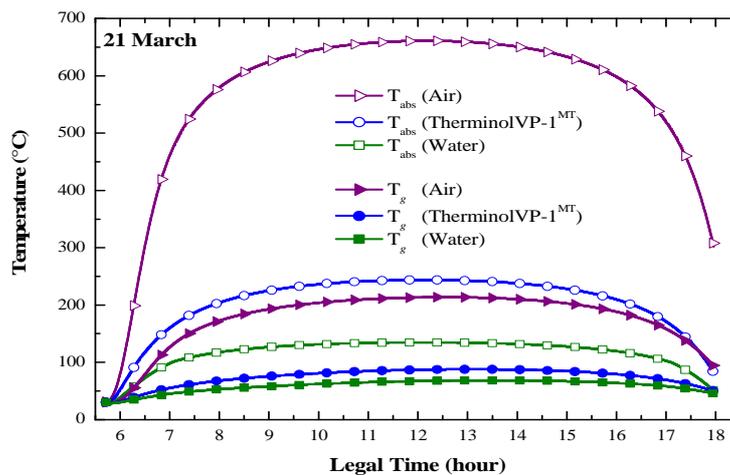


Fig. 6. Output temperature of the absorber tube and glass envelope for a typical day of the sunniest month

Temperatures variation at the output of absorber tube and glass envelope are displayed (Figure 7) during a typical day of the least sunny month by using air, water and TherminolVP-1TM as heat transfer fluids.

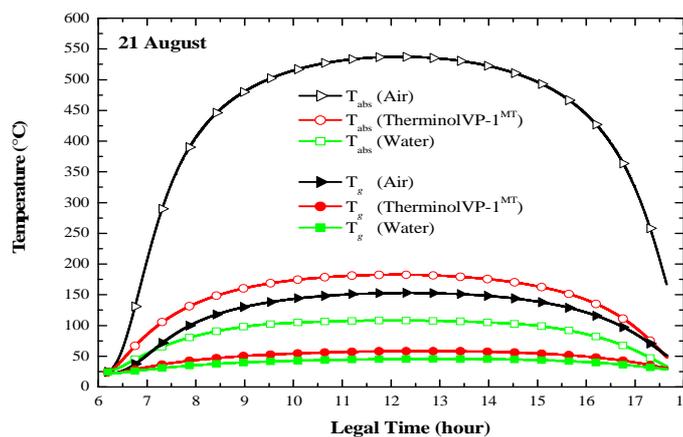


Fig. 7. Output temperature of the absorber and glass envelope for a typical day of the sunny month

Figure 8 display the temperature variation along the absorber tube for three different heat transfer fluids during a typical day of the sunniest month. It is observed that, oil and air temperatures increase much faster compared to water temperature.

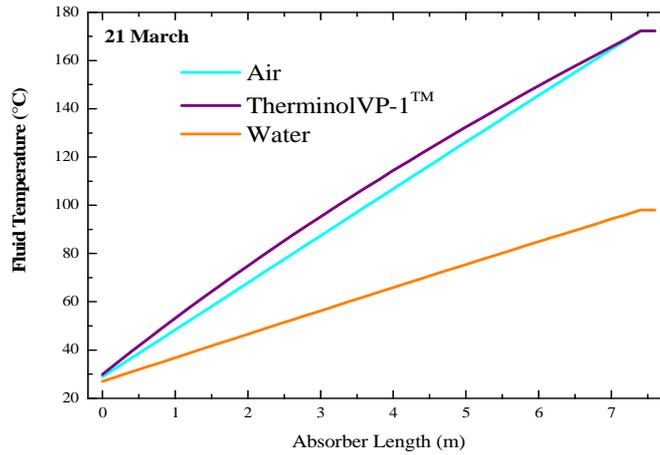


Fig. 8. Fluid temperature variation along the absorber tube assumed at 13h during a typical day of the sunniest month

During a typical day of the least sunny month, the maximum of outlet temperature of heat transfer fluid obtained at the right end of the absorber tube is about 140°C, 138°C and 80°C for air, synthetic oil and water respectively (Figure 9).

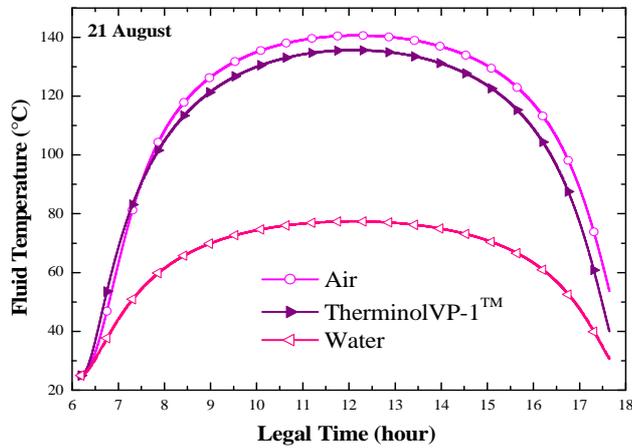


Fig. 9. Outlet temperature of the heat transfer fluid during a typical day of the least sunny month

During a typical day of the sunniest month, the maximum of outlet temperature of heat transfer fluid obtained at the right end of the absorber tube is about 180°C for both air and oil and 90°C for water (Figure 10).

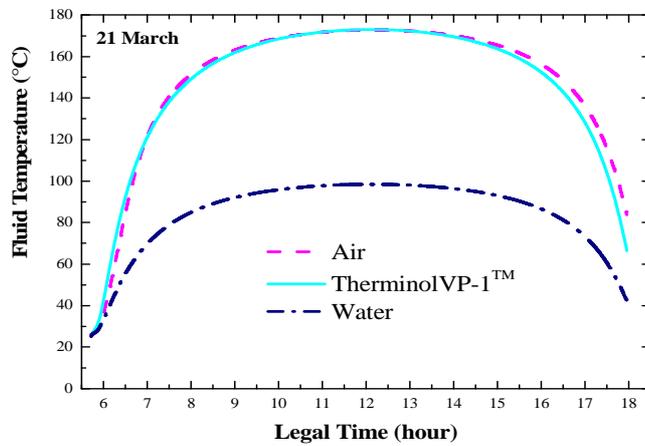


Fig. 10. Outlet temperature of the heat transfer fluid for a typical day of the sunny months

The heat gained depends on the type of heat transfer fluid. For a typical day of the sunniest month, the much maximum of heat gained is reached in the mid-day and it is from TherminolVPTM with about 78kW, 45kW and 20kW for TherminolVPTM, water and air respectively (Figure 11).

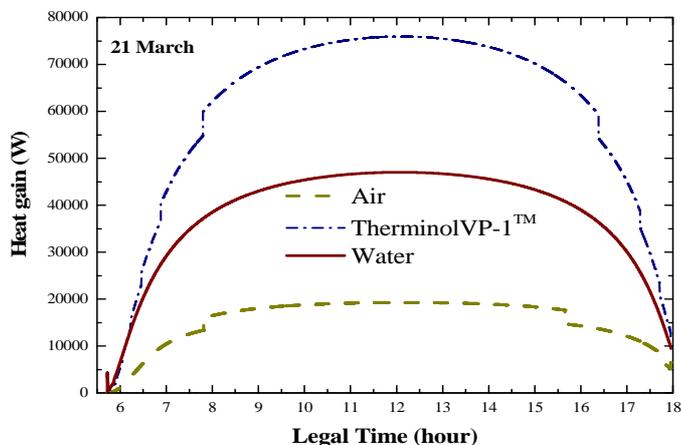


Fig. 11. Useful heat gained during a typical day of the sunniest month

It can be observed that, the heat loss follows perfectly the temperature profile of the absorber. Then, the thermal oil (TherminolVPTM) considered in this study is not only highly stable but also designed for high temperature liquid phase operation with good heat transport and transfer properties (Figure 12).

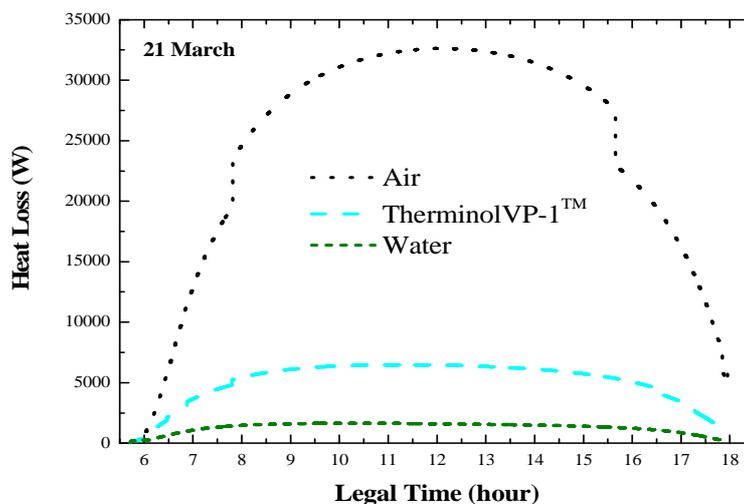


Fig. 12. Heat loss during a typical of the sunniest month

4 CONCLUSION

Optical and thermal performances of a solar parabolic trough collector with water, air or TherminolVP-1TM synthetic oil used as heat transfer fluid under climatic conditions of Cameroon Sahelian Zones have been developed throughout this work. The empirical model of Capderou has been used to model direct solar radiation and solar energy absorbed by the collector in Far North Region of Cameroon. Results of solar radiation components obtained were compared with measurements campaigns from the weather station of Maroua Sallak Airport. The thermal model based on an energy balance has led to three partial differential equations of temperatures discretized by applying the fully Finite Volume Method and solved by implementing the Tri-Diagonal Matrix Algorithm. A computer program has led to estimate optical efficiency of the collector which reached at about 74% with full tracking mode during all the seasons. In addition, in aim to reduce the cost of the system, East-West Horizontal and East-West polar solar tracking are suitable. Moreover, outlet temperatures of heat transfer

fluids obtained were compared with data from Sandia experimental tested collector and from another devoted work. According to the results obtained, it can be concluded that the current numerical model is suitable for predicting the optical and thermal behaviors of a solar parabolic trough collector under operating conditions of Cameroon Sahelian Zones. For low temperature applications ($T < 180^{\circ}\text{C}$) such as domestic heat water, refrigeration, distillation, industrial process heat and air conditioning, water as heat transfer fluid is more suitable due to its low cost and good thermal performances to use while air and synthetic oil are better for very high temperature applications such as electricity production. Cameroon Sahelian Zones is a huge reservoir of solar energy and water resources from rivers and many Lakes and those potential could be exploited for small needs in the case of low temperature applications.

Further work is ongoing for determining the predictive model control of a solar parabolic trough collector under climatic conditions of Far North Cameroon Region. It is also very interesting to conduct the same study in regards of solar photovoltaic systems. This will lead to compare solar parabolic trough collector with solar photovoltaic systems performances under climatic conditions of Sahelian zones.

REFERENCES

- [1] Kalogirou Soteris A., "A detailed thermal model of a parabolic trough collector receiver," *Energy* (2012) 48 (1) pp. 298-306.
- [2] Ya-Ling. He, Jie. Xiao, Ze-Dong. Cheng, Yu-Bing. Tao, "A MCRT and FVM coupled simulation method for energy conversion process in parabolic trough solar collector," *Renewable Energy* 36 (2011) pp. 976-985.
- [3] Dudley, V. E., Kolb, G. J., Sloan, M., Kearney, D et al., 1994. "Test Results: SEGS LS 2 Solar Collector". SAND94-1884. Albuquerque, NM: SANDIA National Laboratories.
- [4] A.A. Hachicha, I. Rodríguez, R. Capdevila and A. Oliva, "Heat transfer analysis and numerical simulation of a parabolic trough solar collector," *Applied Energy* 2013; 111: 582-592.
- [5] Ouagued M, Khellaf A, Loukarfi L, "Estimation of the temperature, heat gain and heat loss by solar parabolic trough collector under Algerian climate using different thermal oils," *Energy Conversion and Management* 75 (2013) pp. 191-201.
- [6] Mohanad Abdulazeez Abdulraheem Alfellag, "Modeling and Experimental Investigation of Parabolic Trough Solar Collector," *Embry-Riddle Aeronautical University-Daytona Beach*, pp. 95, 2014.
- [7] Yacine Marif, Hocine Benmoussa, Hamza Bouguettaia, Mohamed M. Belhadj, Moussa Zerrouki, "Numerical simulation of solar parabolic trough collector performance in the Algeria Saharan region." *Energy Conversion and Management* 85 (2014) pp. 521-529.
- [8] Joseph Kessel Pombe, Camelia Stanciu, Haman-Djalo, Viorel Badescu, Beda Tibi, "Modélisation thermodynamique d'un récepteur tubulaire pour concentrateurs solaires de type linéaire," *International Journal of Scientific Research & Engineering Technology (IJSET)*, Vol. 3, pp. 19-26, 2015.
- [9] Dudley V, Kolb G, Sloan M, Kearney D, "SEGS LS2 solar collector-test results," *Tech. Rep.; Report of Sandia National Laboratories (SANDIA-94-1884); 1994.*
- [10] Capderou M., "Atlas Solaire de l'Algérie, Modèles Théoriques et Expérimentaux," Volume1, Tome 2, Office des Publications Universitaires, Algérie 1987.
- [11] R. Capdevila, O. Lehmkuhl, C.D. Pérez-Segarra, G. Colomer, "Turbulent natural convection in a differentially heated cavity of aspect ratio 5 filled with non-participating and participating grey media," *International Journal of physics: conference series*, 2011. Doi: 10.1088/1742-6596/318/4/042048.
- [12] M. M. Zdravkovich, "Flow around circular cylinders," volume 2. Oxford University Press, 2003.
- [13] Padilla Ricardo. V, Demirkaya. G, Goswami. D, Yogi, Stefanakos. E, Muhammad M. Rahman, "Heat transfer analysis of parabolic trough solar receiver," *Applied Energy* 88 (2011), pp. 5097-5110.
- [14] Raithby GD, Hollands K., "A general method of obtaining approximate solutions to laminar and turbulent free convection problems," *Advances in Heat Transfer* 1975, 11:265-315.
- [15] Churchill S, Chu H., "Correlating equations for laminar and turbulent free convection from a horizontal cylinder," *Int J Heat Mass Trans* 1975, 18(9), 1049-53.
- [16] Gnielinski V., "New equations for heat and mass transfer in turbulent pipe and channel flow," *International Chemical Engineering* 1976, 16(2), 359-63.
- [17] O. Garcia-Valladares and N. Velazquez, "Numerical simulation of parabolic trough collector: improvement using counter flow concentric circular heat exchangers," *International journal of heat and mass transfer*, Vol. 52 (3-4), 597-609 (2009).

La mastite granulomateuse idiopathique: Une entité à ne pas méconnaître

Mohamed Amine Azami, Iliass El Alami, Mounir Moukit, Abderrahmane Al Bouzidi, and Mohamed Oukabli

Service d'anatomie pathologique, Hopital Militaire Mohamed V d'Instruction, Rabat, Morocco

Copyright © 2017 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: La mastite granulomateuse idiopathique est une maladie inflammatoire rare, d'étiologie inconnue. Elle affecte la femme jeune, en période d'activité génitale. C'est une pathologie méconnue qui pose aux cliniciens et radiologues des difficultés diagnostiques, étant donné qu'elle mime souvent une mastite carcinomateuse tant sur le plan clinique que radiologique. Son diagnostic repose sur l'examen anatomopathologique et l'exclusion des autres causes de granulome. Sa pathogénie reste obscure mais le rôle des corynébactéries est discuté. Le traitement est médical associé à l'exérèse chirurgicale. Le pronostic de cette affection reste favorable. Nous rapportant un cas à travers lequel nous discutant les aspects, épidémiologiques, cliniques, diagnostiques, thérapeutiques et évolutifs de cette rare entité.

KEYWORDS: Mastite granulomateuse idiopathique; Diagnostic; Traitement.

INTRODUCTION

La mastite granulomateuse idiopathique (MGI) est une entité nosologique rare et peu connue. Son étiopathogénie reste à discuter. Elle se caractérise par la présence de lésions inflammatoires amicrobiennes du sein localisées aux lobules. Le diagnostic en est histologique permettant d'éliminer surtout un carcinome mammaire [1,2]. La prise en charge thérapeutique n'est pas codifiée et représente souvent un réel challenge du fait de son hétérogénéité clinique et évolutive, et de son retentissement sur la qualité de vie.

CAS CLINIQUE

Il s'agit d'une femme de 35 ans, sans antécédent pathologique particulier, sous contraception orale depuis plusieurs années, troisième geste troisième pare, qui consulte pour une masse du quadrant infero-interne droit (QIID). L'examen met en évidence une induration de l'ensemble du QIID sans nodule individualisable. Les aires ganglionnaires axillaires sont libres.

La mammographie (**figure 1**) met en évidence un surcroît de densité du sein droit, irréguliers, sans rétraction cutanée ni mamelonnaire, classée dans la catégorie 4 de la classification ACR de la densité mammaire, avec une opacité de contours lobulés à double composante opaque et claire entouré d'un liseré clair péri-lésionnel.

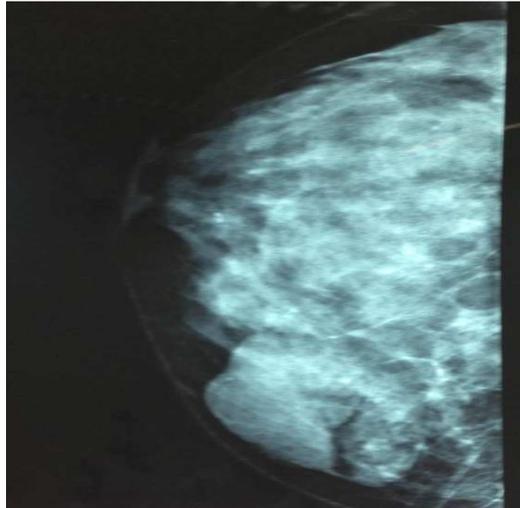


Figure 1 : Mammographie montre un sein de type 4 en terme de densité avec une opacité de contours lobulés

L'échographie (**figure 2**) objective une formation ovale hypoéchogène, hétérogène vascularisée du QIID mesurant 43x18 mm mais sans atténuation ni distorsion architecturale, classée BIRADS 3.



Figure 2 : Echographie mammaire : plage hypoéchogène, hétérogène du QIID mais sans atténuation ni distorsion architecturale: BIRADS 3

Une microbiopsie échoguidée est réalisée permettant de mettre en évidence un parenchyme mammaire dissocié par un infiltrat inflammatoire granulomateux comportant des granulomes épithélioïdes et giganto-cellulaires sans nécrose caséuse centrale concluant à une mastite granulomateuse (**figure 3**). La coloration de Ziehl et PAS étaient négatives. Les prélèvements bactériologiques sont négatifs. La radiographie de thorax et l'échographie abdominopelvienne étaient normales ; notamment, il n'y avait pas de lésion en faveur d'une sarcoïdose. Le diagnostic de mastite inflammatoire granulomateuse idiopathique était retenu. La patiente a eu une tumorectomie avec des suites simples sans récurrence sur 2 ans.

