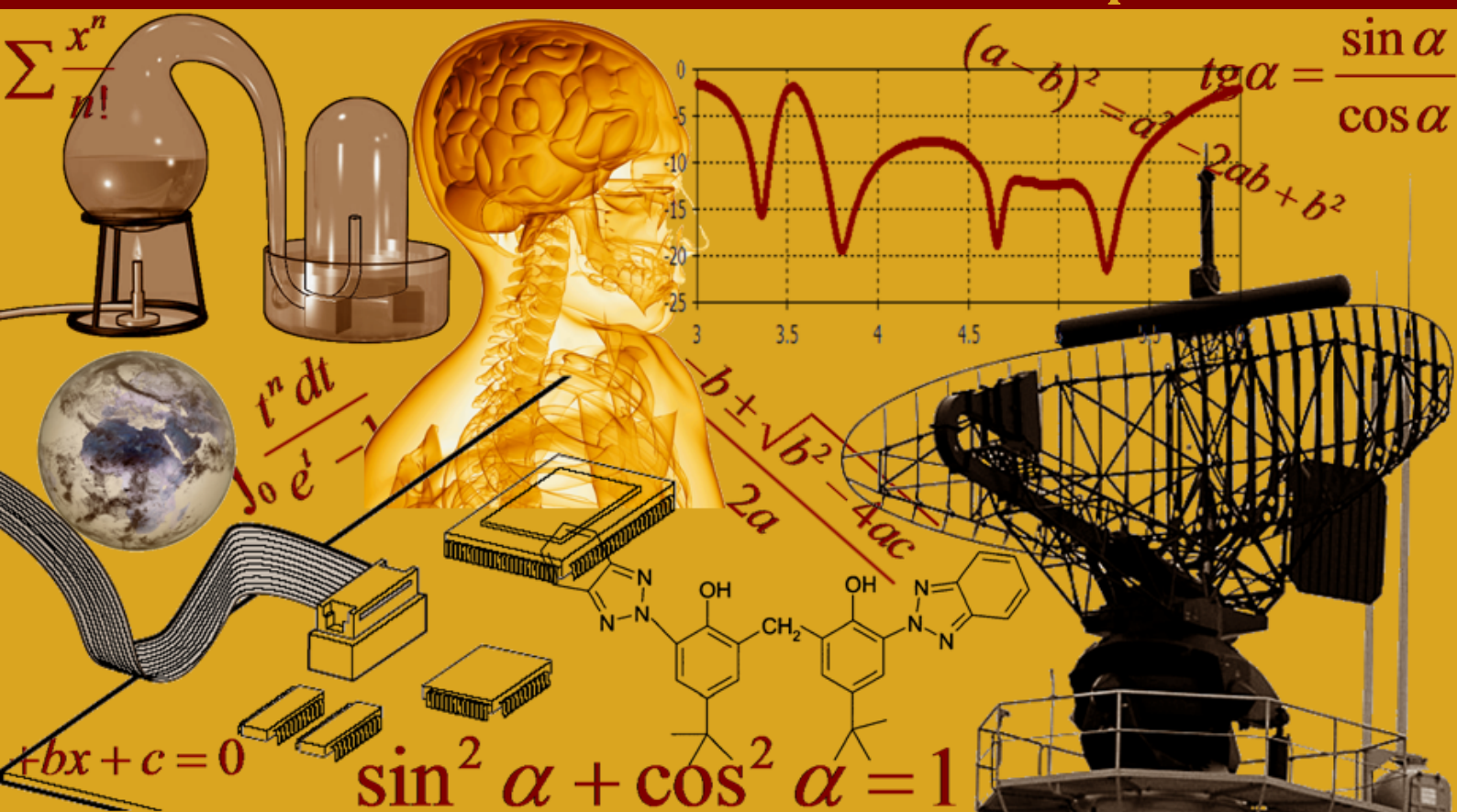


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND SCIENTIFIC RESEARCH

Vol. 62 N. 2 September 2022



International Peer Reviewed Monthly Journal



International Journal of Innovation and Scientific Research

International Journal of Innovation and Scientific Research (ISSN: 2351-8014) is an open access, specialized, peer-reviewed, and interdisciplinary journal that focuses on research, development and application within the fields of innovation, engineering, science and technology. Published four times per year in English, French, Spanish and Arabic, it tries to give its contribution for enhancement of research studies.

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

Contributions must be original, not previously or simultaneously published elsewhere. Accepted papers are available freely with online full-text content upon receiving the final versions, and will be indexed at major academic databases.