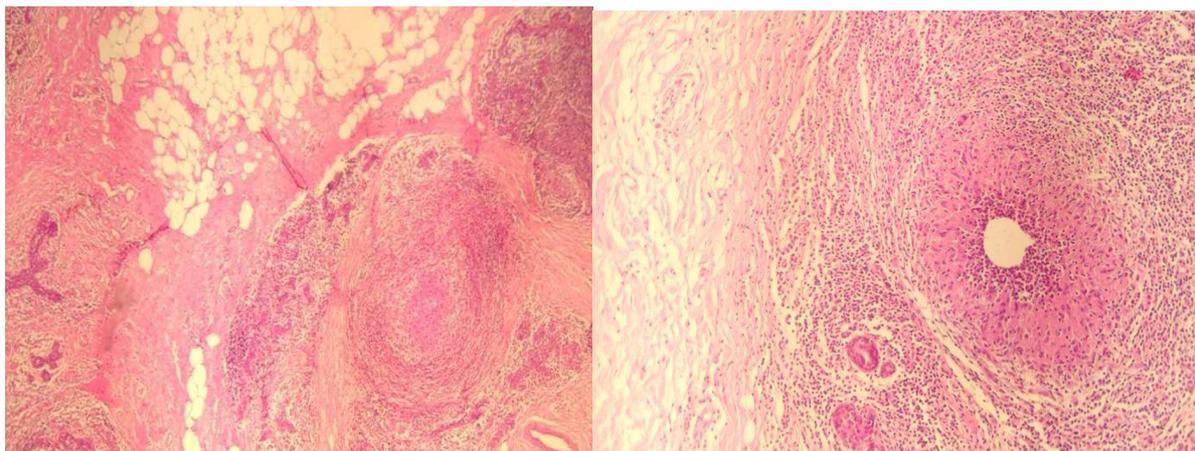


Figure 3 :

*(A)-Mastite granulomateuse idiopathique. Infiltrat granulomateux à tropisme lobulo-centrique (HES, objx10).
(B)-Mastite granulomateuse idiopathique. Infiltrat granulomateux centré sur un espace clair cerné d'une couronne lymphocytaire et de fibrose (HES, objx20).*

DISCUSSION

Le terme de « mastite granulomateuse » a été introduit initialement par Veysiere et al. en 1967 [3] qui étaient les premiers à décrire la MGI. Elle a été réellement individualisée, du point de vue clinique, histologique et évolutif par Kessler et Wolloch [4] en 1972.

ASPECTS CLINIQUES

La MGI se rencontre quasi-exclusivement chez les femmes, en période d'activité génitale [5]. Elle a été décrite exceptionnellement chez l'homme [6], chez des adolescentes et des femmes ménopausées [7,8]. Un lien avec la grossesse, l'allaitement [8,9] et la contraception œstroprogestative a été avancé mais n'a pas été prouvé [10]. La maladie débute classiquement par un ou plusieurs nodules inflammatoires de taille variable, habituellement unilatéraux et extra-aréolaires. La douleur est inconstante [9,11]. On observe volontiers des formes pseudotumorales, mimant un cancer avec une rétraction du mamelon et un aspect « en peau d'orange ». Ces nodules inflammatoires peuvent secondairement s'abcéder et fistuliser à la peau. Elle peut s'accompagner parfois d'adénopathies axillaires satellites et de signes généraux (fièvre, asthénie) [12]. Quelques cas rapportent l'association à des arthralgies et à un érythème noueux [13,14].

BIOLOGIE

Généralement il n'y a pas de syndrome inflammatoire et les prélèvements bactériologiques et mycobactériologiques sont négatifs. Un syndrome inflammatoire modéré et une surinfection peuvent être observés en cas d'abcédation. Sur le plan immunologique, des stigmates d'auto-immunité peuvent être détectés, mais ils sont rarement recherchés. Dans la seule série comprenant un bilan immunologique, six patients sur huit avaient une positivité du facteur rhumatoïde et deux des antinucléaires avec anti-ADN natif [15].

ASPECTS RADIOLOGIQUES

L'atteinte dans la MGI est typiquement unilatérale mais quelques cas d'atteinte bilatérale ont été rapportés [16, 17]. Les lésions peuvent intéresser n'importe quelle zone du parenchyme mammaire mais la région rétroaréolaire semble être la plus épargnée [18,19].

La sémiologie mammographique de la mastite granulomateuse n'est pas spécifique. Il s'agit le plus souvent d'une asymétrie de densité mal limitée, sans microcalcification ou distorsion architecturale [16, 18, 20]. Certains auteurs décrivent de multiples masses irrégulières, de petite taille, suspectes de malignité [16, 18, 21]. Ailleurs, il s'agit d'une masse à contours nets dans un sein grasseux, la mammographie peut même être normale en cas de seins denses [16, 22].

L'échographie mammaire retrouvait dans la majorité des cas, une masse hypoéchogène à contours flous, avec ectasies galactophoriques dans 59 % des cas [12]. Le doppler révèle une hyper-vascularisation des lésions et des tissus mammaires adjacents posant encore une fois un problème de diagnostic différentiel avec une lésion maligne [19, 23].

Les aspects en imagerie par résonance magnétique des mastites granulomateuses sont peu spécifiques [19]. L'IRM est indiquée principalement si des signes suggestifs ou évidents de malignité sur le plan morphologique. Il s'agit généralement d'une masse hétérogène à bords spiculés ou d'une plaque mal limitée en hyposignal T1 et T2 [22].

ASPECTS ANATOMOPATHOLOGIQUES

Le diagnostic de MGI est histologique. La cytoponction est peu rentable et source d'erreurs diagnostiques [24]. La biopsie est l'examen de référence. On observe classiquement des granulomes épithélioïdes sans nécrose caséuse, associés à un infiltrat inflammatoire polymorphe, constitué de plasmocytes, de lymphocytes et de polynucléaires neutrophiles. Point essentiel c'est que le tropisme de l'infiltrat inflammatoire est centré sur les lobules et la présence des espaces clairs pseudo-adipocytaires sont parfois observés au centre des granulomes (Figure 4).

L'aspect histologique de la MGI pose le problème de diagnostic différentiel avec la tuberculose, surtout dans un pays d'endémie, mais la prédominance des polynucléaires neutrophiles et l'absence de nécrose caséuse plaident en faveur d'une mastite granulomateuse [25-27]. La mastite carcinomateuse constitue le principal diagnostic différentiel, cependant l'histologie permet de reconnaître les lésions de la MGI. Un bilan étiologique doit être effectué pour éliminer les autres causes de mastite granulomateuse car la MGI est un diagnostic d'exclusion. Le diagnostic de la MGI se pose avec les mastites infectieuses bactériennes, parasitaires et mycosiques ainsi qu'avec les lésions granulomateuses non infectieuses (granulome lipophagique, sarcoïdose, mastite à plasmocyte, mastite lymphocytaire etc.). Il pose aussi le problème avec la sarcoïdose, le lupus et certaines vascularites systémiques. L'examen histologique permet de distinguer ces différentes pathologies [28,2].

PATHOGÉNIE

La pathogénie de la MGI reste méconnue. Un mécanisme auto-immun a été suggéré sur plusieurs arguments : association à des maladies auto-immunes, présence de manifestations systémiques (érythème noueux, arthralgies), existence de stigmates d'auto-immunité (facteur rhumatoïde, anticorps antinucléaires) et corticosensibilité [4]. Pour certains auteurs, la réaction inflammatoire granulomateuse serait plutôt liée à l'extravasation de substances galactophoriques dans le tissu conjonctif lobulaire, d'origine traumatique, infectieuse, toxique ou hormonale [17]. Le rôle pathogène d'agents infectieux tels que les corynébactéries lipophiles a notamment été avancé [29,30]. Ainsi, la mise en évidence de corynébactéries, en particulier *Corynebacterium kroppenstedtii*, dans le plus de 34 patientes suivies pour une MGI a récemment soulevé l'hypothèse d'un lien étiopathogénique entre cette bactérie et la maladie [30].

EVOLUTION

L'évolution de la MGI se fait volontiers sur un fond chronique. Elle est imprévisible, parfois spontanément favorable [31]. Généralement, elle alterne des poussées d'intensité variable, avec des périodes de rémission plus ou moins longues [32]. Certaines formes se caractérisent par des suppurations chroniques, abcédation et fistulisation. La fréquence des récives est variable selon les séries. La durée d'évolution de la maladie est difficile à apprécier, d'autant que des rechutes tardives sont décrites. Il n'y a pas d'association avec le cancer du sein [33].

TRAITEMENT

Le traitement de la MGI n'est pas codifié. Dans les formes indolentes, l'abstention thérapeutique doit se discuter du fait de l'évolution parfois spontanément favorable de la maladie [31]. La thérapeutique repose essentiellement sur la chirurgie qui consiste en une exérèse large des lésions précédée d'une corticothérapie visant à rétrécir et à limiter les lésions [5, 31,34-36]. Dans les formes invalidantes, la corticothérapie générale à 0,5–1 mg/kg par jour est habituellement indiquée en première intention avec une décroissance très lente [12, 15,37-39]. La colchicine a été exceptionnellement utilisée à visée immunomodulatrice et pourrait prévenir les récives [40]. La prise en charge des formes corticorésistantes ou corticodépendantes peut faire appel aux immunosuppresseurs (méthotrexate, azathioprine) [41]. L'antibiothérapie est prescrite en cas de surinfection microbiologiquement documentée et doit être guidée par l'antibiogramme. Des cas de rechutes ou de récives ont été rapportés plusieurs années après la période de guérison [21, 42,43]. Ceci impose une surveillance sur une période relativement longue après guérison de la maladie pour détecter les récives au tout début à fin d'éviter des gestes chirurgicaux itératifs.

CONCLUSION

La mastite granulomateuse est une affection inflammatoire chronique bénigne. Le contexte clinique, la variabilité de l'aspect en imagerie et essentiellement l'examen histologique permettent de redresser le diagnostic et d'adapter le traitement en évitant ainsi une chirurgie mutilante.

DÉCLARATION D'INTÉRÊTS

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

REFERENCES

- [1] Belaabidia B, Essadki O, El Mansouri A, Sqalli S. Mastite granulomateuse idiopathique. *Gynecol Obstet Fertil* 2002; 30:383–9.
- [2] Chabrol A, Beyne-Rauzy O, Adoue D. Mastite granulomateuse : problèmes diagnostiques et thérapeutiques. *Rev Med Interne* 2008; 29:110–1.
- [3] Veyssiere C, Vives M, Smadja A. Difficultés diagnostiques de la tuberculose mammaire. Le problème de la mastite granulomateuse. *Lille Chir* 1967;22:104-9.
- [4] Kessler E, Wolloch Y. Granulomatous mastitis: a lesion clinically simulating carcinoma. *Am J Clin Pathol* 1972; 58:642–6.
- [5] Bani-Hani KE, Yaghan RJ, Matalka II, Shatnawi NJ. Idiopathic granulomatous mastitis: time to avoid unnecessary mastectomies. *Breast J* 2004; 10:318–22.
- [6] Reddy KM, Meyer CE, Nakdjevani A, Shrotria S. Idiopathic granulomatous mastitis in the male breast. *Breast J* 2005; 11:73.
- [7] Ahmed R, Sultan F. Granulomatous mastitis: a review of 14 cases. *J Ayub Med Coll Abbottabad* 2006; 18:52–4.
- [8] Ocal K, Dag A, Turkmenoglu O, Kara T, Seyit H, Konca K. Granulomatous mastitis: clinical, pathological features, and management. *Breast J* 2010; 16:176–82.
- [9] Baslaim MM, Khayat HA, Al-Amoudi SA. Idiopathic granulomatous mastitis: a heterogeneous disease with variable clinical presentation. *World J Surg* 2007; 31:1677–81.
- [10] Al-Khaffaf B, Knox F, Bundred NJ. Idiopathic granulomatous mastitis: a 25-year experience. *J Am Coll Surg* 2008; 206:269–73.
- [11] Lacambra M, Thai TA, Lam CC, Yu AM, Pham HT, Tran PV, et al. Granulomatous mastitis: the histological differentials. *J Clin Pathol* 2011; 64:405–11.
- [12] Hovanessian Larsen LJ, Peyvandi B, Klipfel N, Grant E, Iyengar G. Granulomatous lobular mastitis: imaging, diagnosis, and treatment. *AJR Am J Roentgenol* 2009; 193:574–81.
- [13] Al-Khaffaf BH, Shanks JH, Bundred N. Erythema nodosum: an extramammary manifestation of granulomatous mastitis. *Breast J* 2006; 12:569–70.
- [14] Salehi M, Karimifar M, Salimi F, Mahzouni P. A case of granulomatous mastitis with erythema nodosum and arthritis. *Rheumatol Int* 2011; 31:
- [15] Ozel L, Unal A, Unal E, Kara M, Erdog̃ du E, Krand O, et al. Granulomatous mastitis: is it an autoimmune disease? Diagnostic and therapeutic dilemmas. *Surg Today* 2012; 42:729–33.
- [16] Memis A, Bilgen I, Ustun EE, Ozdemir N, Erhan Y, Kapkac M. Granulomatous mastitis: imaging findings with histopathologic correlation. *Clin Radiol* 2002; 57:1001-6.
- [17] Fletcher A, Magrath IM, Riddell RH, Talbot IC. Granulomatous mastitis: a re- port of seven cases. *J Clin Pathol* 1982; 35:941-5.
- [18] Han BK, Choe YH, Park JM, Moon WK, KO YH, Yang JH, et al. Granulomatous mastitis: mammographic and sonographic appearances. *AJR* 1999; 173: 317-20.
- [19] Tuncbilek N, Karakas HM, Okten OO. Imaging of granulomatous mastitis: assessment of three cases. *Breast* 2004; 3: 510-4.
- [20] Sabate JM, Clotet M, Gomez A, De las Heras P, Torrubia S, Salinas T. Radiologic evaluation of uncommon inflammatory and reactive breast disorders. *Radio Graphics* 2005; 25:411-24.
- [21] Yilmaz E, Lebe B, Usal C. mammographic and sonographic findings in the diagnosis of idiopathic granulomatous mastitis. *Eur Radiol* 2001; 11:2236-40.
- [22] Lee JH, Oh KK, Kim EK, Kwack KS, Jung WH, Lee HK. Radiologic and clinical features of idiopathic granulomatous lobular mastitis mimicking advanced breast cancer. *Yonsei Med J* 2006; 28; 47:78-84.

- [23] Engin G, Acunas G, Acunas B. Granulomatous mastitis gray scale and color Doppler sonographic findings. *J Clin Ultrasound* 1999; 27:1016.
- [24] Tse GM, Poon CS, Law BK, Pang LM, Chu WC, Ma TK. Fine needle aspiration cytology of granulomatous mastitis. *J Clin Pathol* 2003; 56:519–21.
- [25] Gabor C. Granulomatous lobular mastitis drug induced galactorrhea and blunt trauma. *Breast J* 1999; 5:398–403.
- [26] Join-Lambert O, Fraïtag S, Ribadeau-Dumas F, Leguern AS, Behillil S, Del Castillo FJ, et al. Is granulomatous mastitis a localized form of hidradenitis suppurativa *Eur J Dermatol* 2009; 19:513–4.
- [27] Shyamala CB, Prasad KRK, Gajamam RAO. Chronic granulomatous mastitis. Review of 26 cases with special reference to chronic lobular mastitis. *Indian J Pathol Microbiol* 1992; 35:38–43.
- [28] Lester SC. Differential diagnosis of granulomatous mastitis. *Breast J* 2004; 25:1915–9.
- [29] Binelli C, Lorimier G, Bertrand G, Parvery F, Bertrand AF, Verrielle V. Granulomatous mastitis and corynebacteria infection. Two case reports. *J Gynecol Obstet Biol Reprod* 1996; 25:27–32.
- [30] Taylor GB, Paviour SD, Musaad S, Jones WO, Holland DJ. A clinicopathological review of 34 cases of inflammatory breast disease showing an association between corynebacteria infection and granulomatous mastitis. *Pathology* 2003; 35:109–19.
- [31] Lai EC, Chan WC, Ma TK, Tang AP, Poon CS, Leong HT. The role of conservative treatment in idiopathic granulomatous mastitis. *Breast J* 2005; 11:454–6.
- [32] Ayeva-Derman M, Perrotin F, Lefrancq T, Roy F, Lansac J, Body G. Idiopathic granulomatous mastitis. Review of the literature illustrated by 4 cases. *J Gyne- col Obstet Biol Reprod* 1999; 28:800–7.
- [33] Rosa M. “Inflammatory” changes in breast: how to provide a better care to our patients. *Arch Gynecol Obstet* 2010; 281:901–5.
- [34] Jorgensen MB, Nielsen DM. Diagnosis and treatment of granulomatous mastitis. *Am J Med* 1992; 93:97–101?
- [35] Azlina AF, Ariza Z, Anni T, Hisham AN. Chronic granulomatous mastitis: diagnostic and therapeutic considerations. *World J Surg* 2003; 27:515–8.
- [36] Boufettal H, Mahdaoui S, Noun M, Hermas S, Samouh N. Mastite granulomateuse idiopathique avec bonne évolution sous traitement médical. *Rev Med Interne* 2011;32:26–8.
- [37] Pouchot J, Foucher E, Lino M, Barge J, Vinceneux P. Granulomatous mastitis: an uncommon cause of breast abscess. *Arch Intern Med* 2001; 16:611–2.
- [38] DeHertogh DA, Rossof AH, Harris AA, Economou SG. Prednisone management of granulomatous mastitis. *N Engl J Med* 1980; 303:799–800.
- [39] Sakurai K, Fujisaki S, Enomoto K, Amano S, Sugitani M. Evaluation of follow-up strategies for corticosteroid therapy of idiopathic granulomatous mastitis. *Surg Today* 2011;41:333–7.
- [40] Plouvier B, De Coninck P, Bouton Y, Wohlschies E, Thouvenin T, Busches- Seraphin B. Mastite granulomateuse associée à une dermo-hypodermite nodulaire. *Ann Med Interne* 1994; 145:265.
- [41] Raj N, Macmillan RD, Ellis IO, Deighton CM. Rheumatologic and breasts: immunosuppressive therapy for granulomatous mastitis. *Rheumatology* 2004; 43:1055–6.
- [42] Salem A, Bennaceur R, Driss M, Mehiri S, Mrad K, Rajhi H, et al. Imagerie des mastites granulomateuses idiopathiques. *Imagerie de la Femme* 2008;18:46–54.
- [43] Kocaoglu M, Somuncu I, Ors F, Bulakbasi N, Tayfun C, Ilkbahar S. Imaging findings in idiopathic granulomatous mastitis: a review with emphasis on magnetic resonance imaging. *J Comput Assist Tomogr* 2004; 28:635–41.

Analyse de l'incidence financière de l'apparition des Epidémies d'Ebola et de Lassa sur la chasse à la battue dans les périphéries de la commune de Parakou au Nord-Bénin

[Analysis of the financial effect of the appearance of Ebola and Lassa Epidemics on the beat hunting in the peripheries of the Municipality of Parakou in Northern Benin]

K. P. Degla¹, S. Mama Soule², G. E. Kpadonou³, O. R. Adjibi⁴, and G. Aguenounon³

¹Département d'Economie et de Sociologie Rurales, Faculté d'Agronomie, Université de Parakou (UP), Bénin

²Faculté des Sciences Economiques et de Gestion, UP, Bénin

³Département d'Aménagement et de Gestion des Ressources Naturelles, Faculté d'Agronomie, (UP), Bénin

⁴Inspection forestière de Parakou, Direction Nationale des Eaux, Forêts et Chasse du Bénin

Copyright © 2017 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 beat hunting represents an important source for food and income for populations in the northern Benin. But, although the bush meat is well appreciated by the population, it could also be a source for diseases then the wildlife is a great reserve of several dangerous microorganisms. In that respect the appearance of Ebola and Lassa virus in Benin had affected the consumption of bush meat and thereby the beat hunting. The analysis of this economic activity in the context of the Lassa epidemic was the subject of the present study. Based on a random sample of 150 hunters and using the "Before-and-After" approach, the results showed that the averages of gross margins in the absence and in the presence of the epidemic were 126 314 F and 140 489 F CFA respectively. With a probability of $p=0.20$, the difference of means is however no significant, suggesting, as also showed by the score of the hunters' perception on the impact of the epidemic, that the Lassa epidemic had only a limited financial effect on their hunting activity; hoping thereby that their activity again increases as soon as the psychosis generated by Ebola and Lassa virus would disappeared. The indifference of hunters to the risks linked to these epidemics calls however, for the need of deeper future studies on the perception and motivation of hunters for hunting in periods of sanitary crisis in order to prevent public health catastrophes in the study area.

KEYWORDS: Lassa and Ebola Epidemic, Beat hunting, farm income, Benin

RESUME: La chasse à la battue constitue une source d'alimentation et de revenus pour les populations du Nord-Bénin. S'il est admis que la « viande de brousse » est appréciée par plus d'un, il n'en demeure pas moins qu'elle soit source de maladies car la faune sauvage est un réservoir de zoonoses. Ainsi les événements d'apparition du virus de Lassa et les rumeurs d'apparition de celui d'Ebola au Bénin, ont affecté la consommation de la viande de brousse et par conséquent la chasse à la battue. L'analyse de cette activité économique dans le contexte d'épidémie de Lassa a fait l'objet de la présente étude. Basé sur un échantillon aléatoire de 150 chasseurs et utilisant l'approche « Avant-et-Après » les résultats de l'étude révèlent que les marges brutes moyennes avant et après l'épidémie sont respectivement de 126 314 F et de 140 489 F CFA. Avec une probabilité $p=0,20$, la différence de moyennes reste toutefois non significative, révélant comme la perception des chasseurs sur l'impact de l'épidémie, que l'apparition de l'épidémie n'a eu qu'une incidence financière limitée sur leur activité de chasse dont ils espèrent de nouveau la croissance dès la fin de la psychose créée par les épidémies d'Ebola et de Lassa. L'indifférence des chasseurs face au danger de ces épidémies suggère toutefois la nécessité d'études plus approfondies sur la

perception et la motivation des chasseurs à chasser en période de crise sanitaire afin de prévenir des catastrophes de santé publique dans la zone d'étude.

MOTS-CLEFS: Epidémie Ebola et Lassa, Chasse à la battue, Revenu d'exploitation, Bénin.

1 INTRODUCTION

Au Bénin, les rumeurs et frayeurs créées par l'annonce d'une certaine apparition du virus Ebola ont été à l'origine d'une grande psychose générale alimentée pendant longtemps par les populations rurales et urbaines. Malgré le démenti porté par le Ministre de la santé face à cette annonce, les Béninois sont restés pendant longtemps méfiants par rapport aux manières de vivre en société du fait du risque de contamination par proximité. L'autre nouvelle faisant état de l'apparition d'un virus frère d'Ebola qu'est le Lassa dans le Nord-Bénin avait amplifié l'effroi. Désormais, il était devenu difficile de se serrer les mains pour se saluer comme à l'accoutumé. Dans les églises, la communion se donnait dans les mains ; la consommation de la viande de brousse était interdite ; l'observation de mesures d'hygiène était recommandée dans les écoles. On avait donc observé un ensemble de changements brusques et radicaux de comportement au sein de la population, qui a eu sans doute des impacts directs sur certaines activités économiques telles que la chasse à la battue. En effet, la chasse est l'une des plus vieilles activités au cours de laquelle les animaux sauvages sont prélevés directement dans la nature. De cette pratique, l'Homme, jadis, satisfaisait ses besoins en protéines animales par la cueillette sans d'énormes investissements financiers. Aujourd'hui cette activité est devenue une activité économique alimentée par une demande croissante en viande de brousse du fait de la poussée démographique dans les villes que dans les campagnes. S'il est vrai que la viande de brousse est une source de protéines [1], [2], [3] très bien appréciée par les populations à cause de son originalité et ses caractères organoleptiques particuliers, il est cependant de plus en plus admis que la faune sauvage est un réservoir de zoonoses telles que les virus Ebola, Lassa, Margurg, et autres [4], [5]. La consommation de la viande de primates contaminés constitue effectivement un risque majeur favorisant le passage à l'Homme de nombreuses maladies virales graves : lentivirus - HIV, HTLV - ou filovirus-Ebola, Margurg et Lassa [6], [7], [8]. Ainsi récemment (12 Novembre 2014), l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) dénombrait 5 160 décès dus au virus Ebola pour 14 098 cas recensés dans huit (8) pays en Afrique de l'Ouest [9]. Face aux rumeurs circulant dans la même période au Bénin, un communiqué de presse des autorités sanitaires du pays porta un démenti sur une quelconque apparition du virus Ebola au Bénin, mais mentionna toutefois l'apparition du virus Lassa au Nord-Bénin dans la zone de Tanguiéta-Matéri-Cobly avec 14 cas enregistrés dont deux (2) confirmés et huit (8) décès. Accompagnée des mesures préventives recommandées pour la population et dont l'une était l'interdiction de consommer la viande de brousse, cette annonce toucha directement la chasse à la battue qui assurait l'offre du gibier sur le marché. Si la frayeur a gagné un certain nombre de consommateurs informés qui ont limité leur préférence au gibier, nombreux sont cependant ceux qui étaient sous-informés et qui ignoraient l'interdiction en vigueur ou tout simplement la bravaient en continuant de consommer la viande de brousse. D'un autre côté les acteurs de la chasse à la battue, se considérant comme dépositaires d'une activité ancestrale ayant survécu à tant d'événements passés, lointains ou récents, n'étaient pas convaincus que l'apparition subite d'une quelconque maladie pourrait être attribuée aux fruits de l'activité devenue pour eux une source importante de revenus d'appoint. Face à cette situation, l'engouement des jeunes hommes, organisés en groupes, armés de gourdin, de fusils et accompagnés de chiens se dirigeant vers les zones de chasse de la commune de Parakou n'avait pas totalement cessé. Les risques réels d'épidémie et la psychose créée d'une part et l'importance de la chasse à la battue pour la population d'autre part amènent alors à se demander si cette activité n'avait-elle pas réellement perdu de son importance économique? S'intéressant à cette question, la présente étude s'est proposée de faire une analyse économique de la chasse à la battue dans ce contexte d'apparition de l'épidémie Lassa au Nord-Bénin et plus précisément dans la commune de Parakou. Les résultats d'une telle étude sur la chasse à la battue qui est un domaine jusque-là relativement peu exploré dans la littérature économique au Bénin constitueront une base de données que pourrait utiliser tout chercheur ou décideur politique intéressé par les questions de développement et surtout des impacts d'épidémie sur les activités économiques en milieu rural.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MILIEU D'ETUDE

L'étude a été menée dans la commune de Parakou au Nord-est du Bénin. Parakou est la troisième ville à statut particulier du Bénin. Il s'étend sur 441 Km² avec une population estimée en 2012 à 206 667 habitants répartis dans 41 quartiers et villages, regroupés en trois Arrondissements. La commune de Parakou est limitée au Nord par la commune de N'Dali et

entourée au Sud, à l'Ouest et à l'Est par la commune de Tchaourou. Elle se situe à 9°21' de latitude Nord, et 2°36' de longitude Est, à une altitude moyenne de 350 m et présente un relief « assez modeste » [10]. Les communes environnantes (N'Dali, Tchaourou et Pèrèrè), encore constituées de quelques galeries forestières représentent des zones de chasse privilégiées des chasseurs de Parakou (cf. figure 1).

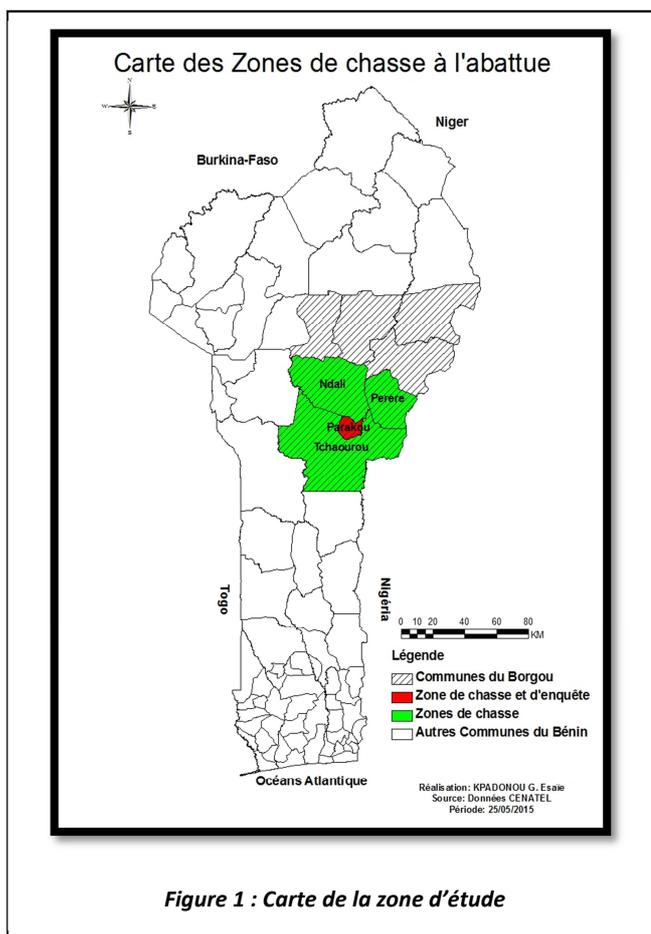


Figure 1 : Carte de la zone d'étude

2.2 POPULATION D'ETUDE ET ECHANTILLONNAGE

L'étude s'est intéressée aux différents acteurs impliqués dans la chasse à la battue dans la commune de Parakou et quelques personnes ressources du service de la Santé Publique. Il s'agit des agents des Services des Eaux, Forêts et Chasse, des agents de la Direction Départementale de l'Environnement, des Médecins du Centre Hospitalier et Universitaire des Départements de Borgou-Alibori et des chasseurs qui sont les principaux acteurs de cette activité.

A l'aide du GPS (Global Position System) les lieux et sites de chasse d'une part, et les quartiers/villages de résidence des différents chasseurs de la ville de Parakou ont été localisés, permettant ainsi d'élaborer les cartes de chasse et d'habitation des chasseurs à l'aide du logiciel ArcGIS. Sur la base du niveau de peuplement en chasseurs, 13 quartiers et village de résidence des chasseurs ont été sélectionnés. Avec l'aide des chefs-chasseurs, les petits réseaux de chasseurs des quartiers/villages à étudier sont identifiés. Dans chacun de ces quartiers et villages un minimum de dix chasseurs a été choisi au hasard (tableau 1), portant ainsi la taille de l'échantillon à 150 chasseurs répartis dans ces 13 quartiers et villages de Parakou.

Tableau 1 : Quartiers et Villages enquêtés

Nr. Village	Quartiers/Villages étudiés	Nombre total de chasseurs étudiés	Nombre total de chasseurs étudiés en %
1	Agbada	11	7
2	Arafat	12	8
3	Baka	10	7
4	Banikani	15	10
5	Guerma	11	7
6	Lemanda	10	7
7	Madina	11	7
8	Niman	10	7
9	Sinangourou	10	7
10	Titirou	14	9
11	Tourou	10	7
12	Yarakinni	11	7
13	Zongo-Zénon	15	10
		150	100

2.3 COLLECTE ET ANALYSE DES DONNEES

Plusieurs techniques de collecte de données ont été utilisées, dont l'observation participante, les entretiens semi-structurés et les «focus groups». L'observation participante a consisté à participer activement à la chasse en suivant l'équipe de chasse sur les différents sites de chasse. Ensuite sur la base de questionnaires des entretiens individuels ont été réalisés avec les chasseurs sélectionnés. Les données collectées étaient relatives à l'origine et aux conditions de chasse, les méthodes/techniques et outils de chasse, l'organisation et la pratique de la chasse, le nombre d'animaux abattus, les revenus issus de la chasse avant et après les épidémies, les utilisations faites des ressources issues de la chasse, etc. Les données collectées ont été traitées et analysées avec le logiciel R

2.4 APPROCHE D'ANALYSE UTILISEE

Pour mettre en évidence l'incidence financière de l'apparition de l'épidémie du virus Lassa sur l'activité de chasse à la battue, une analyse basée sur l'approche « Avant-et-Après » a été effectuée. Cette approche qui est généralement utilisée pour mesurer l'impact d'un projet ou d'une innovation s'oppose à l'approche « Avec-et-Sans » [11], [12], [13], [14]. Ainsi cette approche utilise les informations issues du projet ou des producteurs impliqués dans le projet en comparant les données actuelles avec la base de données relative aux conditions avant le projet. La seconde par contre compare les conditions d'un emplacement du projet ou celles des producteurs impliqués dans le projet avec d'autres en dehors du projet [15]. Cette dernière approche qui nécessite deux échantillons d'une même population essaie non seulement d'identifier et d'estimer les coûts et bénéfices qui peuvent survenir avec le projet ou innovation mais aussi de les comparer avec la situation telle qu'elle serait sans le projet ou innovation [12]. Malgré cet avantage, c'est cependant l'approche « Avant-et-Après » qui est la plus pertinente pour la présente étude puisqu'il s'agit ici de deux périodes d'événement distinctes vécues par la même population de chasseurs. Sur cette base la marge brute qui est un indicateur de performance financière a été utilisée, en comparant la marge brute résultant de la chasse à la battue avant l'apparition de l'épidémie avec celle après cette apparition.

Partant du compte d'exploitation de l'activité de chasse exercée par chaque acteur i pendant les saisons de chasse, les marges brutes ont été estimées comme suit :

$$MB_i = \sum_{j=1}^m (PBV_{ij} - CV_{ij}) \quad (1)$$

Avec MB_i désignant la marge brute issue de la chasse entreprise par le chasseur i dans une saison donnée, PBV_{ij} la valeur du produit brut issu de chaque espèce j abattue par le chasseur i au cours de la saison de chasse et CV_{ij} les charges variables qui sont des charges opérationnelles liées à l'abattage de chaque espèce j par le chasseur i.

Dans l'équation (1) PBV_{ij} est estimée par :

$$PVB_{ij} = NTA_{ij} * P_{ij} \quad (2)$$

Avec NTA_{ij} représentant le nombre de têtes d'espèce j abattue par le chasseur i et P_{ij} le prix unitaire de l'espèce j appliqué par le chasseur i .

En désignant par u_1 et u_2 les moyennes respectives des différentes marges brutes résultant de l'activité de chasse avant et après l'apparition de l'épidémie de Lassa, l'estimation de l'incidence financière de l'effet d'apparition de l'épidémie de Lassa a consisté à comparer les deux moyennes. Ainsi pour chaque marge brute, l'hypothèse nulle H_0 a été testée contre l'hypothèse alternative H_1 .

$$\text{Soit : } H_0: u_1 - u_2 = 0 \text{ contre } H_1: u_1 \neq u_2 \quad (3)$$

Dans la pratique, le logiciel statistique utilisé (ici R) donne la valeur de la statistique t de Student, son degré de liberté (ddl) et sa probabilité de signification P . De même, il fournit la valeur de la différence des 2 moyennes. Si le P donné est inférieur au seuil critique de 5% et que la différence des 2 moyennes est positive, alors nous pouvons conclure que l'apparition de l'épidémie de Lassa a une incidence financière sur la chasse à la battue dans la zone d'étude.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 CARACTERISTIQUES SOCIOECONOMIQUES DES CHASSEURS

Les chasseurs vivent en réseaux dans les différents quartiers et villages, constituant ainsi des foyers de chasseurs de la ville de Parakou. Pour 71% des chasseurs sélectionnés la chasse représente une activité secondaire et saisonnière car n'intervenant que pendant la saison sèche. La plupart (51%) des chasseurs sont des agriculteurs ou des artisans. Les chasseurs qui sont des apprenants (étudiants ou élèves) ne représentent que 21%. La chasse à la battue est pratiquée majoritairement par des jeunes hommes (86%) dont l'âge varie 18 et 40 ans. Le nombre moyen d'années d'expérience dans l'activité de chasse varie entre 12 et 30 ans. La majorité des chasseurs (67%) sont de l'ethnie « Bariba », suivie des « Dendi » (15%) et des « Lokpa » (7%). Dans la plupart de ces ethnies dominantes, la chasse est considérée comme une pratique ancestrale léguée de génération en génération. Les clans ou familles de chasseurs reconnus dans la zone d'étude sont par exemple les « Djatos » ou « Lokpa » venus de Ouaké et les *Kossou* qui sont des *Baribas* de Ginagourou. Le niveau d'instruction varie en fonction de l'activité principale du chasseur. Ainsi 17% des chasseurs ne sont pas instruits. Par contre 54% d'entre eux ont un niveau primaire ou secondaire. Dans le groupe des instruits on retrouve 9% d'élèves et étudiants en formation dans la ville de Parakou.