Editorial Advisory Board

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

Table of Contents

Effect of tobacco leaves (<i>Nicotiana tabacum</i>) on the weevil (<i>Acanthoscelides obtectus</i>) of common bean (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	51-60
<i>Henri Grisseur Djoukeng, Henry Chotangui Asafor, Yannick Frank Tanku Tedjon, Alphonse Azebaze, and Julius Kewir Tangka</i>	
Caractéristiques physico-chimiques de composts à base de résidus végétaux et de déjections animales et leurs effets sur des paramètres de croissance et de rendement de la tomate sur sols sableux	61-75
<i>Joséphine Ama Tamia Épse Abina, Yannick Boa Brindou Brou, Firmin Kouassi Yéboua, Thierry Lekadou Tacra, and Engueran Djaha Konan</i>	
Abcès bilatéral du psoas associé à une Spondylodiscite d'origine tuberculeux: A propos d'un cas	76-80
<i>Adil Hmimch, F. Hidki, K. Souly, and Mimoun Zouhdi</i>	
Utilisation des images Landsat 8 et l'Indice de Position Topographie (IPT) pour cartographier le Régolite: Implication dans l'exploration géochimique de l'or	81-92
<i>Kio Ali, Gnammytchet Barthélemy Koffi, Alphonse Kouakou Yao, and Moussa Konaté</i>	
Caractérisation biophysique de l'exposition aux champs magnétiques dans les ménages des environs des lignes très haute tension de Kinshasa	93-102
<i>Crispin Ngoma Buveka, Christian Mabwisi Sala, Albert Phongi Kingiela, José Emmanuel Mata Tombo, Joseph Cimbela Kabongo, and Zéphyrin Butsana Bu Nianga</i>	

Effect of tobacco leaves (*Nicotiana tabacum*) on the weevil (*Acanthoscelides obtectus*) of common bean (*Phaseolus vulgaris*)

Henri Grisseur Djoukeng¹, Henry Chotangui Asafor², Yannick Frank Tanku Tedjon¹, Alphonse Azebaze³, and Julius Kewir Tanka¹

¹Department of Rural Engineering, University of Dschang, Dschang, Cameroon

²Department of Agriculture, University of Dschang, Dschang, Cameroon

³Cercle international pour la promotion de la création (CIPCRE), Bafoussam, Cameroon

Copyright © 2022 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 survey was conducted by administering a questionnaire to identify common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) conservation methods used by farmers in the Hauts-Plateaux division, west region of Cameroon. To reduce post-harvest losses of common bean (*P. vulgaris*) in the study area, a six-month study was carried out on red and black beans. Vegetable powder of tobacco leaves (*Nicotiana tabacum*) was produced and tested against the bean weevil (*Acanthoscelides obtectus*). Tobacco leaves were dried to 13.5% moisture content, crushed and sieved to obtain a powder at pH 5.63. This powder and two other synthetic insecticidal powders (Antouka and Protect DP) based on permethrin were incorporated at a dose of 1 g kg⁻¹ in batches of beans. The coated seeds were placed in 125 mL polyethylene boxes containing 100 seeds each, then stored for 6 months in a room at a temperature between 15 and 27 °C. The experimental set-up applied for each variety was a complete randomized design comprising four treatments and four replicates (Control without any treatment, Tobacco, Protect DP, Antouka). Data on perforated seeds, weevil emergence and mortality were observed throughout the experiment. Results showed that 41% of farmers use synthetic insecticides, 36% do not use any substance, 14% wood ash, 9% fir leaves. This study showed that tobacco powder significantly reduced the puncture of beans by weevils, indicating the importance of alternatives means for pest management. It also emerged from this study that the black bean is more resistant to weevils than the red one.

KEYWORDS: post-harvest, pest, insecticidal effect, food insecurity, legume seeds.

1 INTRODUCTION

According to the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), recent data confirms an increase in hunger in the world, while it had long been declining, and therefore a reversal of the trend. In 2018, the number of undernourished people was estimated at 820 million, or about one in ten people in the world [1]. Food insecurity contributes to overweight and obesity as well as undernutrition, and high rates of these forms of malnutrition coexist in many countries. The cost of nutritious foods, which are more expensive than others, the stress caused by food insecurity and the physiological adaptations to food restrictions also explain why families living in food insecurity may be at greater risk of overweight and obesity [2]. The cultivation of food legumes, a source of vegetable protein, is one of the best and least expensive solutions for feeding the populations of developing countries, like Cameroon. Indeed, vegetable proteins are cheaper than animal proteins. Legume seeds contain twice as much protein as cereals. Unfortunately, these crops are very often characterized by low and unstable yields. This is explained, in particular, by their sensitivity to abiotic constraints (cold, heat and soil degradation) and to biotic constraints (diseases and insect pests) and on the other hand by the absence of varieties resistant or tolerant to these constraints [3]. In fact, bean crops in particular are subject to numerous attacks, both in the field and in warehouses, by pests and diseases which can cause significant damage in the absence of appropriate control methods. Stored products are mainly attacked by insects and moulds. Losses due to insects are considerable in countries where modern storage techniques have

not yet been introduced. In some African countries, damage due to Weevil (*Coleoptera Weevillae*) can destroy all stocks in 5 or 6 months [4]. Among these insects, the common bean weevil (*Acanthoscelides obtectus*) is a cosmopolitan insect, the larvae of which can infest their host plant both in the field and in storage. They can also attack other leguminous plants that were originally non-hosts, which are also food crops of economic importance for developing countries, such as cowpea [5].

In Central Africa, weight losses of stored seeds (beans, maize, sorghum) of the order of 10 to 60% are caused each year by the main stock pests (*Acanthoscelides obtectus*) in the region. Stored products are generally protected by the application of synthetic insecticides, most often by fumigation. But the presence of toxic residues in foodstuffs and the appearance of strains of insects resistant to these insecticides are becoming a problem. The methods used to limit losses in stocks are generally chemical insecticides such as pyrethroids and organophosphates, which can induce chronic intoxication of consumers, resistance in pests and have a negative impact on the environment [6]. In the case of small-scale storage, the use of chemicals is not always profitable, the costs are often much higher than the benefits.

The use of synthetic pesticides has often caused more problems than it has solved. In addition, the technologies proposed have not always had the expected results because of the fact that they are not always adapted, the health and environmental risks associated with their adoption, the habituation of insect pests and the selection of resistant strains, high cost and unavailability of the products in question [7], [8]. This is why, today, there is a need to develop alternative methods to synthetic pesticides in crop protection, effective control against insect pests and the limitation of losses due to *Weevillae Coleoptera*. In the search for alternative methods, the plant kingdom offers many ecological and health advantages with biopesticides. The use of insecticidal plants has the advantages of being eco-friendly and effective in controlling pests (Stevenson et al., 2014) and has no side effects on health [9]. Numerous studies are being developed to isolate or identify secondary substances extracted from plants which have an insecticidal activity, by repulsion, contact or inhalation on insects [10]. This is the case of nicotine which is one of the active substances present in tobacco. It is poisonous if inhaled and is a very rapid contact killer against various insects and molluscs. Tobacco cultivation is widespread in the world and particularly in Cameroon [11]. Although many studies have shown the insecticidal potential of tobacco leaves, very few studies have been conducted on its effect in the preservation of foodstuffs, specifically beans.

The aim of this work is to contribute to the reduction of post-harvest losses in Cameroon. More specifically to: Identify the various substances and techniques of common beans conservation used by farmers in the west highlands of Cameroon, Produce, test and evaluate the insecticidal effect of tobacco leaf powder.

2 MATERIAL AND METHODS

We used the most available powder insecticides from market traders in the district of Bamendjou (Hauts-Plateaux). These are ANTOUKA super and PROTECT DP. It should be noted that the availability of these insecticides intended for the protection of foodstuffs against storage pests is not permanent and changes in the trade names of these products are very frequent. However, the presence of synthetic pyrethroids as active ingredients and/or organophosphates is common amongst these phytosanitary products with different trade names.



(a) ANTOUKA SUPER

(b) PROTECT DP

Fig. 1. Synthetic insecticides used

Fig. 1 shows the conventional insecticides commonly used by farmers.

ANTOUKA super contains permethrin (pyrethroids) (3 g kg⁻¹) and Pyrimiphos-methyl (organophosphates) (16 g kg⁻¹). PROTECT DP contains another pyrethroid which is Deltamethrin (1 g kg⁻¹) and Pyrimiphos-methyl (15 g kg⁻¹). These insecticides were applied as indicated on the labels at 1g for 2kg of grains.

2.1 INSECTICIDAL PLANT: NICOTIANA TABACUM

N. tabacum plant is covered with short slimy glandular hairs, which exudes a yellow secretion containing nicotine. The leaves and the stem are plant parts with insecticidal properties. The leaves were collected in Bameka in the district of Bamendjou.

Harvesting and drying of *N. tabacum* leaves

Plant leaves were harvested in January by cutting the leaves close to the stem to allow continuous growth or further harvesting and flowering. Mature leaves indicated by their colour (dark-green) that were longer, taller and curved downwards compared to young leaves that were higher up and closer to the tip of the plant were harvested and used in this study. After harvest, the leaves of *N. tabacum* were dried under a shade in a solar dryer for fifteen days. Drying was done at a temperature ranging from 18°C to 38.5°C between 6 a.m. and 6 p.m. until the leaves could crumble under pressure and allow to produce powder form-like particles. Dried leaves were stored in the dark until use.

Grinding and sieving

The dried leaves were pounded in a mortar for 10 minutes and passed through a 0.4 mm mesh sieve to obtain a fine powder of homogeneous particles. Drying, grinding and sieving were carried under safety measures by putting on a mask.

Although some farmers often mix the whole leaves or other parts of the plant with the food to be stored, grinding the material and sifting to a fine powder proves to be more effective. Small particle size increases surface area and therefore increases activity. Small particles are more likely to stick with grains and insects. Note that you have to be careful not to inhale

the fine powders during this transformation while wearing a mask. The moisture content of the *N. tabacum* leaves was determined by weigh fresh leaves and oven-dried leaves (105 °C for 24 hours) three times.