3.2 ORIGINE, PRATIQUES ET ORGANISATION DE LA CHASSE A LA BATTUE DANS LA ZONE D'ETUDE

La chasse à la battue telle que pratiquée à Parakou et environs était une activité traditionnelle et culturelle à l'origine. Son histoire remontait à des milliers d'années où le chasseur était une personne couronnée d'honneur dans la société traditionnelle pour sa bravoure, sa capacité à affronter les animaux sauvages les plus féroces et à les abattre. Les chasseurs étaient supposés détenir plusieurs secrets et pouvoirs mystiques et étaient ainsi consultés lors des événements malheureux ou lorsqu'apparaissait un mauvais présage dans la société traditionnelle. Ceci fût illustré lors des enquêtes sur le terrain par le récit de « *Gôbi ALLAGBE* » l'un des chefs chasseurs de la région de Parakou et gardien de la tradition qui confia : « qu'un jour, lorsqu'apparut une grande épidémie attaquant les jeunes gens de la région, le roi des chasseurs ordonna à ces derniers d'aller dans la brousse "taper" la végétation pour que le sort soit conjuré de la société. En tapant et fouillant la végétation, les jeunes hommes malades ramenaient de la brousse des gibiers tout en constatant effectivement la disparition de leur mal. Ainsi, fût institutionnalisée la chasse à la battue afin de conjurer tous autres mauvais sorts pouvant perturber l'harmonie de la société traditionnelle ». Jusqu'à devenir troisième ville à statut particulier du Bénin, cette activité de chasse à la battue est restée une pratique traditionnelle qui a lieu à Parakou et environs pendant la saison sèche de Janvier à mi-Mai. A cette occasion on assiste à de grands regroupements de jeunes hommes habillés traditionnellement, portant des talismans, des machettes, gourdins, transportant des chiens sur des engins à deux roues, et allant à la chasse. Avant l'ouverture de la chasse, les chefs chasseurs la préparent en trois étapes : (1) Ils préparent des produits/potions magiques à partir des queues ou autres parties du corps des animaux abattus et des arbres fétiches afin de protéger les autres chasseurs et affaiblir les animaux ; (2) Ils se rendent sur la tombe des anciens chefs chasseurs pour certains sacrifices et pour implorer leurs bénédictions ; ensuite(3), ils se rendent chez le "Séko", le chef-forgeron pour y prendre aussi ses bénédictions. Après les préparatifs, suit l'annonce de la date d'ouverture de la chasse par les crieurs publics mandatés à cet effet par les rois chasseurs. A l'ouverture de la chasse, les chasseurs se donnent rendez-vous à un lieu de regroupement, et ceci tous les jours sauf les vendredis (au total 26 fois par mois), d'où ils partent en groupe et par confrérie. Une fois sur les lieux de chasse, les engins à deux roues sont garés et surveillés à titre payant par un membre du groupe. Le chef chasseur appelé encore

“sounon” prononce des incantations et donne le signal pour l’entrée en brousse. Dans la brousse, les chasseurs tapent la végétation pour effaroucher les animaux qui sont ensuite poursuivis avec l’aide des chiens. L’abattage des animaux est individuel ou en groupe. Lorsque l’abattage est en groupe, une fois l’animal atteint, le gibier revient au chasseur ayant aperçu premièrement l’animal et ayant fait appel aux autres. Durant toute la durée de la chasse les chasseurs sont guidés par le son du tam-tam du “sounon”. Tout ceci fait de la chasse une activité culturelle dont la tradition est restée profondément enracinée dans la population de Parakou.

3.3 ZONES, OUTILS DE CHASSE ET ESPECES ABATTUES

L’ensemble des confréries des chasseurs de Parakou a identifié 100 sites de chasse répartis dans quatre (4) différentes communes : Parakou, N’dali, Tchaourou et Pèrèrè. Ces sites sont visités durant la saison de chasse selon un calendrier de chasse précis. Les sites de chasse identifiés sont concentrés plus dans la commune de Tchaourou (56%) et Parakou (24%) que dans les autres communes du fait de la distance séparant ces sites du centre-ville de Parakou qui est la zone de résidence des chasseurs. Parmi tous ces sites ce sont cependant ceux de Tchaourou (13 sites) et de N’dali (12 sites) qui sont les plus riches en gibier et offrant potentiellement les meilleurs résultats de chasse (cf. figure 2)

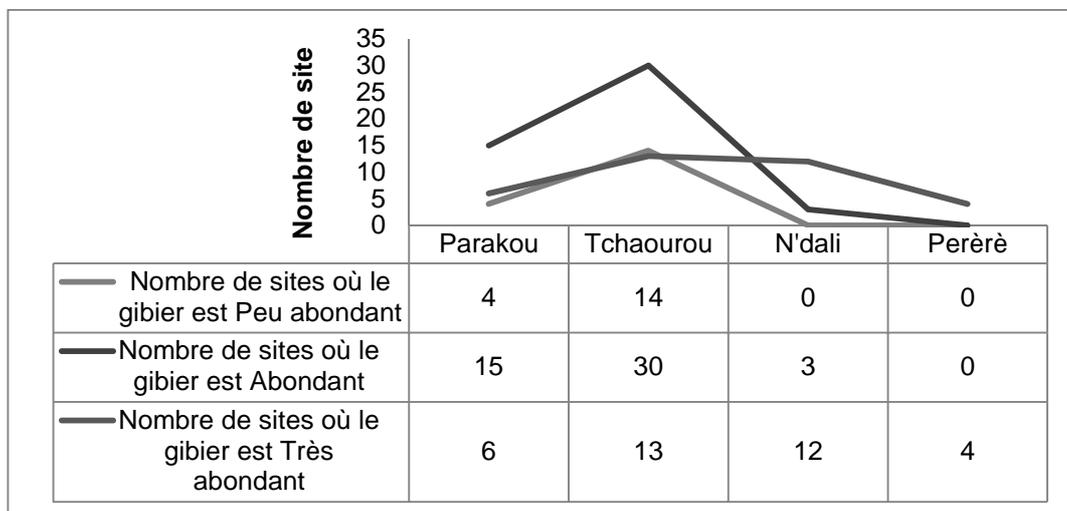


Figure 2 : Indice d’abondance des sites de chasse dans les différentes communes de chasse

Les outils de chasse sont divers et varient selon le pouvoir d’achat du chasseur. On retrouve des fusils, gourdins, machettes, lance-pierres, et autres qui sont pour la plupart de fabrication artisanale. Les fusils nécessitant un investissement initial relativement plus important et des munitions à acquérir à chaque occasion de chasse n’étaient détenus que par environ 2% des chasseurs tandis que les gourdins et les machettes se retrouvaient presque chez la plupart des chasseurs à cause de leur faible coût d’acquisition (cf. figure 3). Détenus par 40% des chasseurs, les chiens de chasse sont des animaux de compagnie qui sont élevés et dressés pour la chasse par leur propriétaire. Certains chasseurs prétendent que leurs chiens étaient rendus mystiques, ce qui leur conférait une habileté et une grande efficacité à la chasse. Bien que ce pouvoir mystique reste difficile à vérifier, on pouvait toutefois remarquer au cours de la chasse qu’il y avait des chiens très doués et qui faisaient preuve d’une très remarquable efficacité. A priori, de telle qualité pourrait être tout simplement le résultat d’un bon dressage.

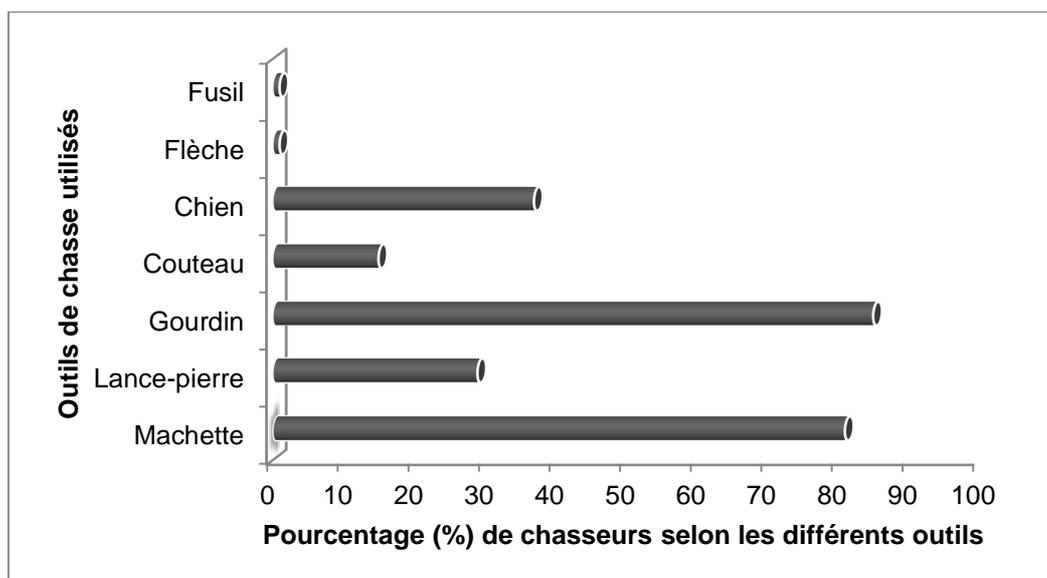


Figure 3 : Outils de chasse à la battue

Les espèces les plus recherchées et les plus abattues étaient les francolins (*Francolinus bicalcaratus*), les pintades sauvages (*Numida meleagris*), le lièvre (*Lepus crawshayi*), l'Aulacode (*Thryonomys gregorianus*). Le tableau 2 renseigne sur le nombre moyen de chacune de ces espèces abattues par chasseur et par saison de chasse.

Tableau 2 : Nature et nombre des différentes espèces abattues

Espèces abattues	Noms scientifiques	Nom local en Bariba	Nombre moyen de têtes abattues/ chasseur	Fréquence relative des chasseurs abattant
Francolin	<i>Francolinus bicalcaratus</i>	Kouchou	100	85
Pintade	<i>Numida meleagris</i>	Gonna	53	5
Lièvre	<i>Lepus crawshayi</i>	Chatabourou	98	33
Aulacode	<i>Thryonomys gregorianus</i>	Gounon-Kpandou	27	6
Ecureuil	<i>Xerus erythropus</i>	Minmou	21	3
Seba	<i>Python sebae</i>	Koussouerou	27	10
Biche	<i>Odocoileus virginianus</i>	Ninmou	11	1

Bien qu'à l'origine la chasse à la battue ait un caractère mystico-thérapeutique, elle est cependant de nos jours pratiquée pour diverses autres raisons. Pour 55% des chasseurs de l'échantillon la chasse à la battue est une activité culturelle de loisir. Pour d'autres (22%) elle est pratiquée à des fins lucratives (Tableau 3)

Tableau 3 : Répartition des chasseurs selon leurs objectifs de chasse

Objectifs de chasse	Fréquence absolue	Fréquence relative (en %)
Plaisir/loisir	14	9
But lucratif	33	22
Subsistance	21	14
Culturel	82	55
Total	150	100

L'utilisation du gibier varie d'un chasseur à un autre mais ne dépend pas forcément de l'objectif de départ du chasseur. Ainsi il arrive qu'un chasseur dont l'objectif de départ ne fût pas à caractère lucratif, vende le gibier abattu au lieu de l'autoconsommer. Il ressort des résultats qu'il y a trois utilisations possibles du produit de chasse. L'autoconsommation, la vente ou l'autoconsommation et la vente. Durant la période d'étude c'était la vente qui avec 58% des chasseurs enquêtés était l'utilisation prédominante, suivie de l'autoconsommation et de la vente avec 33% (cf. Tableau 4).

Tableau 4 : Répartition des chasseurs selon la destination du gibier

Destination du gibier	Fréquence absolue	Fréquence relative (en %)
Autoconsommation	14	9
Vente	87	58
Autoconsommation et vente	49	33
Total	150	100

Il faut noter que de façon consensuelle une partie du gibier doit revenir au chef chasseur. Bien que ne participant pas directement à la chasse, le chef chasseur est supposé jouer un rôle mystique en protégeant les autres chasseurs au cours de la chasse. Pour ce faire les autres chasseurs sont tenus de récompenser le chef chasseur en lui donnant une partie du gibier abattu, qui peut-être la tête du gibier lorsqu'il s'agit d'un gros gibier, ou d'un certain nombre d'oiseaux abattus. 25% des chasseurs sélectionnés avaient par exemple rémunéré le chef chasseur par la tête de gibiers, 48% des répondants par contre avaient donné un tiers des oiseaux comme récompense. Le reste des chasseurs (27%) avait ignoré son engagement en s'abstenant de récompenser le chef chasseur par quoi que ce soit.

3.4 CIRCUITS DE COMMERCIALISATION DE LA VIANDE DE BROUSSE DANS LA ZONE D'ETUDE

Le produit de chasse encore appelé « viande de brousse » suit un circuit de commercialisation autant simple que complexe suivant le nombre des acteurs impliqués comme l'ont fait aussi remarqué [16], [17], [18], [19] dans leur étude respective. La vente peut commencer sur le lieu de chasse où certains chasseurs jouent le rôle de collecteur en achetant de leurs collègues la viande qu'ils revendent ensuite à des restaurants de la ville ou encore à des bonnes dames qui interviennent comme intermédiaires entre ces chasseurs et les consommateurs que sont les restaurants ou ménages. De la même façon ces femmes intermédiaires vont parfois directement sur le lieu de chasse en court-circuitant les chasseurs collecteurs. Le circuit le plus simple reste celui où les chasseurs vont eux-mêmes livrés leurs produits de chasse à des restaurants ou à des ménages. Dans l'un ou dans l'autre cas la destination finale de la viande de brousse reste les ménages individuels ou les restaurants de ville (cf. figure 4)

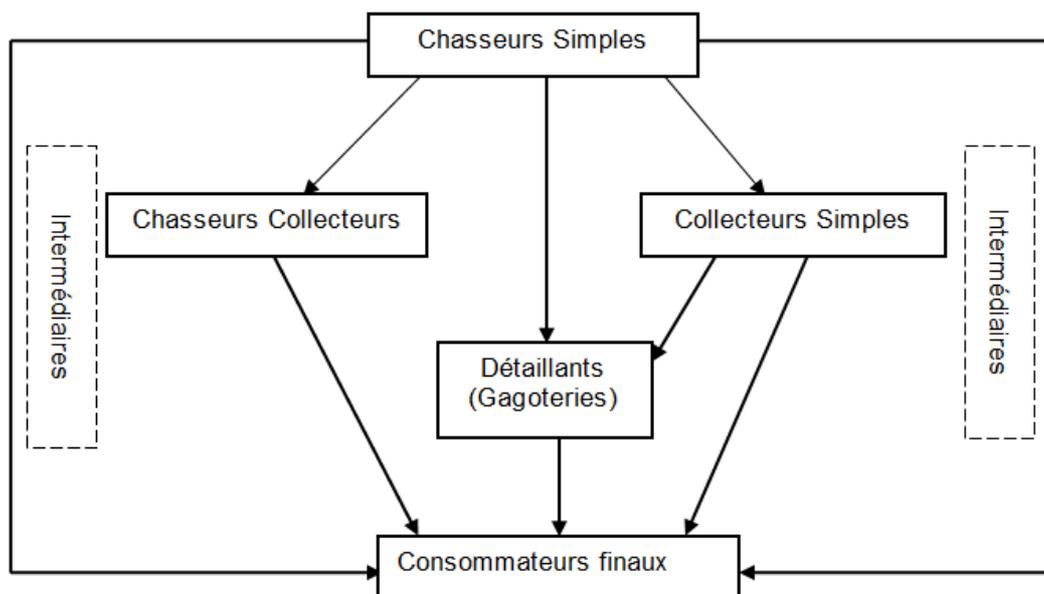


Figure 4 : Circuit de commercialisation de la viande de brousse à Parakou

3.5 ANALYSE DES MARGES BRUTES AVANT ET APRES LES EPIDEMIES

L'influence de l'apparition des épidémies d'Ebola et de Lassa sur la chasse restait marquée surtout au niveau des prix de vente de la viande de brousse. Généralement le prix du gibier varie en fonction de l'espèce et surtout de la distance séparant les sites de chasse de la ville de Parakou, lieu de résidence habituelle des chasseurs. Ainsi lorsque la chasse a lieu sur les sites de chasse de la commune de Pèrèrè qui restent relativement éloignés de Parakou (environ 65 km), le gibier revient plus cher. Mais indépendamment du site, l'apparition des épidémies avait toutefois fait chuter le prix au niveau de toutes les espèces, même si l'importance de la baisse du prix était variable d'une espèce à une autre. La baisse la plus forte était de l'ordre de 10% et se rapportait au prix du gros gibier tel que les Biches. Les autres petites espèces telles les Francolins, les Lièvres et Pintades n'avaient connu qu'une baisse de prix se situant entre 5-10% par rapport à la situation avant l'apparition des épidémies (cf. figure 5).

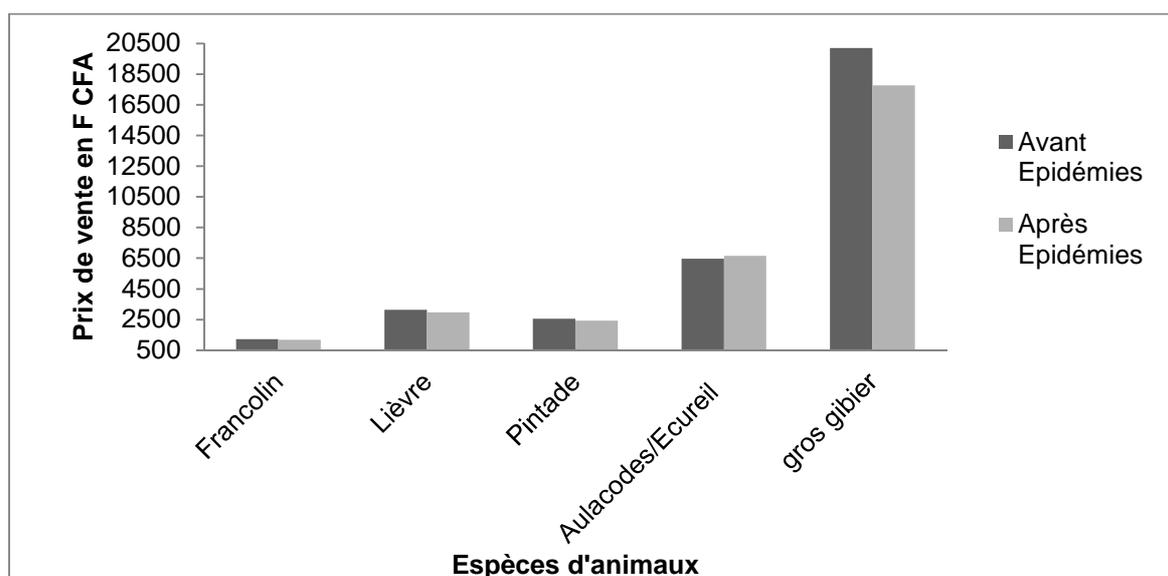


Figure 5 : Prix de vente de la viande de brousse selon la période d'épidémie

Les dépenses liées à l'activité de chasse variaient d'un chasseur à un autre, et selon les lieux de chasse. Les dépenses se résumaient aux frais de carburant pour l'engin à deux roues (moto), les frais d'entretien de la moto et les frais pour achat des outils de chasse. En moyenne, un chasseur dépensait en termes de charges opérationnelles environ $46\,727 \pm 29\,385$ F CFA par saison de chasse.

Les marges brutes ou valeurs ajoutées créées variaient également selon le chasseur, c'est-à-dire de l'intensité de chasse et de la quantité de gibiers abattus au cours de la saison par le chasseur. La marge brute moyenne avant les épidémies d'Ebola et de Lassa était de $140\,489 \pm 114\,984$ F CFA par chasseur et par saison de chasse. Après l'apparition des épidémies d'Ebola et de Lassa, cette marge n'avait été que de $126\,314 \pm 102\,652$ F CFA, soit une chute d'environ 10% par rapport à la situation d'avant épidémie (cf. Tableau 5).