From the initial fresh leaves with a moisture content of 86.5%, a powder with a moisture content of 13.5% was obtained. This rate is adequate for storage because there will be almost no transfer of moisture from the powder to the grains. This corresponds to the recommendation of Hodges and Stathers [11], which is to reduce the moisture content of the grains to less than 15%, an essential characteristic to avoid infestations by insects and fungal species during storage. The moisture content (MC) was determined using the following equation:

$$MC = \frac{\text{Initial mass} - \text{Final mass}}{\text{Initial mass}} * 100 \quad (1)$$

After sieving, 86 g of fine powder was obtained, ie 40% of the initial mass. It should be noted that the other part of the powder (60%) is usable although being coarser, because it does not present any difficulty in being separated from the bean at the end of conservation.

pH of *N. tabacum* leaves

pH of the dried leaves was determined in the Laboratory of Renewable Energies of the Faculty of Agronomy and Agricultural Sciences, University of Dschang. 18g of dried *N. tabacum* powder was weighed and 144ml of water added to obtained 1: 8 solid-water ratio. The mixture was stirred for five minutes and the pH of the slurry measured using a pH meter on the liquid portion.

2.2 INSECTICIDAL TREATMENTS AND EXPERIMENTAL DESIGN

Two varieties of beans most consumed locally were selected. These are the red bean “little red bean”, locally called “Méringué” and the “black bean” in the western highlands of Cameroon. These varieties were selected based on yield and income satisfaction, taste and cultivation area according to the local farmers. Beans used in this experiment were obtained from the end-of-rainy season field harvests in December 2019 and January 2020 in Bameka, Bamendjou District, Hauts-Plateaux Division. The red and black beans were harvested from different plots, free of any insecticidal treatment throughout cultivation, in the same locality to ensure homogeneity of the experimental material. Freshly harvested dry pods were subjected to sorting to eliminate unhealthy pods and dried under the sun to a moisture content of 13% for the black bean and 15% for the red bean.

Each bean variety was divided into four batches. Three batches were mixed with one of the three treatment powders (*Nicotiana Tabacum*, ANTOUKA, PROTECT DP) at a dose of 1 g per 2 kg of grain, and the fourth batch left untreated (control).

One hundred bean seeds from each batch were placed in a 125 ml transparent well-aerated box that was considered an experimental unit. The boxes were designed to have enough space to accommodate the emergence of the Weevil. The *N. tabacum* leaf powders and seeds were placed in the boxes so as to occupy less than 25% of the volume. The remaining space in the box or experimental unit was large enough to accommodate the upward or downward movement of the insects. According to the table 1, boxes for each bean variety was arranged in a complete randomized design, with four repetitions and four treatments (Control, *N. tabacum* leaf powder, Protect DP and Antouka).

Table 1. Insecticidal treatments of the study

Bean type	Treatments			
	Control (without insecticidal treatment)	<i>N. tabacum</i> leaf powder	Protect DP (Permethrine)	Antouka (Permethrine)
Black bean	N1, N2, N3, N4	NT1, NT2, NT3, NT4	NP1, NP2, NP3, NP4	NA1, NA2, NA3, NA4
Read bean	R1, R2, R3, R4	RT1, RT2, RT3, RT4	RP1, RP2, RP2, RP3	RA1, RA2, RA3, RA4

2.3 DATA COLLECTION

The study was carried for a period of five months (February to June) and the temperature ranged between 17 and 27°C, giving an average of 20.7°C. The different treatments were introduced into transparent plastic jars of 125 ml in volume. This period was selected for the experiment according to the emergence cycle of the bean weevil (30 days) at a temperature of

about 27°C, in order to be able to observe the damages caused by the weevils and to appreciate the effects of the experimental treatments. Low lighting throughout the experiment was intended to avoid disturbing the emerging Weevil thereby modifying their behavior in the boxes. Data was collected on the damage on the seeds and the emergence and mortality of the insects throughout the study.

Perforated seeds

The Weevil perforation index (PI) was used to evaluate damages on the bean seeds. PI for each treatment was calculated according to the formula of Fatope [12]. A PI value greater than 50 means that the product tested has no protective effect on the grains. A PI value was obtained by the following equation:

$$PI = \frac{\% \text{ of perforated seeds treated}}{\% \text{ control perforated seeds} + \% \text{ treated perforated seeds}} * 100 \quad (2)$$

Weevil emergence and mortality

The number of Weevil that emerge: the emergence or absence of emergence of adults is an indicator of the effect or absence of effect of the treatments on the Weevil or their eggs. Counting was manually done every 30 days throughout the trial.

The Weevil mortality rate (MR) was evaluated every 30 days during the experimental period. The contents of each box were dumped on the bench in order to count the dead Weevil and the living Weevil using metal tongs and a spoon. This also gave the number of Weevil that had emerged since the last count. Any individual without reaction of legs and wings after several touches was considered dead. At the end of each manipulation, the materials were cleaned with a white cloth to avoid contamination by other treatments. The MR was calculated by the following equation:

$$MR = \frac{\text{Number of dead bruchids}}{\text{Number of bruchids emerged}} * 100 \quad (3)$$

2.4 DATA ANALYSIS

Collected data were entered into Microsoft excel for cleaning and organization into a spreadsheet. Statistical analysis was performed using SPSS 23.0 software. Analysis of variance was carried and means compared using Fischer test at a threshold of 0.05.

3 RESULTS

3.1 BEAN PRESERVATION SUBSTANCES AND TECHNIQUES USED IN THE HAUTS-PLATEAUX DIVISION

This study showed that synthetic insecticides are mostly used and commonly called "powder" by users who do not master the trade names and application doses. These insecticides contain pyrethroids and/or organophosphates as active substances. The best known insecticide in the study zone according to the information given by farmers is called "RAMBO" which contains permethrin. It is effective, easy to apply, with a shelf life of up to 18 months and available in the local markets. Also, it is expensive and farmers seldom respect the indicated doses.

Farmers often use pesticides without adequate protective measures due to the high rate of illiteracy amongst them. This corroborates findings of a survey conducted in Senegal by [13] that established a positive correlation between the level of education of producers and unsafe practices regarding the use of pesticides. In addition, it is revealed the use of rat poisons, fungicides or herbicides on corn intended for human consumption.

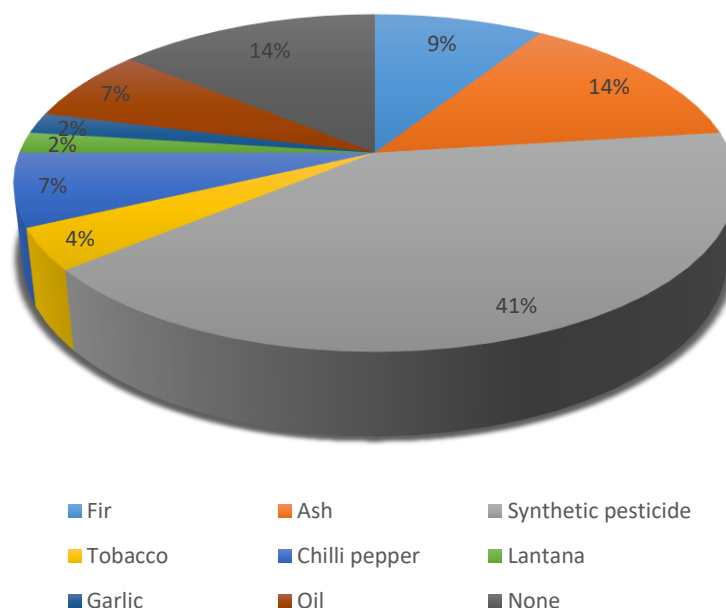


Fig. 2. Frequency of use of bean preservatives

Fig.2 shows different elements use for bean preservation.

Synthetic insecticides mostly used (41%) against bean weevil by farmers while only 14% of farmers do not use any treatment due to the high cost of synthetic insecticides, lack of knowledge on natural substances against weevil, or by the fact that some small producers do not find it useful given that they store the farm produce in a short while.

Cost of tobacco leaves

Tobacco leaves dried to make the powder gave a mass of 216 g. Mass close to that of the small packets of tobacco sold on the markets of Bameka and Bamendjou which varies between 170 g and 200 g and costs 500 FCFA. In comparison, the 50 g sachets of synthetic pesticides used in this study cost 500 FCFA. In the study area, some residents and farmers regularly grow tobacco plants on the edge of homes for other uses, which represents an alternative to buying in markets.

3.2 EFFECT OF TOBACCO POWDER ON BEAN WEEVIL

Perforation index on red bean

According to table 2, perforation index was calculated using the cumulative number of perforated grains for a given period of time. Results showed that thirty days after the start of the test, the untreated bean kernels showed the highest perforation index (50.00). *N. tabacum* leaf powder treatment gave an index of less than 50.00; which indicates a protective effect on the grains. Significant differences were observed between the control and the *N. tabacum* leaf powder treatment throughout the duration of the study. Bean seeds treated with synthetic insecticides showed lower perforation Indices than those of tobacco, therefore more protective, with significant differences between the effects observed at the 30th and 150th days between the Antouka and tobacco. It is observed that all the batches had their maximum perforation during the first 30 days.

Table 2. Weevil perforation indices recorded on red bean during seed storage

Treatment	30 th day	60 th day	90 th day	120 th day	150 th day
Control	50.0±0.0 a	50.0±0.0 a	50.0±0.0 a	50.0 ± 0.0 a	50.0±0.0 a
Tobacco	43.1±4.7 b	43.8±2.9 b	36.0±4.9 b	36.4 ± 2.6 b	35.6±2.6 b
Antouka	36.7±3.1 b	33.4±4.0 c	27.0±3.6 b	26.3 ± 3.5 b	26.1±3.2 c
Protect DP	42.7±4.1 b	38.9±5.1 b	32.1±4.9 b	33.9 ± 9.4 b	30.4±4.5 b

Values (means±standard deviation) in a column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by the test of the least significant difference (PPDS).