Tableau 5 : Marges brutes avant et après l'apparition des épidémies d'Ebola et de Lassa dans la zone d'étude

Paramètres	Moyennes	Ecart type
Marge brute avant épidémie	140 489	114 984
Marge brute après épidémie	126 314	102 652

Si à partir de ce résultat on admet qu'il y a une différence de moyennes entre les marges brutes ou valeurs ajoutées créées par l'activité de chasse avant et après l'apparition des épidémies d'Ebola et de Lassa, on peut toutefois remarquer que cette différence n'est pas significative comme le prouve le test T de Student, révélant une probabilité de significativité $p=0,2003 (> 5\%)$ (cf. Tableau 6)

Tableau 6 : Résultats du Test de Student sur les marges brutes

	T value	dF	Pr (>F)
Différence de Moyennes avant et après épidémie	1,0629	275,572	0,2003

Ce résultat confirme la perception de la majorité des chasseurs par rapport à l'impact de l'apparition des épidémies d'Ebola et de Lassa sur leur activité. En effet 74% des chasseurs interviewés estiment que les épidémies n'ont eu aucune influence sur eux, contre 26% qui attribuent la baisse de leur activité à la psychose créée par les épidémies d'Ebola et de Lassa sur la population. De ces derniers 49% perçoivent l'influence des épidémies en termes de baisse de la clientèle, 28% en termes de baisse du prix de vente du gibier et 13% en termes d'arrêt momentané de la chasse (cf. Tableau 7).

Tableau 7 : Influences liées aux épidémies et perçues par les chasseurs

Influences perçues	Fréquence absolue	Fréquence relative
Arrêt momentané de la chasse	5	13
Baisse du prix de vente	11	28
Diminution de clients	19	49
Indifférence des clients	4	10
Total	39	100

Il ressort de ces résultats que la majorité des chasseurs ne se sentaient pas concernés par les informations et recommandations provenant des autorités sanitaires et relatives à l'apparition des virus d'Ebola et de Lassa. Ces chasseurs estimaient au contraire que leur activité de chasse ne devait pas en souffrir. Au-delà d'un possible déficit dans la communication de l'information relative aux épidémies par les autorités sanitaires, ce qui aurait rendu les chasseurs sous informés et par conséquent indifférents aux risques liées à ces épidémies, les chasseurs eux-mêmes bravaient par conviction personnelle l'existence des épidémies. Au nombre des raisons qui sous-tendaient leur conviction il y avait des raisons aussi subjectives qu'objectives. Parmi les raisons subjectives il y avait la croyance chez 55% des chasseurs concernés que les virus n'existaient nulle part et encore moins à Parakou. On pouvait aussi noter que la valeur culturelle et mystique attribuée à la chasse ainsi que le caractère d'activité de loisir avaient joué un rôle non négligeable chez respectivement 8% et 28% des chasseurs qui avaient d'ailleurs poursuivi leur activité de chasse. De façon objective, la chasse était considérée comme une source de ressources financières non négligeable dont dépendaient 10% des chasseurs, parmi lesquels on retrouvait la majorité des élèves et étudiants qui d'ailleurs ne cherchaient pas à arrêter leur activité.

Mais quel que soit le type de motivation on remarque cependant que l'utilisation faite du gibier par les chasseurs repose sur des bases pratiques à connotation économique. En effet si le butin n'est pas vendu il est systématiquement autoconsommé, servant ainsi à réduire les dépenses qui devraient être faites pour l'approvisionnement en viande du ménage. Ce qui permet de dégager de liquidités servant à satisfaire d'autres besoins du ménage et parfois à financer de petits investissements tels que l'achat d'appareils électronique (téléphone portable), de matériels de construction (tôles, ciment etc.) ou à financer la scolarisation des enfants. De ce point de vue 83% des chasseurs reconnaissent indépendamment de leurs motivations l'utilité économique que leur procure l'activité de chasse, pendant que 17% ne s'appuient que sur des satisfactions morales ou culturelles. Ces résultats qui mettent en évidence l'importance économique et sociale de la chasse à la battue dans la zone d'étude confirment les observations faites par [20], [21], [22] dans leur étude respective. La chasse à la battue étant une activité traditionnelle de cueillette et peu exigeante en investissements monétaires, donc à main d'œuvre intensive, valorise la main d'œuvre familiale à un moment donnée de l'année où le coût d'opportunité de cette main d'œuvre est presque nul en milieu rural. Tous ces avantages qui corroborent les résultats des études faites par un certain nombre d'auteurs tels que Chardonnet [23], [24], [25], [26], [27] et mettant chacun en évidence l'importance de la chasse dans l'économie des ménages en Afrique, jouent un rôle déterminant dans l'engagement d'un bon nombre de chasseurs dans la chasse à la battue, qui peut toute façon, se révéler à un moment donné comme une activité à hauts risques pour la santé publique au niveau national que régional. Ainsi dans un souci de préserver la santé publique, des études approfondies seraient nécessaires pour mieux analyser la perception des chasseurs sur l'apparition des épidémies et leurs motivations à agir en ces périodes de crise sanitaire.

4 CONCLUSION

Du fait de son importance alimentaire, économique, sociale et culturelle la chasse à la battue représente pour les populations au Nord-Bénin et surtout dans la commune de Parakou une activité très appréciée. Le caractère saisonnier de cette activité et le faible niveau d'investissement requis pour l'entreprendre font d'elle un événement traditionnel unique rassemblant et occupant les jeunes de tous âges à un moment donné de l'année où le coût d'opportunité de la main d'œuvre familiale reste très faible en milieu rural. Mais supposé être la source principale des épidémies virales d'Ebola qui avaient sévi dans les pays voisins, le gibier, produit de chasse, commença par susciter une certaine méfiance. La psychose fût aggravée par l'affirmation de l'apparition de l'épidémie du virus Lassa au Nord-Bénin, dans la région de Tanguéta-Matéri-Cobly, zone non loin de la commune de Parakou. Les communiqués de presse dans presque toutes les langues locales du pays et relatives aux précautions et recommandations dont notamment l'interdiction de consommer la viande de brousse laissaient supposer un impact négatif sur la chasse à la battue dans cette commune connue comme fief traditionnel de cette activité de chasse. Les résultats de la présente étude qui s'intéresse à cet impact ont cependant révélé que l'incidence financière de l'apparition des épidémies d'Ebola et de Lassa sur la chasse à la battue pour les 150 pratiquants sélectionnés était restée très mitigée. On a assisté certes à une diminution des prix du gros gibier dont notamment ceux des Biches de l'ordre de 10% et de ceux du petit gibier tel que les Pintades, les Francolins, les lièvres et autres de 5% à 10% conduisant à une baisse de la Marge brute ou valeur ajoutée de 10% après l'apparition des épidémies. Comparée à la valeur ajoutée réalisée par les chasseurs avant l'apparition des épidémies, la différence n'est cependant pas significative au seuil de probabilité de 5%, révélant que l'apparition des épidémies d'Ebola et de Lassa n'avait que faiblement impacté la chasse à la battue dans la zone d'étude. Durant l'épidémie la plupart des chasseurs (55%) étaient restés insensibles aux risques liés à leur activité, considérée comme culturelle et mystique et qui ne devrait souffrir d'aucune menace. Pendant que certains chasseurs attribuaient à la chasse une valeur mystique, d'autres considéraient la chasse comme une activité de loisir ou mieux une source de revenus d'appoint. Au niveau de tous les chasseurs l'importance économique de la chasse transparaît à travers les diverses utilisations du gibier qui pouvait-être soit directement vendu ou autoconsommé. L'autoconsommation qui servait à satisfaire directement les besoins en protéines des ménages, créait cependant un effet de substitution permettant de réaliser des économies utilisées pour la satisfaction d'autres besoins du ménage. Mais s'il est vrai que la chasse est une activité de grande importance pour les acteurs, les risques d'épidémies liées à cette activité ne doivent cependant pas, dans une perspective de santé publique, être sous-estimés. Des études plus approfondies doivent être entreprises pour mieux analyser la perception des populations par rapport à ces épidémies dont les conséquences économiques, sociales, humaines et environnementales peuvent être catastrophiques pour un pays ou une région déjà exposée aux vicissitudes de la pauvreté, et ce faisant élaborer des approches et mécanismes d'information et de sensibilisation plus efficaces à l'endroit des populations.

REFERENCES

- [1] G. J. S. Dei, "Hunting and gathering in a Ghanaian rain forest community," *Ecology of Food and Nutrition*, 22: 225-243, 1989.
- [2] H. Ellenberg, and H. H. Roth, *La viande de gibier, une ressource naturelle des forêts humides d'Afrique de l'Ouest*, Eschborn, Allemagne, 2000.
- [3] W. Delvingt, *La chasse villageoise : synthèse régionale des études réalisées durant la première phase du programme ECOFAC au Cameroun, au Congo et en République Centre Africaine*. AGRECO-CTFT, 2001.
- [4] L. Gbaguidi, *Santé publique et maladies émergentes d'origine animale : cas de l'Afrique*. Présentation scientifique, Agropolis 10-12 Décembre 2007, Montpellier, France.
- [5] Rodhain, *L'origine animale des maladies infectieuses émergentes : la plupart, toutes peut-être proviennent de la faune sauvage : rongeurs, oiseaux, chauve-souris...*, 2010.
- [6] S. Bahuchet, *La filière "viande de brousse" : Les Peuples des forêts tropicales aujourd'hui* : volume II, Une approche thématique, Commission européenne-APFT, pp.331-363, 2000, Les Peuples des forêts tropicales aujourd'hui - rapport du programme APFT. <hal-00547945> <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00547945>
- [7] C. Gasquet, *Une géographie de la fièvre hémorragique à virus Ebola : représentations et réalités d'une maladie émergente au Gabon et en République du Congo*. Thèse de Doctorat en géographie humaine à l'Université Paris Ouest Nanterre la défense, 2010.
- [8] P. Gilles, L. Guillaume, and L. Ludovic, *Ebola : première épidémie en Afrique de l'Ouest, Février 2014-14 Aout 2014 et après ?* SMIT TENON/APHP – UPMC, 2014.
- [9] OMS, *Relevé épidémiologique hebdomadaire No. 10, 2015, 90, 89-96 du 6 Mars 2015, 90e ANNÉE*. <http://www.who.int/wer>, 2015.

- [10] PDC, (Plan du Développement Communal), Rapport annuel, Parakou, Bénin, 2004.
- [11] S. Bauer, *Konzeptstudie : Evaluierung Zukunftsinitiative Rheinland-Pfalz*. Professur für Projekt- und Regional Planung, Universität Giessen, Deutschland, 120 p., 2000
- [12] J. P. Gittinger, *Economic Analysis of Agricultural Projects*. 2nd ed., Baltimore and London, 505 p., 1982.
- [13] H. Gregersen, and A. Contreras, *Evaluation économique des impacts des projets forestiers*, Etude FAO forêt 106, Rome, 125 p., 1994
- [14] P. K. R. Nair, *An introduction to Agro-forestry*, Dordrecht/Boston /London, 499 p, 1993
- [15] A. J. Yabi, *Agricultural projects and sustainable development of rural areas in Benin: impact assessment, participation and adoption decisions*, These Doctorat, Justus-Liebig-Universität Giessen, Allemagne, 2004.
- [16] P. A. Anadu, P. O. Elamah and J. F. Oates, "The bushmeat trade in Southwestern Nigeria: a case study". *Human Ecology* 16(2): 199-208., 1988.
- [17] A. Kalivesse, *L'approvisionnement des Marchés de Bangui en viande de Brousse*. In Revue Nature et Faune, Vol.7 n° 3; FAO Accra, 1991.
- [18] M. Puit, *Etude de la commercialisation de la viande de brousse dans la région continentale Rio Muni, Guinée Equatoriale*. Institut vétérinaire tropical. Liège, Université de Liège: 38, 2003.
- [19] M. B. Heritier, *Etude de la filière de commercialisation de la viande de brousse à Kinshasa*, Mémoire de Licence, Université de Kinshasa, Congo, 2010.
- [20] D. S. Wilkie, and J. F. Carpenter, "Bushmeat hunting in the Congo basin: an assesement of impacts and options of mitigation," *Biodiversity and conservation*, 8:927 955., 1999
- [21] M. Dittrich, and S. Eissing, *Ressources non utilisées, ressources perdues: tourisme cynégétique et élevage d'animaux sauvages au service de la conservation de la nature et du développement – des idées venues du Bénin*. In: La durabilité et ses différents visages. ISBN 978-3-925064-53-1, 2008.
- [22] N. Maha, *Analyse des impacts économiques, sociologiques et écologiques de la chasse sportive dans la région du nord-Cameroun*, Mémoire de Master complémentaire en gestion des ressources animales et végétales en milieux tropicaux, Université de Liège, Belgique, 2013.
- [23] P. Chardonnet, *Faune sauvage africaine. La ressource oubliée*. Tome 1. Luxembourg, 1995
- [24] C. Fargeot, and S. Dieval, "La consommation des gibiers à Bangui, quelques données économiques et biologiques", *canopéé n°18*, pp.5-7, 2000.
- [25] P. A. Lindsey, R. Alexander, M. G. L. Mills, S. S. Romañach, and R. Woodroffe, "Wildlife viewing preferences of visitors to protected areas in South Africa: implications for the role of ecotourism in conservation". *Journal of Ecotourism* 6: 19-33, 2007.
- [26] C. Fargeot, *Le commerce de la viande de chasse en Afrique Centrale*. Etude d'un marché-porte : le PK 12 à Bangui (RCA), 2008.
- [27] C. Fargeot, *Gestion de la chasse villageoise et préservation des ressources cynégétiques dans le bassin du Congo*, XIII Congrès forestier mondial, Buenos Aires, Argentina, 18-23 Octobre, 2009.

Electrochemical Studies on Ion Pairs Formation of Sodium Diethyldithiocarbamate in Water

Nasr Hussein El-Hammamy and Haitham Ahmed El-Araby

Chemistry Department, Faculty of Science, Alexandria University, Egypt

Copyright © 2017 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 conductance data of sodium diethyldithiocarbamate (NaDDC) in water solutions at various temperatures (25, 30, 35 and 40°C) are presented. The results were construed by applying the Fuoss-Onsager equation to obtain the parameters: equivalent conductance at infinite dilution (Λ_o), the distance of closest approach (\tilde{a}) and association constant (K_A). In the light of the solvent separated-ion pair model, the K_A trend is discussed. A comparison was done between the value of \tilde{a} and the sum of calculated electrostatic Stokes' radii R^+ and R^- . Both of thermodynamic functions (ΔH° , ΔG° , ΔS°) and the activation energy (ΔE_s) were determined; the Λ_o values were noticed to increase gradually with the dramatic increase in temperature referring to less solvation or higher ions mobility. Negative values of Gibbs free energy change ΔG° for (NaDDC) indicate that the association process is preferable than the dissociation process. The positive value of (ΔH°) points to that the association process is endothermic. Entropy change (ΔS°) values were positive which means that the solvation of ion-pair decreases emulated to that of the free ion.

KEYWORDS: Sodium diethyldithiocarbamate, limiting equivalent conductance (Λ_o), ion association, activation energy and thermodynamic functions.

INTRODUCTION

Studying the transport and thermodynamic properties of electrolyte solutions is important for its industrial applications in several chemical processes such as: environmental applications (e.g. chemical waste disposal), electrochemical processes (corrosion or electrolysis), hydrometallurgical processes, production of energy sources, separation techniques (solution crystallization, bioseparations) and supercritical technologies (e.g. synthesis in supercritical fluids and destroying of hazardous agents). [1-3]

Measuring the transport properties as conductance at low concentrations helps in exploring the ionic solvation besides obtaining reliable values of conductance at infinite dilution. [4] These properties are affected by (i) size of the ions, (ii) any modulation in the structure of the solvent and (iii) strong ion-solvent interactions. Conductivity method is used to test the process water quality in those applications which require ultrapure water as in microelectronics, pharmaceutical, waste water treatment, sea water desalination, etc. [5,6]

The electrical conductivities study of dilute solutions whether for salts or complexes is considered important method for studying the ion-pair or multiple-ion association in aqueous solutions, non-aqueous or mixed ones [7-10]. Furthermore, measuring conductivity was used to study the solute-solvent interaction of some electrolytic solutions and estimate the hydration free energy [11]. The aim of the present work is to determine sodium diethyldithiocarbamate (NaDDC) conductance values that measured in water at various temperatures (25, 30, 35 and 40°C). The nature of the ion-ion and ion-solvent interaction for NaDDC were discussed by evaluating the limiting equivalent conductance (Λ_o), the association constant (K_A) and (\tilde{a}) which expresses the solvation. The effect of temperature mutation on the association constant has been studied. Thus, the thermodynamic functions (ΔH° , ΔG° , ΔS°) and activation energy (ΔE_s) were obtained.

Dithiocarbamates are important organic compounds used in many applications to a large degree and are produced in large amounts around the world. They display worthy biological effects containing antibacterial and antifungal activities besides acting as antioxidant [12]. They have an essential role in agriculture [13-17] and act as linkers in synthesis organic solid phase.[18-21]. They are used in industrial rubber processing [22-24] and in techniques related to controlled radical polymerization as well. [25-28] Because they have the capability to bind with metal, they act as enzymes inhibitors. Dithiocarbamates are utilized in medicinal chemistry and have been applied in the treatment of cancer [29-31], also have been upheld in the treatment of acute nickel carbonyl poisoning. [32] Sodium diethyldithiocarbamate has been used as an inhibitor of acquired immune deficiency syndrome progression. [33]

EXPERIMENTAL

Sodium diethyldithiocarbamate is Analar analytical reagent "BDH", Conductivity water obtained by passing ordinary distilled water from a tin still over a 60 cm long **Elgastat deionizer** and guarded against contamination with atmospheric CO₂ by soda lime tubes. Its specific conductance (κ_0) at varied temperatures (25, 30, 35 and 40 °C) amounted to (1.51–1.73 × 10⁻⁶) ohm⁻¹cm⁻¹. All solutions were prepared by weight. NaDDC was weighed on microbalance which reads to ± 0.1 mg. Dilution into the cell was executed by dropping the solvent via weighing pipette. The experimental values of conductance were measured by Conductivity Bridge instrument model: Crison GLP31 (Conductivity Measurement error ≤0.5% and the reproducibility: ±0.1%) and a cell with bright platinum electrodes has a nominal cell constant for dilute solutions (K=0.1 cm⁻¹). The conductivity meter was calibrated with three KCl conductivity standard solutions (0.001 M, EC=147 μS cm⁻¹ at 25.0 °C; 0.01M, EC=1413 μS cm⁻¹ at 25.0 °C and 0.1 M, EC=12.88 mS cm⁻¹ at 25.0 °C) supplied by Crison. The temperature is kept constant to within ±0.1°C using a water ultra thermostat. The dielectric constants (D25°) = 78.54, (D30°) = 76.73, (D35°) = 74.80, (D40°) = 73.15, respectively. In all calculations, the used solvent constants were taken as stated [34-36], i.e., densities (d25°) = 0.99707 g · cm⁻³, (d30°) = 0.99568 g · cm⁻³, (d35°) = 0.99406 g · cm⁻³, (d40°) = 0.99220 g · cm⁻³, respectively, the viscosities (η25°) = 0.8903 × 10⁻² P, (η30°) = 0.7975 × 10⁻² P and (η35°) = 0.7194 × 10⁻² P, (η40°) = 0.6531 × 10⁻² P, respectively.