Weevil emergence in stored red bean

According to the results in table 3, the number of Weevil that emerged in the batches of stored red beans was higher in the control with the highest (19) recorded during the first month of the experiment. Batches treated with *N. tabacum* leaf powder, Antouka powder and Protect DP recorded the lowest number of Weevil with the best performance for Protect DP as well as peaks in the first month of storage. Cumulatively, the control treatment totals a number of 56 Weevil against 20 for the *N. tabacum* leaf powder treatment. Emergence peaks during the first month of storage is due to the fact that the grains were already infested at the level of the field and the treatments had no effect on the larvae or insects already in the grains. [14] had obtained more significant effects on the number of Weevil emerged with three local plants (Agava, Maesa, Tagetes) from the Kivu province in the DRC in the conservation of three local bean varieties, using higher doses, large ranging from 1% to 3%.

Table 3. Weevil emergence in stored red bean for the tested experimental treatments

Treatment	30 th day	60 th day	90 th day	120 th day	150 th day
Control	19±5 a	12±15 a	17±12 a	4±8 a	4±8 a
Tobacco	17±3 a	2±3 a	1±1 b	0±0 a	0±0 a
Antouka	13±3 a	2±4 a	1±2 b	0±0 a	0±0 a
Protect DP	16±3 a	1±1 a	0±0 b	0±0 a	0±0 a

Values (means±standard deviation) in a column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by the test of the least significant difference (PPDS).

Mortality of Weevil in stored red bean

According to the results in table 4, on the 30th day after setting up the trial, the lowest mortality rate was recorded in the control (48.04%). The treatment of grains with tobacco gave a higher Weevil mortality rate with 58.43% and the highest rate was obtained in grains treated with Protect DP (94.32%).

Table 4. Mortality of Weevil assessed during seed storage of red bean

Treatment	30 th day	60 th day	90 th day	120 th day	150 th day
Control	48.0 ± 18.6 a	13.4±9.0	39.5±25.6	/	14.5±25.2
Tobacco	58.4 ± 11.3 a	57.1±50.8	66.6±28.8	/	/
Antouka	82.2 ± 9.41 b	88.8	100.0±0.0	/	100
Protect DP	94.3 ± 4.2 b	100.0±0.0	/	/	/

Values (means±standard deviation) in a column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by the test of the least significant difference (PPDS).

Perforation index on black bean

According to the results in table 5, observations showed that thirty days after storage, the control treatment recording the highest perforation index (50.00) similar to that of red bean. In the same manner, *N. tabacum* leaf powder treatment gave an index of less than 50.00 indicating a protective effect on the grains. However, no significant difference was observed between the control and the Tobacco treatment throughout the duration of the study probably due insufficient dose of the applied *N. tabacum* leaf powder. This is similar to findings of [15] in the study of the insecticidal effect of the powders of some plants on the conservation of maize seeds against the weevil *Sitophilus Zea mais* observed significant differences between the control and the leaf powder treatments at one dose of 0.2 g per 100 kernels of maize.

Table 5. Weevil perforation indices recorded during storage of black bean seeds according to treatment

Treatment	30 th day	60 th day	90 th day	120 th day	150 th day
Control	50.0±0.0 a	50.0±0.0 a	50.0±0.0 a	50.0±0.0 a	50.0±0.0 a
Tobacco	20.0±40.0 a	20.0±40.0 a	20.0±20.0 a	20.0±40.0 a	20.0±20.0 a
Antouka	20.0±40.0 a	20.0±40.0 a	40.0±23.0 a	40.0±46.0 a	40.0±23.0 a
Protect DP	0.0±0.0 a	20.0±40.0 a	20.0±20.0 a	20.0±40.0 a	40.0±23.0 a

Values (means±standard deviation) in a column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by the test of the least significant difference (PPDS).

Weevil emergence in stored black bean

According to results in table 6, *N. tabacum* leaf powder treatments recorded the lowest number of Weevil that emerged during the storage period. The number of Weevil that appeared in the batches of stored black beans was higher in the control treatment with a peak of at the third month (7.0). During this same period, the batches treated with *N. tabacum* leaf powder had no of weevils. A total of 9 occurrences were observed in the control versus zero in the *N. tabacum* leaf powder treatment. This could be due to the long-lasting effect of the tobacco powder or the fact that the Weevil larvae were inhibited from the start, preventing the proliferation of this pest. This corroborates previous assertion reported by [11] that nicotine is a very rapid contact killer of insects and small soft-bodied organisms.

Table 6. Average numbers of Weevil recorded during grain storage

Treatment	30 th day	60 th day	90 th day	120 th day	150 th day
Control	0.2±0.5 a	0.0±0.0 a	00±0.0 a	1.7±1.5 a	7.0±8.7 a
Tobacco	0.2±0.5 a	0.0±0.0 a	0.0±0.0 a	0.0±0.0 b	0.0±0.0 a
Antouka	0.7±1.5 a	0.0±0.0 a	0.7±1.5 a	0.0±0.0 b	0.0±0.0 a
Protect DP	0,0±0.0 a	0.2±0.5 a	0.0±0.0 a	0.0±0.0 b	0.2±0.5 a

Values (means±standard deviation) in a column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by the test of the least significant difference (PPDS).

Mortality of Weevil in stored black bean

In the case of the stored black bean, the absence of mortality in several batches and the insufficient number of mortality observations in some blocks did not permit the analysis of variance. According to results in table 7, the absence of mortality is linked to the absence of weevil which could be explained by the effect of tobacco powder and other powders in the treated batches.

Table 7. Mortality rate (%) in black bean batches

Treatment	30 th day	60 th day	90 th day	120 th day	150 th day
N1	0	/	/	0	/
N2	/	/	/	50	10
N3	/	/	/	100	/
N4	/	/	/	100	50
NT1	/	/	/	/	/
NT2	/	/	/	/	/
NT3	/	/	/	/	/
NT4	100	/	/	/	/
NA1	/	/	/	/	/
NA2	100	/	/	/	/
NA3	/	/	/	/	/
NA4	/	/	100	/	/
NP1	/	100	/	/	/
NP2	/	/	/	/	/
NP3	/	/	/	/	/
NP4	/	/	/	/	0

This is contrary to the results obtained with the red bean and suggests the red bean is more vulnerable to the pest than the black bean. This observation corroborates the work of [16] who show a lower sensitivity of black beans to Weevil compared to red beans.

4 DISCUSSION

The high use of synthetic insecticides by farmers is similar to the works of [17] and [18] as the best method to prevent pest damage in grains. According to these authors, the advantages of this practice is related to its cost, which can be relatively low, the ease of application and the duration of protection, which can extend over several months. However, poorly conducted applications of insecticides may cause serious drawbacks, including the appearance of resistant strains, chronic intoxication of consumers and a negative impact on the environment.

Results showed that the inert material used in the study zone against bean pest is wood ash. It is sieved to obtain the finest ash, that is mixed with beans and kept in containers or plastic bags. It is used at a dose almost equivalent to a quarter of the volume of the bean to be treated and stored for more than 12 months. Some particularities in the use of wood ash depends on the material that was burnt. Common materials that has proven to be more effective according to the results obtained are the ashes obtained from dried plantain peelings and bean pods. This is similar to findings of [19] in the Far North of Cameroon indicating ashes to be a good repellent of insects that deter posing a mechanical barrier to the penetration of pests. The absence of intergranular voids in the sieved ash, slows down the progress and limits the attacks of Weevil and neonate larvae.

Previous studies showed that plants or some plant parts have been used locally to control insect pests. The techniques used in their preparation and the plant parts used are different. These plants and substances with the exception of *Lantana camara* are different from those listed by [19] and [20] respectively in the North-West region and the Ménéoua Division in Cameroon. The plants identified by these authors include: *Clausena anisata*, *Cupressus sempervirens*, *Capsicum frutescens*, *Chenopodium ambrosioides*, *Eucalyptus saligna* and *Lantana camara*. Traditionally, these plants are commonly used for this type of protection. In the traditional conservation of millets, this same author cites, an odoriferous insecticidal plant, *Hyptis spicigera*, which is a repellent showing chemical effects linked to the emission of volatile products. Without being lethal, the latter acts on the pest by inhibiting its behavior.

5 CONCLUSION

This study that was aimed at investigating the effect of an alternatively low-cost pesticide against an important pest of stored *Phaseolus vulgaris* seeds in the west region of Cameroon showed that the *N. tabacum* leaf powder has a protective effect on

the grains with a perforation index of less than 50 and significantly reduces Weevil perforation. This protective effect is comparable to that of synthetic products commonly used by farmers in the study zone.

In addition, the black bean seems to be more resistant to the weevil *Acanthoscelides obtectus* than the red bean indicating a possible significant interaction between the bean varieties and the insecticidal treatments. Thus, the *N. tabacum* leaf powder that is eco-friendly could be recommended for use to small- and large-scale farmers in the study zone to curb the addition costs involved in the use of synthetic pesticides.