RESULTS AND DISCUSSION

A- CONDUCTANCE OF SODIUM DIETHYLDITHIOCARBAMATE IN WATER AT SEVERAL TEMPERATURES:

The measured equivalent conductance data are shown in **Tables (1-2)**. By plotting the extrapolation of Λ against C^{1/2}, an approximate value of Λ_0 was obtained. More precise values of Λ_0 were resulted from the following Fuoss-Kraus-Shedlovsky (F.K.S) equation:

$$1 / \Lambda S_{(z)} = 1 / \Lambda_0 + C \Lambda S_{(z)} f_{\pm}^2 / K_D \Lambda_0^2 \quad (1)$$

Table 1: Conductance of sodium diethyldithiocarbamate in water at 25 and 30°C

10 ⁴ C ^{*(a)}	Λ^{**}	10 ⁴ C ^{*(b)}	Λ^{**}
1.5583	97.714	1.6303	107.912
1.3983	98.601	1.4900	108.811
1.2747	99.297	1.3698	109.599
1.1673	99.863	1.2703	110.473
1.0816	100.29	1.1900	111.200
1.0019	100.88	1.1102	111.627
0.9365	101.41	1.0390	112.302
0.8800	101.67	0.9822	112.914

Table 2: Conductance of sodium diethyldithiocarbamate in water at 35 and 40°C

$10^4 C^{*(c)}$	Λ^{**}	$10^4 C^{*(d)}$	Λ^{**}
1.6817	109.43	2.2939	94.896
1.5447	110.53	2.1006	97.012
1.4249	111.61	1.9239	99.113
1.3211	112.58	1.7873	100.70
1.2371	113.44	1.6573	102.62
1.1590	114.52	1.5543	104.09
1.0889	115.09	1.4686	105.19
1.0265	115.69	1.3808	106.66

equiv L⁻¹

ohm⁻¹ equiv⁻¹ cm²

(a) Results at 25°C.

(b) Results at 30°C.

(c) Results at 35°C.

(d) Results at 40°C.

Where K_D is the dissociation constant and $S_{(z)}$ is a function of z called Shedlovsky's function that was tabulated by Daggett. The z value could be determined from the expression:

$$z = \alpha (C\Lambda)^{1/2} / \Lambda_0^{3/2} \quad (2)$$

Where α is the limiting tangent (Onsager slope). The plot of $1/\Lambda S_{(z)}$ versus $(C\Lambda S_{(z)} f^2)$ gives $1/\Lambda_0$ as the intercept and $1/K_D \Lambda_0^2$ as the slope. More accurate values of Λ_0 , $J(a)$, \hat{a} and K_A were obtained from Fuoss-Onsager equation. [37] The starting Λ_0 value was resulted from Fuoss-Kraus-Shedlovsky equation by the assist of specific computer program that was programmed on an IBM-PC. The desired accuracies in these calculations are ± 0.02 for Λ_0 ; ± 2 for (J less than 200), ± 5 for (J with values range from 200 to 1000) and ± 10 for (J more than 1000).

The standard deviation σ_Λ was calculated using the equation [38]:

$$\sigma_\Lambda = \frac{\{\sum (\Lambda \text{ calculated} - \Lambda \text{ observed})^2\}^{1/2}}{(N - 1)^{1/2}} \quad (3)$$

Where N is the number of experimental points.

Fig. 1 displays the variation of J with \hat{a} for sodium diethyldithiocarbamate in water at 25, 30, 35 and 40°C. Through the knowledge of the average value of J , The average value of \hat{a} could be calculated by interpolation. This J value was obtained from the computer reading, where J is being a function of \hat{a} and has the following equation [37]:

$$J = \sigma_1 \Lambda_0 + \sigma_2 \quad (4)$$

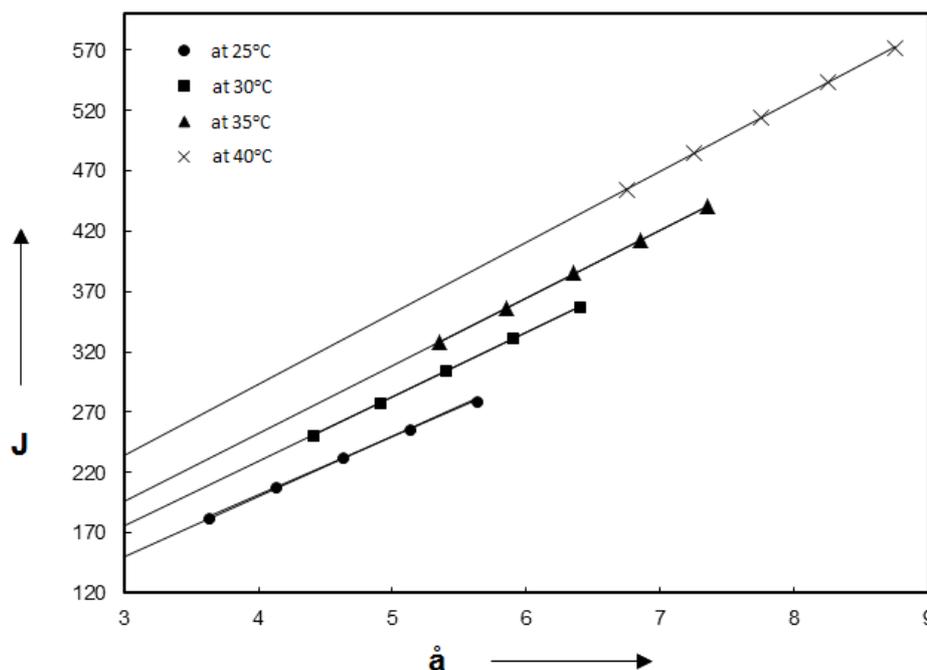


Fig. 1: Variation of J and \tilde{a} for sodium diethyldithiocarbamate in water at 25, 30, 35 and 40 °C

Where σ_1 and σ_2 are the functions of J . The derived constants are represented in **Table 3** and it is observed that with increasing the temperature, the Λ_0 values increase. The values of K_A increase with increasing the temperature where the dielectric constant of solvents decreases with increasing the temperature as reported in literature [34-36] thus, Ion association occurs.

Table 3: The characteristic parameters for sodium diethyldithiocarbamate in water at 25, 30, 35 and 40°C derived from Fuoss-Onsager equation

Temperature	Λ_0 (ohm ⁻¹ equiv ⁻¹ cm ²)	J	K_A	\tilde{a} (Å)	σ_A
25 °C	108.41	241.81	721.84	4.84	0.063
30 °C	122.97	304.16	925.87	5.40	0.101
35 °C	130.28	383.74	1301.6	6.34	0.111
40 °C	144.92	497.32	3475.6	7.47	0.086

The trend of K_A in the present work was explained in the light of the U term as represented in the following equation [39]:

$$\ln K_A = \ln (4 \pi N_A \tilde{a}^3 / 3000) + e^2 / \tilde{a} DkT + U \quad (5)$$

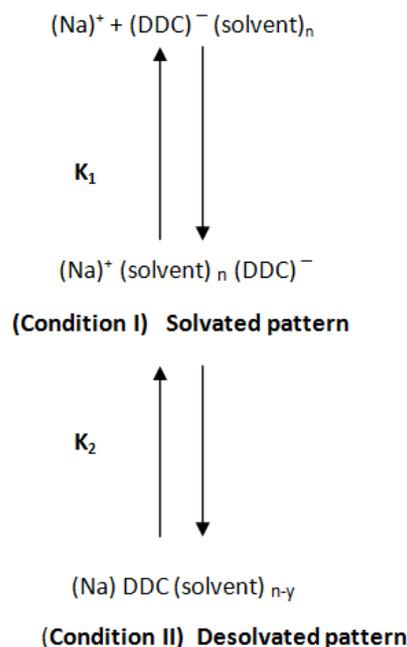
$$\text{Where } U = \Delta S / k - E_s / kT \quad (6)$$

$\Delta S / k$ is the entropy Boltzman constant ratio which explains the eventuality of the orientation of the solvent molecules around the free ions and E_s / kT is an energy relationship which includes the energy of the solvent molecules with respect to the free ions and ion-pairs. In case of water in **Table 4** the U term increases with increasing the temperature, i.e. the entropy term is more predominant than ion-dipole term for sodium diethyldithiocarbamate.

Table 4: Calculated values of K_2 and U for sodium diethyldithiocarbamate in water at 25, 30, 35 and 40°C

Temperature	K_A	K_1	K_2	U
25 °C	721.84	1.248	577.574	6.361
30 °C	925.87	1.500	616.105	6.425
35 °C	1301.6	2.014	645.144	6.471
40 °C	3475.6	2.788	1245.407	7.128

Eventually, the solvent separated ion-pair model can be applied [40]. In this model a multiple-step association was suggested as illustrated **scheme 1**:



Where y = the number solvent molecules that escaped from solvation.

Thus, the association constant was given by the expression:

$$K_A = K \Sigma \frac{(C_{(\text{ion-pairs})})}{(C_{(\text{Na})^+})(C_{(\text{DDC})^- (\text{solvent})_n})} = K_1 (1 + K_2) \quad (7)$$

Where $K_A = K \Sigma$ is obtained from the conductance measurements and since $K_1 = 4 \pi N \tilde{a}^3 e^b / 3000$ then K_2 can be calculated and $b = e^2 / \tilde{a} D T k$

In case of sodium diethyldithiocarbamate in water at different temperatures, the results compiled in **Table 4** indicated that K_2 increases with increasing the temperature, i.e. ion-pair favored the desolvated pattern (condition II) than the solvated pattern (condition I).

RADII OF IONS

The electrostatic radius ($R^+ + R^-$) was given by **Stokes' equation**:

$$R^\pm = \frac{0.8194 \times 10^{-8}}{\lambda_o^\pm \eta_o} \quad (8)$$

Where λ_o^+ or λ_o^- are obtained from the intercept of the straight line, resulting from the plots of Walden product $\Lambda_o \eta_o$ versus the reciprocal of the molecular weight as previously discussed. [41]

From the data in **Table 5**, it could be noticed that **In case of water** at **25, 30, 35 and 40°C**, the values of \tilde{a} were greater than electrostatic radii ($R^+ + R^-$) obtained from Stokes' equation. This was due to the solvation of ions.

Table 5: Calculation of the radii of the ions for sodium diethyldithiocarbamate in water at 25, 30, 35 and 40°C

Temperature	Λ_0 ⁽¹⁾	$\lambda_- \eta_0$ ⁽²⁾	$\lambda_+^{(1)}$	$\lambda_-^{(1)}$	R^+ (Å)	R^- (Å)	$R^+ + R^-$	\tilde{a} (Å)
25°C	108.41	0.5191	50.10	58.31	1.837	1.578	3.415	4.84
30°C	122.97	0.5304	56.46	66.51	1.820	1.545	3.365	5.40
35°C	130.28	0.4948	61.50	68.78	1.852	1.656	3.508	6.34
40°C	144.92	0.5008	68.24	76.68	1.839	1.636	3.475	7.47

(1) $\text{ohm}^{-1} \text{equiv}^{-1} \text{cm}^2$

(2) $\text{ohm}^{-1} \text{equiv}^{-1} \text{cm}^2 \rho$

B- THERMODYNAMIC STUDIES OF SODIUM DIETHYLDITHIOCARBAMATE IN WATER FROM CONDUCTANCE MEASUREMENTS:

It is evident from **Table 6** that, the values of Λ_0 increase regularly with increasing the temperature for sodium diethyldithiocarbamate, indicating lower solvation or greater mobility of the ions in the solvent system studied. This is due to the fact that, the increase in thermal energy causes variance in the vibrational, rotational and translational energy of molecules which leads to higher frequency and hence, farthest ionic mobility [42]. Moreover, the association constant (K_A) values increase with increasing the temperature, due to the decrease in dielectric constant of the medium [43].

Measuring the ionic conductance depends on the mobility of the ions. So, it is totally sensible to deal with the conductance data in the same manner to that one which related to the processes occur with variation of temperature [43], i.e.

$$\Lambda_0 = A e^{-\Delta E_s / RT} \quad \text{Or} \quad \log \Lambda_0 = \log A - (\Delta E_s / 2.303RT), \quad (9)$$

Where A is the frequency factor, R is the ideal gas constant and ΔE_s is the Arrhenius activation energy of transport processes.

By plotting $\log \Lambda_0$ versus $1/T$ as shown in **Fig. 2**, the slope ($-\Delta E_s/2.303R$) is obtained from which the ΔE_s value was computed and recorded in **Table 6**. From the table, the activation energy (ΔE_s) is positive for sodium diethyldithiocarbamate in water solvent. The activation energy (ΔE_s) positive value refers to the ions high mobility in the solution and as a result high Λ_0 values were obtained.

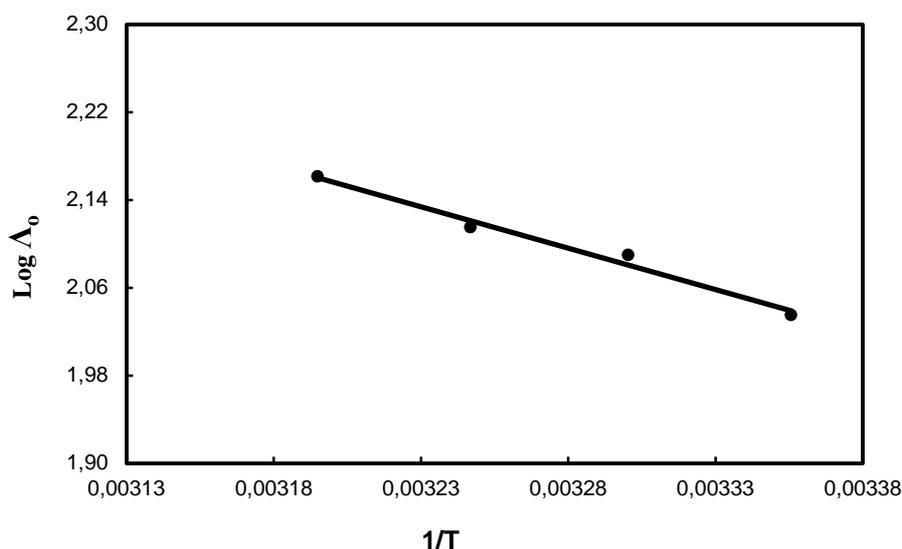


Fig. 2: The variation of $\log \Lambda_0$ versus $1/T$ for sodium diethyldithiocarbamate in water at different temperatures.

Table 6: Thermodynamic parameters of sodium diethyldithiocarbamate in water at different temperatures:

T (K)	Λ_{∞} (ohm ⁻¹ equiv ⁻¹ cm ²)	K_A	ΔE_s° (kJ mol ⁻¹)	ΔH° (kJ mol ⁻¹)	ΔG° (kJ mol ⁻¹)	ΔS° (J mol ⁻¹ K ⁻¹)
298	108.41	721.84	14.41	78.04	-16.310	261.95
303	122.97	925.87			-17.211	257.63
308	130.28	1301.6			-18.367	253.45
313	144.92	3475.6			-21.222	249.41

The free energy change ΔG° for the association process is calculated from equation (10): [43]

$$\Delta G^{\circ} = -RT \ln K_A \quad (10)$$

As noticed in Table 6, negative values of the free energy change (ΔG°) mean that the reaction is spontaneous and association process is preferable than the dissociation process. The values of (ΔG°) become more negative with increasing the temperature. The solvent molecules are released into bulk solvent that leads to rise in ΔG° values. At high temperature, the permittivity of the solvent is decreased which leading strengthen the association between ions [44].

The enthalpy change (heat of association " ΔH° ") for water is obtained from the slope of the plot of $\log K_A$ versus $1/T$ Fig. 3. The value of (ΔH°) was calculated, where the slope equals $(-\Delta H^{\circ}/2.303R)$. For sodium diethyldithiocarbamate, the positive value of (ΔH°) indicates that the association processes is endothermic. Positive and high (ΔH°) value can be attributed to the interaction between ions [44].

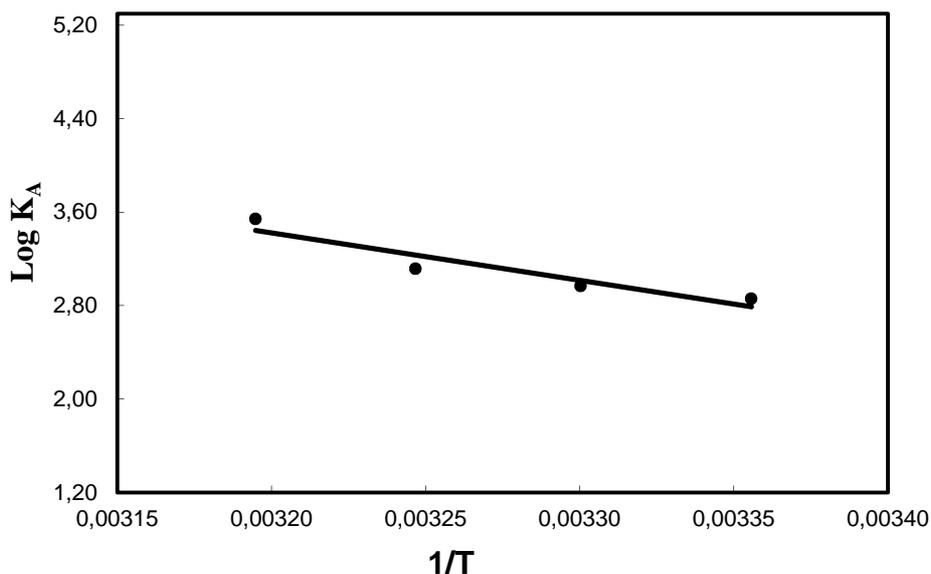


Fig. 3: The variation of $\log K_A$ versus $1/T$ for sodium diethyldithiocarbamate in water at different temperatures

The entropy change (ΔS°) was calculated, from Gibbs-Helmholtz equation:

$$\Delta G^{\circ} = \Delta H^{\circ} - T\Delta S^{\circ} \quad (11)$$

ΔS° values represent the randomness of ions in the studied solvent system. As shown in Table 6 and because of the decrease in the solvation of ion-pair compared to that of the free ion, [45-47] ΔS° values were positive. This may be attributed to increase in the degree of freedom upon association, mainly due to the release of solvent molecules.

The primary factors which administer the entropy of electrolytes ion association are: the ions shape and size, orientation of the solvent molecules around the ions, ions charge density and to what extent the molecules of solvent penetrate inside the space of ions [48].

El-Hammamy et al., [35] measured the conductance of cobalt (III) complex, chloropentammine chloride, in water at several temperatures starting of 40 to 60°C. The data were interpreted by applying Fuoss-Edelson equation [49]. It was clear that, Λ_0 and K_A increase with increasing the temperature. The positive value of ΔE_s was determined. The values of ΔH° and ΔS° are positive at a particular temperature but ΔG° is negative, this may be due to the increase in association of ions and thus solvation process was less. The reaction was endothermic; energy was required to break the bonds around free ion as well as the ion-pairs.

At different temperatures beginning from 25 to 35°C, the conductance of cobalt (III) complex, bromopentammine salts (chloride, bromide and perchlorate) was measured in water by El-Hammamy et al. [50]. Using Fuoss-Edelson equation, results were analyzed. [49] With increasing the temperature, the Λ_0 and \hat{a} values increased however K_A value decreased. From the log Λ_0 versus $1/T$ plot for all complexes of cobalt (III) in water, the ΔE_s positive values were estimated and likewise the parameters ΔH° , ΔG° , ΔS° . In the solvents studied at different temperatures, negative ΔH° values manifest the exothermic ion association processes. With increasing the temperature, it was noticed that the limiting equivalent conductance values exceeded. So, higher solvation occurs. [51]

El-Hammamy et al., [52] have measured the electric conductance of 1:1 s-acetylthiocholine halides (Cl^- , Br^- , I^-) and perchlorate (ClO_4^-) in water solvent at 25, 30 and 35°C. Fuoss-Onsager equation was applied and the values Λ_0 , K_A and \hat{a} were gained. For all salts of s-acetylthiocholine, it was observed that both of Λ_0 and \hat{a} had the same approach; increased with increasing the temperature unlike K_A which decreased upon increasing the temperature. ΔH° , ΔG° and ΔS° negative values for the whole salts studied, showed that the association step was much more stable and no high energy consumption was required. In short, the reaction was exothermic in nature [53].

REFERENCES

- [1] K. S. Ashwini, A. S. Rajesh and D. P. Snehal, *J. Chem. Eng. Data*, **41** (1996) 431.
- [2] A. Anderko, P. Wang and M. Rafal, *Fluid Phase Equilibria*, **194** (2002) 123.
- [3] S. Masood, R. Saeed and S. R. Khan, *Journal of Materials Physics and Chemistry*, **1** (2013) 69.
- [4] F. I. El-Dossoki, *J. Mol. Liqs.*, **142** (2008) 72.
- [5] A. Boruń, and A. Bald, *J. Chem. Eng. Dat.*, **57** (2012) 475.
- [6] A. D. Diego, A. Usobiaga, L. A. Fernandez and J. M. Madariaga, *Trac-Trends Anal. Chem.* **20** (2001) 65.
- [7] G. H. Zimmerman and R. H. Wood, *J. Solution Chem.* **31** (2003) 995.
- [8] A. V. Sharygin, R. H. Wood, G. H. Zimmerman and V. N. Balashov, *J. Phys. Chem.* **106** (2002) 7121.
- [9] A. V. Sharygin, I. M. C. Xiao and R. H. Wood, *J. Phys. Chem.* **105** (2001) 229.
- [10] C. Ho. Patience, D. A. Palmer and R. H. Wood, *J. Phys. Chem.* **104** (2000) 12084.
- [11] W. Liu, R. H. Wood and D. J. Doren, *J. Chem. Phys.* **118** (2003) 2837.
- [12] R. Schreck, B. Meier, D. N. Mannel, W. Droge and P. A. Baeuerle, *J. Exp. Med.* **175** (1992) 1181.
- [13] C. Rafin, E. Veignie, M. Sancholle, D. Postal, C. Len, P. Villa and G. Ronco, *J. Agric. Food. Chem.* **48** (2000) 5283.
- [14] W. Chen-Hsien, *Synthesis*. (1981) 622.
- [15] T. Mizuno, I. Nishiguchi, T. Okushi and T. Hirashima, *Tetrahedron Lett.* **32** (1991) 6867.
- [16] Y. S. Chen, I. Schuphan and J. E. Casida, *J. Agric. Food Chem.* **27** (1979) 709.
- [17] C. Len, D. Postal, G. Ronco, P. Villa, C. Goubert, E. Jeurfaut, B. Mathon and H. Simon, *J. Agric. Food Chem.* **45** (1997) 3.
- [18] P. Morf, F. Raimondi, H. G. Nothofer, B. Schnyder, A. Yasuda, J. M. Wessels and T. A. Jung, *Langmuir*. **22** (2006) 658.
- [19] A. McClain and Y. L. Hsieh, *J. Appl. Polym. Sci.* **92** (2004) 218.
- [20] B. P. Bongar, V. S. Sadavarte and L. S. Uppalla, *J. Chem. Res. (S)*. **9** (2004) 450.
- [21] A. D. Dunn and W. D. Rudolf, *Carbon Disulphide in Organic Chemistry*; Ellis Horwood: Chichester, U. K. (1989) 226.
- [22] P. J. Nieuwenhuizen, A. W. Ehlers, J. G. Haasnoot, S. R. Janse, J. Reedijk and E. J. Baerends, *J. Am. Chem. Soc.* **121** (1999) 163.
- [23] G. D. Thorn and R. A. Ludwig, *The Dithiocarbamates and Related Compounds*; Elsevier: Amsterdam, (1962).
- [24] H. R. Nice, *Org. React.* **12** (1962) 57 and references cited therein.
- [25] D. Crich and L. Quintero, *Chem. Rev.* **89** (1989) 1413.
- [26] S. Z. Zard, *Angew Chem. Int. Ed. (Engl.)*. **36** (1997) 672.
- [27] M. R. Wood, D. J. Duncalf, S. P. Rannard and S. Perrier, *Org. Lett.* **8** (2006) 553 and references therein.
- [28] D. H. R. Barton, *Tetrahedron*. **48** (1992) 2529.
- [29] L. Ronconi, C. Marzano, P. Zanello, M. Corsini, G. Miolo, C. Macca, A. Trevisan and D. Fregona, *J. Med. Chem.* **49** (2006) 1648.
- [30] W. Walter and K. D. Bode, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **6** (1967) 281.
- [31] G. H. Elgemeie and S. H. Sayed, *Synthesis*. (2001) 1747.

- [32] Sunderman FW Sr. Use of sodium diethyldithiocarbamate in the treatment of nickel carbonyl poisoning. *Ann Clin Lab Sci.* **20(1)** (1990) 12.
- [33] H. Pang, D. Chen, Q. C. Cui and Q. P. Dou. *International Journal Of Molecular Medicine.* **19(5)** (2007) 809.
- [34] R.A. Robinson, and R.H. Stokes, "Electrolyte Solutions", Butterworths, London, 2nd ed. (1959).
- [35] N. H. El-Hammamy, M. M. El-Kholy, G. A. Ibrahim and A. I. Kawana, *J. Adv. Appl. Sci. Res.* **1 (3)** (2010) 168.
- [36] N. H. El-Hammamy, A. A. Hasanien, M. F. Amira and F. M. Abd El-Halim, *J Electrochem. Soc., India.* **33** (1984) 43.
- [37] R. M. Fuoss and L. Onsager, *J. Phys. Chem.*, **61**, 668 (1957); R. M. Fuoss, *J. Amer. Chem. Soc.* **81** (1959) 2659.
- [38] G. W. Brown, *Am. J. Dis. Child.* **136** (1982) 937
- [39] F. Accascina, A. D'Aprano and R. Triolo, *J. Phys. Chem.* **71** (1967) 3469.
- [40] D. F. Evans and P. Gardam, *J. Phys. Chem.* **73** (1969) 158.
- [41] N. H. El-Hammamy, M. F. Amira, S. A. Abou El-Enein and F. M. Abd El-Halim, *Indian J. Chem.* **23** (1984) 43.
- [42] U. N. Dash, J. R. Mohatra and B. Lal, *J. Molecular Liquids.* **124** (2006) 13.
- [43] S. Glasstone, in: *An Introduction to Electrochemistry*, Affiliated East-West Press, 4th Ed., New Delhi (1974).
- [44] O. N. Kalngin, V. N. Agienienko, N.A. Otro shko and V. V. Moroz, *Russian. J. Phys. Chem. A.* **83(2)** (2009) 231.
- [45] S. Pura, *J. Molecular Liquids.* **136** (2007) 64.
- [46] H. Yokoyama and H. Kon, *J. Phys. Chem.* **95** (1991) 8956.
- [47] S. Pura and G. Atun, *J. Solution Chem.* **32** (2003) 341.
- [48] S. Pura and G. Atun, *J. Chem. Eng. Data.* **47** (2002) 1103.
- [49] R. M. Fuoss and Edelson, *J. Amer. Chem. Soc.* **73** (1951) 269.
- [50] N. H. El-Hammamy, M. M. El-Kholy, A. I. Kawana and G. A. Ibrahim, *J. Chem. Pharm. Res.* **2(4)** (2010) 1112.
- [51] A. A. Mubarak, A. H. El-Shazly and A. H. Konsowa, *Desalination.* **167** (2004) 127.
- [52] N. H. El-Hammamy, A. I. Kawana, M. M. El-Kholy, M. F. Emira and G. A. Ibrahim, *J. Alex. Pharm. Sci.* **23(2)** (2009) 79.
- [53] H. Sadek, A. M. Hafez and N. H. El-Hammamy, *Pak. J. Sci. Res.* **29** (1977) 100.

Double Optimization of Machine-Tool Setting in the Case of Total Inertial Steering (TIS)

Abdelhakim Boukar¹, Maurice Pillet², and Eric Pairel²

¹Department of Mechanical Engineering, National Higher Institute of Sciences and Technicals of Abeche, BP 130 Abeche, Chad

²SYMME Laboratory, University of Savoy Mont-Blanc, BP 80439, 74944 Annecy-le-Vieux Cedex, France

Copyright © 2017 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 traditional machine-tools setting's consists to rend each characteristic independent, it is for example the case of the transfer of dimension starting to the reference surface which allows taking one adjustment parameter (corrector) by one dimension. The setting in this case is trivial, because there is no dependence between characteristics. The modern machines allow henceforth the simultaneous realization of several operations in one manufacturing phase that put in question the traditional setting. In this context, the relations between manufactured characteristics on the part (or probed points on surfaces) and the correctors are complex, because it exist dependence of setting between surfaces. The Total Inertial Steering (TIS) approach that we present in this article allows to establish a direct relationship between the tool offsets available on the machine and the points of the surfaces through an incidence matrix In most cases, this matrix is not square and therefore not invertible, because there are more probed points as correctors to adjust. The Gauss pseudo-inverse allows to find solution that minimize deviations on the next parts. The problem come up when the same cutting tool machine two surfaces with different point values, the resulting solution favors the one with the highest number of points, at the expense of the other surface which can remain not conform. To remedy this problem, we propose in this article an original method to rebalance setting on surfaces, and this regardless of the number of points.

KEYWORDS: Balancing surfaces, Corrector, Adjustment, Machining, Total Inertial Steering.

1 INTRODUCTION

The machine setting is to position each cutting tool in the machine to realize conform part. The first study on the problem is the one of Grubbs [1] which proposes a rule of setting machines allow to minimize global variability (of the measurement and of the production). He proposes a successive serial of adjustment (1, 1/2, 1/3 ...), to allow adjusting from the distance the first part, then from half of distance the second part ... then from 1/n the last part. He extends the approach to adjust group of samples. In this case, we adjust from average the first group, then from half of average the second group... then from 1/k the last group. Del Castillo et al. [2] and Rong [3] proposed an extension of Grubbs rule's for the case of multivariate process. They propose a strategy allow to taking into account correlation between characteristics to calculate the actions to do on adjustment parameters. Melloy et al. [4] too based on Grubbs rule's to determine an optimal correction which minimize the mean square deviation between the measured value and the target value. He complete the rule to taking into account the square lost of part to calculate the optimal setting that guarantee the quality of the final product. Others works based on Grubbs rule are proposed by Trietsch [5] and Lian et al. [6].

Lill et al. [7], proposed a rule of setting for the first manufactured part. But his rule becomes too fixed to be adapting to serial steering.

Because of initial setting very approximate, Kibe et al. [8] developed an adjustment method allowed adjusting the initial position of cutting tools with assistance system of in-situ measure. They put up for place a system of measure allows to determine position of cutting tool relative to the free surface of the part.

Bourdet [9] presented an approach of setting which allows searching for simulation the adjustment parameter allow to put dimension in his tolerance. The approach is situated in a univariate context and supposes that one adjustment parameter impact only but also one manufactured characteristic.

The Total Inertial Steering (TIS) approach that we present in this article is a setting approach which consists to balance in space the whole of cutting tool trajectories to bring closer the machined surfaces to their targets. The approach have done object of many publications presented particularly by Pillet et al. [10] and Boukar et al. [11]. The approach allows establishing the dependence between points of surfaces and tool offsets through an incidence matrix. Given this matrix is not square and then not invertible, The Gauss pseudo-inverse is used to calculate the values of corrections to be made to compensate for measured deviations.

When the same cutting tool machine two surfaces with different number of probed points, two problems come up:

- The first problem comes up when the both surfaces have different values of tolerance; in this case the adjustment favors the one with largest tolerance at the expense of the other surface can remain not conform towards its tolerance. Pillet *et al.* [11] proposed a solution which allows standardizing surfaces by concerned tolerances to rebalance correction on these surfaces in order to have conformed parts.
- The second problem come up when the both machined surfaces have different number of probed points. For the same style, the computing of correction brings by pseudo-inverse favors the surface with highest number of points. We proposed in Boukar *et al.* [12] a first solution which allows rebalancing surfaces by the Least Common Multiple (LCM) of the numbers of points of surfaces. This balancing of the numbers of points can give exactly the same weight to each surface. But this approach increase considerably the number of points when the LCM is big. The solution has consequence the important increasing of computing times. We recently proposed in Boukar *et al.* [13] a second which allow passing by a geometric parametering of surfaces to find adjustment relation to bring closer surfaces to their targets. The problem in this case is that each case is a particular case and then the solution is with difficultly automation. In this article, we propose a third solution which allows rebalancing correction on surfaces without passing by the LCM or by the geometric parametering of surfaces. This solution is passing by a “double optimization” of correction and the computing is immediate. The objective is to improve the quality of the surface with the smaller number of probed points without too deteriorate the one with the highest number of probed points.

2 TOTAL INERTIAL STEERING (TIS)

2.1 PRINCIPLE OF TIS

The principle of TIS is to establish and use direct link between tool offsets and the position of surfaces defined in reference frame of the machine. The machined surfaces on a first part will be probably moved away to their initial position because of the initial adjustment of cutting tools. In TIS approach, this remoteness is materialized by the deviations of measured points on the machined surfaces relative to their target position measured about the local normal to the surface.

Consider $[e_{n,1}^0]$ matrix column of initial deviations measured on the points and $[e_{n,1}^1]$ matrix column of next deviations on these points. The aim of setting is to find the shift to do on the points to minimize the next deviations. This is result in relation of equation (1):

$$[e_{n,1}^1] = [e_{n,1}^0] + [d_{n,1}] \tag{1}$$

With

$[e_{n,1}^1]$ = matrix of final deviations estimated after correction;

$[e_{n,1}^0]$ =matrix of initial deviations compared to target points

$[d_{n,1}]$ = matrix column of shifts on the n points.

The shifts on points can be calculated using the method of small displacements proposed by Bourdet *and* Clément [14] which is calculated the translation of true point according to the displacement $\{D(O), \mathbb{E}\}$ of the trajectory of cutting tool relative to the part (Eq. 2):

$$d_i = D(P_i) \cdot \vec{n}_i \tag{2}$$

This is express by:

$$\overrightarrow{D(P_i)} \cdot \vec{n}_i = (\overrightarrow{D(O)} + \vec{\Omega} \wedge \overrightarrow{OP_i}) \cdot \vec{n}_i$$

With

$$\overrightarrow{D(O)} = \begin{pmatrix} Tx \\ Ty \\ Tz \end{pmatrix}; \quad \vec{\Omega} = \begin{pmatrix} Rx \\ Ry \\ Rz \end{pmatrix}; \quad \vec{n}_i = \begin{pmatrix} ai \\ bi \\ ci \end{pmatrix}$$

Where, O is the origin of reference frame of the trajectories cutting-tools, and rotations R_x , R_y and R_z about X , Y and Z axes. Development of equation (2) gives equation (3):

$$d_i = a_i T_x + b_i T_y + c_i T_z + L_i R_x + M_i R_y + N_i R_z \tag{3}$$

With

a_i, b_i, c_i = direction cosines of the local normal n_i to the target surface;

L_i, M_i, N_i = component of the vector;

N_i = Z-component of the vector $\overrightarrow{OP_i} \wedge \vec{n}_i$;

L = tool length offset;

R = tool radius offset;

T_x, T_y and T_z = X, Y and Z offset;

R_x, R_y and R_z = X, Y and Z rotation;

In addition to parameters of displacement T_x, T_y, T_z, R_x, R_y and T_z , it is possible to add parameters of form intrinsic to the surface or to the tool, like for example a variation of radius of tool. Equation (3) becomes then (4):

$$d_i = a_i T_x + b_i T_y + c_i T_z + L_i R_x + M_i R_y + N_i R_z + \varphi_i R \tag{4}$$

With $\varphi_i = \sqrt{a_i^2 + b_i^2} = 1$ (= influence of tool radius offset R)

If there are n points on the machined surfaces, a system of n equations is obtained and which can be written in the following matrix form (5):

$$[d_{n,1}] = [m_{n,p}] \cdot [c_{p,1}] \tag{5}$$

With

$[m_{n,p}]$ = incidence matrix (n lines, p columns);

$[c_{p,1}]$ = matrix (p lines, 1 column) of corrections on the p tool-offsets;

n = number of probed points on the surface.

The setting is to do a shift opposite to the initial deviation to refocus each measured point on his target. This is to give for the set of points the following matrix system (6):

$$[-e_{n,1}^0] = [m_{n,p}] \cdot [c_{p,1}] \tag{6}$$

This system has no exact solution when the number of points n is higher than the number of correctors p . The Multiple Linear Regression can then obtain the value of $[c_{p,1}]$ that minimizes the sum of squared deviations. It consists, in his simplest presentation, to multiply the matrix of initial deviations $[e_{n,1}^0]$ by the pseudo-inverse matrix $[m_{n,p}]^+$ of the incidence matrix using the following equation (7):

$$[c_{p,1}] = [m_{n,p}]^+ \cdot [-e_{n,1}^0] \tag{7}$$

With $[m_{n,p}]^+ = \{[m_{n,p}]^T \cdot [m_{n,p}]\}^{-1} \cdot [m_{n,p}]^T$

The corrections calculated by this equation allow compensating for the measured deviations on the points.

2.2 EXAMPLE

To illustrate the problem, we base on example of 3D part. Figure 1 gives a geometrical specification of the finished part. The notch (in green) has a tolerance lower than the elliptical pocket (in yellow). We will measure different point value on these surfaces to illustrate our words.

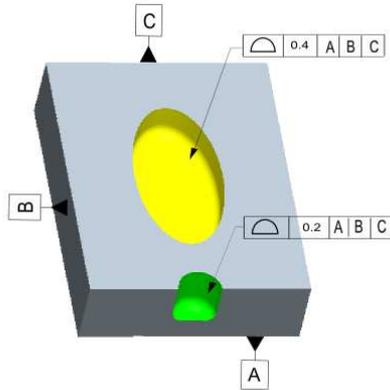


Fig. 1. Specification of the finished part

A block of rectangular material with dimensions 25 mm x 20 mm is machined on a CNC milling machine. It is fixed to the milling machine table. Three stops are used to position the block on the table of the milling machine. A clamping system ensures its fixation (see figure 2). An elliptical pocket is realized in the block by contour milling and a notch by diving of the same tool (toric milling cutter).

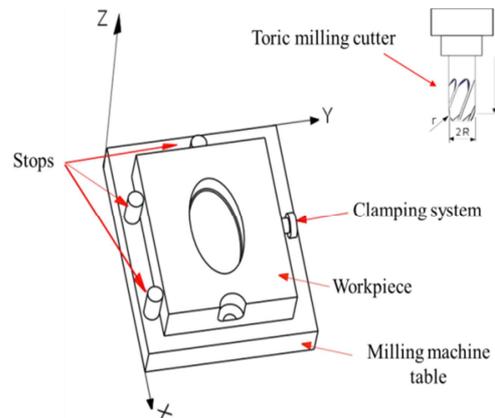


Fig. 2. Defining of action axis of the tool – machining assembly

To adjust the cutting tool, we arbitrarily measured the points on the workpiece. The deviation between the target surfaces and machined surfaces is measured on several points by distances along the normal to the surfaces at these points.

Eight points are measured on the side of elliptical pocket S1 and three points on the notch S2 to adjust the tool. The points (P1, P2 ... P8) of S1 are precisely measured for each 45° angle relative to the axes of the ellipse in the center of the ellipse. The points on the notch are measured on its cylindrical portion to allow repositioning the notch relative to the ellipse. Surfaces of the fillets radiuses generated by the end milling radius and surfaces of the bottom of the notch and ellipse are not probed to simplify the presentation. If the fillets radiuses are not the good shape, the tool will regrind or replace. But in the case of this paper, the fillets radiuses are not corrected.

Table 1 gives the coordinates of points and the local normals expressed in the part reference frame which correspond with datum system and the deviations of these points along the normal to the surfaces (column e_i^0).

Table 1. Points expressed in the part reference frame

Surface	Tolerance	Point	X	Y	Z	ai	bi	ci	e_i^0
S1	0.4	P1	20	10	5	-1	0	0	-0.1
		P2	12.5	14	5	0	-1	0	0.1
		P3	5	10	5	1	0	0	0.3
		P4	12.5	6	5	0	1	0	0.1
		P5	17.8	12.83	5	-0.5	-0.866	0	0
		P6	7.2	12.83	5	0.5	-0.866	0	0.2
		P7	7.2	7.17	5	-0.5	0.866	0	0
		P8	17.8	7.17	5	0.5	0.866	0	0.2
S2	0.2	P12	24	12	4	-0.5	-0.866	0	-0.1
		P13	24	8	4	-0.5	0.866	0	0.12
		P14	22.5	10	4	1	0	0	0.37

3 OPTIMIZATION BY THE GAUSS PSEUDO-INVERSE

Surfaces S1 and S2 are generated by the same cutting tool. This tool can be adjusted by acting on the tool radius offset (R). Its tool length offset (L) along the Z axis is not correct to simplify the problem. Further, the displacement variables Tx (translation about the X axis), Ty (translation about the Y axis), and Rz (rotation about the Z axis) are introduced in the program to enable repositioning the program reference frame on workpiece reference frame to refocus the machined shapes on their targets. Correctors Tx, Ty and Rz have the effect of moving the machined surfaces while R has the effect of changing their "sizes". Tz, Rx and Ry offset are not correct in this example.

The incidence matrix is obtained by reduction of equation (4) is given in table 2. Starting on this matrix, we can determine corrections on correctors R, Tx, Ty and Rz, by calculated the pseudo-inverse of this matrix through equation (7). The new matrix obtained is given in table 3. It is called "global steering matrix".

Table 2. Global incidence matrix

Surface	Point	R	Tx	Ty	Rz
S1	P1	1	-1	0	10
	P2	1	0	-1	-12.50
	P3	1	1	0	-10
	P4	1	0	1	12.50
	P5	1	-0.5	-0.866	-9
	P6	1	0.5	-0.866	-12.65
	P7	1	-0.5	0.866	9.82
	P8	1	0.5	0.866	11.83
S2	P9	1	-0.5	-0.866	-14.78
	P10	1	-0.5	0.866	24.78
	P11	1	1	0	-10

Table 3. Global steering matrix

	P1=-0.1	P2 = 0.1	P3 = 0.3	P4 = 0.1	P5 = 0	P6 = 0.2	P7 = 0	P8 = 0.2	P9 = -0.10	P10 =0.12	P11 = 0.37
R	0.091	0.091	0.091	0.091	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Tx	-0.140	0.096	0.140	-0.096	-0.11	0.28	-0.40	0.23	-0.35	0.21	0.14
Ty	-0.154	-0.334	0.154	0.334	-0.13	-0.45	0.67	-0.09	0.31	-0.46	0.15
Rz	0.010	0.012	-0.010	-0.012	0.00	0.02	-0.04	0.01	-0.03	0.04	-0.01

Knowing the deviations e_{oi} on the points P1... P12, we calculate corrections R, Tx, Ty et Rz which allow to compensate for the next deviations of two surfaces S1 and S2. Table 4 gives the corrections values.

Table 4. Correction value obtained by the Gauss Pseudo-inverse

Corrector	R	Tx	Ty	Rz
Value	-0.108	-0.269	0.074	-0.007

4 METHOD OF DOUBLE OPTIMIZATION

This method is to do two optimizations to avoid the problem of number of points: a first optimization is to calculate independently setting on each surface. Then a second optimization allows to do synthesis of two previous settings and to pass by a "interdependence matrix" between settings to calculate corrections to do on the tool.

4.1 FIRST OPTIMIZATION

For this optimization, we extract two incidence matrixes (one by surface) to the global incidence matrix. We then obtained two reduces matrixes gives in table 5 and table 6, and their pseudo-inverse respectively in table 7 and table 8.

Table 5. Incidence Matrix reduce to surface 1

Surface	Point	R1	Tx1	Ty1	Rz1
S1	P1	1	-1	0	10
	P2	1	0	-1	-12.50
	P3	1	1	0	-10
	P4	1	0	1	12.50
	P5	1	-0.5	-0.866	-9
	P6	1	0.5	-0.866	-12.65
	P7	1	-0.5	0.866	9.82
	P8	1	0.5	0.866	11.83

Table 6. Incidence Matrix reduce to surface 2

Surface	Point	R2	Tx2	Ty2	Rz2
S2	P9	1	-0.5	-0.866	-14.78
	P10	1	-0.5	0.866	24.78
	P11	1	1	0	-10

Table 7. Steering Matrix of surface 1

	P1= -0.1	P2=0.1	P3=0.3	P4=0.1	P5=0	P6=0.2	P7=0	P8= 0.2
Tx1	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
Ty1	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.34	0.34	-0.65	0.65
R1	-0.60	-0.20	0.60	0.20	0.15	-0.49	1.04	-0.70
Rz1	0.05	0.00	-0.05	0.00	-0.03	0.03	-0.07	0.07

Table 8. Steering Matrix of surface 2

	P9 = -0.10	P10 = 0.12	P11 = 0.37
Tx2	0.200	-0.100	-0.200
Ty2	0.400	-0.200	-0.400
R2	0.250	0.250	0.250
Rz2	0.002	0.005	-0.002

Using the steering matrixes of tables 7 and 8 and knowing the deviations given in these tables, we calculate the value of corrections R1, Tx1, Ty1, Rz1 and R2, Tx2, Ty2, Rz2. The corrections values are given in the table 9.

Table 9. Correction value of each surface with Rz rotation

Corrector	R1	Tx1	Ty1	Rz1	R2	Tx2	Ty2	Rz2
Value	-0.1	-0.2	0	0	-0.130	-0.247	-0.108	-0.001

These corrections don't taking into account interdependence of correctors between the both surfaces. You have to take into account these dependences through an interdependence matrix to calculate the global setting to do on surfaces. This is explaining in below section (second optimization).

4.2 SECOND OPTIMIZATION

In the first optimization, we have calculated for each the value of corrections R1, Tx1, Ty1, Rz1 for the surface 1, and R2, Tx2, Ty2, Rz2 for the surface 2. In this section, we do the second optimization that consists to pass by an interdependence matrix that you have to determine to calculate the global setting to do. This matrix is established by calculating influence of one corrector on others.

The procedure is illustrated to calculate interdependence of Rz on Tx1 for the surface 1:

- We calculate effect of unitary correction of Rz on each point of surface 1. It is simply the column of Rz of the incidence matrix of surface 1.

- b. We take $Tx1 = 1$ and all others correctors $R, Ty1, Rz1 = 0$, to have influence of Rz only on $Tx1$ (see Table 10).
- c. Then we calculate the Gauss pseudo-inverse (steering matrix reduce to $Tx1$) which gives the influence of Rz on $Tx1$ (see Table 11). Coefficients of column of Rz of the incidence matrix will serve like deviations on each point to calculate the value of $Tx1$, and, as well as the influence of Rz on $R1, Ty1$ and $Rz1$.

Table 10. Matrix of influence of Rz on $Tx1$

				Tx1				1	2	3	4	
R1	Tx1	Ty1	Rz1	Erase the table	R1	Tx1	Ty1	Rz1	R	Tx	Ty	Rz
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	P1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	-1	0	10
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	P2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	0	-1	-12.5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	P3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	1	0	-10
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	P4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	0	1	12.5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	P5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	-0.5	-0.866	-9
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	P6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	0.5	-0.866	-12.65
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	P7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	-0.5	0.866	9.82
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	P8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	0.5	0.866	11.83

Table 11. Influence Matrix of Rz on $Tx1$

	P1 = 10	P2 = -12.5	P3 = -10	P4 = 12.5	P5 = -9	P6 = -12.5	P7 = -9.82	P8 = 11.83
Tx1	-0.333	0.000	0.333	0.000	-0.167	0.167	-0.167	0.167

This procedure is valid to determine influence of each of corrector on others on surface 1. Idem for the surface 2. To proceed to numerical compute of all influences between correctors, we obtain the interdependence matrix given in Table 12.

Table 12. Interdependence between correctors

	R	Tx	Ty	Rz
R1 = 0.100	1	0	0	0
Tx1 = 0.200	0	1	0	-6.940
Ty1 = 0	0	0	1	12.5
Rz1 = 0	0	-0.021	0.0631	1
R2 = 0.130	1	0	0	0
Tx2 = 0.247	0	1	0	-10
Ty2 = 0.108	0	0	1	22.841
Rz2 = 0.001	0	-0.0161	0.0367	1

The pseudo-inverse of this matrix allow to calculate corrections on R, Tx, Ty et Rz (see Table 13) which allow to better correct surfaces independently of number of points of surfaces.

Table 13. Corrections values of double optimization

Corrector	R	Tx	Ty	Rz
Value	-0.115	-0.294	0.094	-0.008

5 DISCUSSION

To compare the both methods, we evaluate quality of setting obtained on each surface. We have to find a quality criterion. In our case, we have chosen inertia defined by *Pillet* [15] and *ISO 14253-1:1998* [16] because inertia is justly a criterion of optimization to minimize by pseudo-inverse. It is calculate for the surface through equation (8) :

$$I_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_i^2)}{n}} \quad (8)$$

We compare then the G gain on inertia of each surface which is calculated through equation (9):

$$I_i = \frac{I_{i(before)} - I_{i(after)}}{I_{i(before)}} \quad (9)$$

With

I_i (before) = inertia before setting of the i surface;

I_i (after) = inertia after setting of the i surface.

The below Table 14 gives for the both approaches the corrections value R, Tx, Ty and Rz, and the inertia before and after setting and the gains on inertia of each surface.

Table 14. Comparative study of two methods

Method	Corrector	Correction Value	Surface	Inertia before correction	Inertia after correction	G Gain on the inertia
Case #1. Optimization by pseudo-inverse	R	-0.105	S1	0.158	0.027	83.24%
	Tx	-0.269				
	Ty	0.093	S2	0.231	0.046	79.99%
	Rz	-0.007				
Case #2. Double Optimization	R	-0.110	S1	0.158	0.037	76.79%
	Tx	-0.294				
	Ty	0.094	S2	0.231	0.032	86.17%
	Rz	-0.008				

This table shows the benefit in terms of gain on inertia of surface that we can obtained using one or other method. The double optimization searches a compromise of quality between the both surfaces. We remark in the case #2, when we apply double optimization, it more improve the quality of surface 2 which have a less probed points than surface 1 which have eight points. Given than surface 2 is functional with quality requirement more high (tolerance $t=0.2$) than surface 1 ($t=0.4$), it is naturally privileged in order to guarantee its conformity. We pass then to gain on inertia of 79.99% in the case #1 to a gain of 86.17% in the case #2.

The biggest surface (S1) is then put at a disadvantage by the double optimization, but given that it have large tolerance, the setting allow to have residuals deviations included in the tolerances. If necessary we apply standardization (Pillet *et al.* [10], Boukar *et al.* [11]) of surfaces by their tolerances to guarantee the conformity.

The corrections values obtained in Table 14 allow estimating the new value of deviations of the points through equation (10).

$$[e_{n,1}^1] = [e_{n,1}^0] + [m_{n,p}] \cdot [c_{p,1}] \quad (10)$$

Figure 3 and 4 show graphically deviations before setting (in blue) and after setting (in red) respectively obtained by the simple and double optimization.

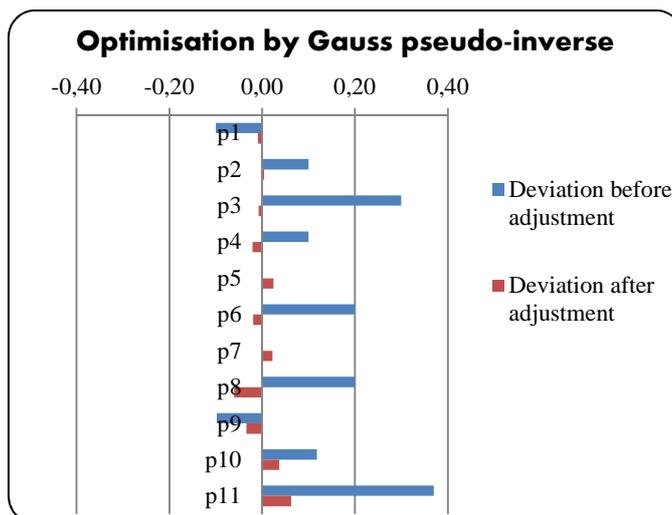


Fig. 3. Deviations before and after setting for simple optimization

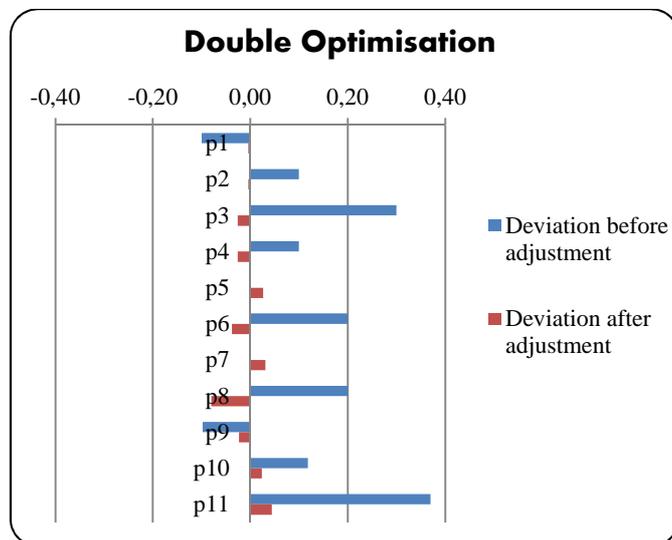


Fig. 4. Deviations before and after setting for double optimization

6 CONCLUSION

The solution of setting machine by double optimization is to calculate independently the corrections on each surface and to use an interdependence matrix between correctors. This matrix does the synthesis of corrections proposed on each surfaces to find the good compromise of setting on each concerned surface without passing by the average of corrections, neither taking into account the number of points by the LCM. The double optimization allow to get around the problem of increasing dimension of the matrix in order to avoid in some case the important increasing of number of points. The theoretical result of simulation show sure enough when we apply this method, we improve the surface with smaller number of points without too deteriorate the one with the highest number of points. The method present the advantage to be general to all type of surface and to be able to take into account all type of corrector.

REFERENCES

- [1] Grubbs, F. E., 1954, "An optimum procedure for setting machines or adjusting processes," *Indust. Quality Control*, July, reprinted in *J. Quality Technology*, Vol. 15, No. 4, pp. 186–189, 1983.
- [2] Del Castillo⁽¹⁾ E., Rong⁽¹⁾ P. and Bianca P. M. Colosimo⁽²⁾, "An unifying view of some process adjustment methods," (1)Department of Industry & Manufacturing Engineering, The Pennsylvania State University, University Park, PA 16802, (2)Dipartimento di Meccanica, Politecnico di Milano, 2002
- [3] Rong P., "Statistical process adjustment methods for quality control in short-run manufacturing," PhD Thesis in Industrial Engineering, Department of Industrial and Manufacturing Engineering, The Pennsylvania State University, 2002
- [4] Melloy B. J., Coffin M A and Kiessler P. C., "A stepwise-optimal procedure for setting machines and adjustment processes," pp. 261-277, 1997, in the book "Optimization in Quality Control," edited by Khalid S. Al-Sultan and M. A. Rahim, ISBN: 0-7923-9889-0
- [5] Trietsch D., "Process Setup Adjustment with Quadratic Loss," *IIE Transactions*, September 1995, Revised December 1996
- [6] Lian Z., Colosimo B.M. and Del Castillo E., "Setup Error Adjustment of Multiple Lots using a Sequential Monte Carlo Method," August 2004
- [7] Lill H., Chu Y. and Chung K., "Statistical Set-up Adjustment for low volume manufacturing - Statistical Process Control in Manufacturing," - Dekker - 1991, pp. 23-38
- [8] Kibe Y., Okada Y. and Mitsui K., "Machining accuracy for shearing process of thin-sheet metals-Development of initial tool position adjustment system," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 47, Issue 11, pp. 1728-1737, September 2007
- [9] Bourdet P., "Choix et optimisation des cotes de réglage," *Revue des techniques nouvelles au service de l'industrie*, N° 388, Avril 1982
- [10] Pillet M, Denimal D., "A better coherence between design and production with Total Inertial Tolerancing," *IJODIR* 2011
- [11] A. Boukar, E. Pairel, M. Pillet et A. Sergent, "Utilisation du tolérancement géométrique pour le réglage des machines: Le pilotage inertiel total," *Intercut-MUVG*, 2012
- [12] A. Boukar, M. Pillet, E. Pairel, A. Sergent, "Correction of a machining operation the Total Inertial Steering," *Int. J. Metrol. Qual. Eng.* Vol. 5, N° 1, pp. 21–27, 2014, EDP Sciences 2014, DOI:(<http://dx.doi.org/10.1051/ijmqe/2014003>)
- [13] Abdelhakim Boukar, Malloum Sulttan, Maurice Pillet, Eric Pairel, "Machine-tool setting: Algorithm for passing the adjustment by points to the adjustment on dimensions," *Int. J. of Engineering of Innovative Technology*, Vol. 5, Issue 5, pp. 75-79, November 2015
- [14] Clement A. and Bourdet P., "A study of optimal - criteria identification based on the small - displacement screw model," *Annals of the CIRP* Vol. 37/1/1988
- [15] M. Pillet, "Inertial tolerancing" - *The TQM Magazine* 16 (3), pp. 202-209, 2001
- [16] Norme ISO 14253-1:1998, "Spécification géométrique des produits (GPS)- Vérification par la mesure des pièces et des équipements de mesure - Partie 1: Règles de décision pour prouver la conformité ou la non-conformité à la spécification," 2012.