REFERENCES

- [1] FAO, PAM, FIDA, UNICEF, et OMS. L'état de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde: se prémunir contre les ralentissements et les fléchissements économiques, 2019, 253p.
- [2] FAO, PAM, FIDA, UNICEF, et OMS. L'état de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde: renforcer la résilience face aux changements climatiques pour la sécurité alimentaire et la nutrition, 2018, 32p.
- [3] Geerts, P., Toussaint, A., Mergeai, G., and Baudoin, J.P. *Phaseolus* immature embryo rescue technology. Methods In Molecular biology clifton, 2011, 710, 117-129.
- [4] Lienard, V. and Seck, D. Revue des méthodes de lutte contre *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae), ravageur des graines de niébé (*Vigna unguiculata* (L) Walp) en Afrique Tropicale. Insect Science and Its Application, 1994, 15, 301-311. <https://doi.org/10.1017/S1742758400017616>.
- [5] Regnault-Roger, C. et Hamraoui, A. The potential of botanical essential oils for insect pest control. Integrated Pest Management Reviews, 1997, 25-34.
- [6] Ngamo, L.S.T., et Hance, T. Diversité des ravageurs des denrées et méthodes alternatives de lutte en milieu tropical, in Tropicultura, 2007, 25 (4), 215-220.
- [7] Kumar, R. La lutte contre les insectes ravageurs. La situation de l'agriculture africaine. Editions Karthala et CTA, Pays-Bas, Paris, 1991, 310.
- [8] Gilden, R.C., Huffling, K. and Sattler, B. Pesticides and health risks. Journal of Obstetric, Gynecologic, & Neonatal Nursing, 2010, 39, 103-110.
- [9] Mukendi, R., Tshilenge, D.K., Nkongolo, C. et Munyuli, T.M.B. Efficacité des plantes médicinales dans la lutte contre *Ootheca mutabilis* Sahlb. (Chrysomelidae) en champ de niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) en RD-Congo. Libanese Sciences Journal, 2014, 15 (1) 51-72.
- [10] Lichtenstein, E.P. Insecticides occurring naturally in crops. Adv. Chem. 1996, Ser. 53, 34-38.
- [11] Anjarwalla, P., Belmain, S., Sola, P., Jamnadass, R., et Stevenson, P.C. Guide des plantes pesticides. World Agroforestry Centre (ICRAF), Nairobi, Kenya, 2016, 74.
- [12] Tshilenge, P.D.K., et Muniengi, B.I. Effet insecticide des poudres de quelques plantes sur la conservation des semences de maïs contre les charançons *Sitophilus zeamais* Motsch. Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture, 2018, 1 (2), pp.9-13.
- [13] Gueye, M.T., Badiane, M., Ndiaye, A.B., Mbaye, I., Diouf, M., et Ndiaye, S. La protection des stocks de maïs au Sénégal: enquêtes sur les pratiques d'utilisation des pesticides et plantes à effet insecticide en milieu paysan. ITA Echos, 2008, 3, 12.
- [14] Mushambanyi, T. Effet de différentes poudres végétales sur l'infestation des semences de légumineuses et de céréales au cours de la conservation au Kivu (République démocratique du Congo). Cahiers Agricultures, 2003, 12, 23-31.
- [15] Pretty, J., and Hine, R. Pesticide use and the environment in The pesticide detox - Towards a More Sustainable Agriculture. EARTHSCAN: London, Sterling, VA, 2005, 293.
- [16] Djomaha, E., et Ghogomu, R. Sensibilité de 23 variétés de haricot commun aux bruches. Lutte biologique contre les charançons du haricot commun: utilisation des variétés résistantes. Editions universitaires européennes, 2011, 56p.
- [17] Gueye, M.T. Gestion intégrée des ravageurs de céréales et de légumineuses stockées au Sénégal par l'utilisation de substances issues de plantes. Thèse de doctorat, Université de Liège –Gembloux Agro-Bio Tech, 2012, 216.
- [18] Seignobos, C. Stratégies de conservation du grain. In: Seignobos Christian (ed.), Iyébi-Mandjek O. (ed.). Atlas de la province Extrême-Nord Cameroun. Yaoundé (CMR); Paris: MINREST; IRD, 2000, 107-110. ISBN 2-7099-1444-1.
- [19] Parh, I.A., Forbuzo, B.C., Matheney, E.L. and Ayafor, J.F. Plants used for control of insects pests on stored grains in parts of North west Highland Savannah Zone of Cameroon. Sciences Agronomiques et Développement, 1998,1 (1), 54-60.
- [20] Tapondjou, L.A., Bouda, H., Fontem, D.A., Zapfack, L., Lontsi, D. and Sondengam, B.L. Local plants used for traditional stored product protection in the Menoua division of the western highland of Cameroon. Integrated Protection of Stored Products, IOBC Bulletin, 2000, 23 (10), 73-77.

Caractéristiques physico-chimiques de composts à base de résidus végétaux et de déjections animales et leurs effets sur des paramètres de croissance et de rendement de la tomate sur sols sableux

[Physico-chemical characteristics of composts based on plant residues and animal manure and their effects on growth and yield parameters of tomato on sandy soils]

Joséphine Ama Tamia Épse Abina¹, Yannick Boa Brindou Brou^{1,2}, Firmin Kouassi Yéboua¹, Thierry Lekadou Tacra², and Engueran Djaha Konan²

¹Laboratoire de Géosciences et Environnement, Unité de Formation et de Recherche des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université NANGUI ABROGOUA (UNA) Abidjan (Côte d'Ivoire), 02 BP 801 Abidjan, Côte d'Ivoire

²Station de recherche sur le cocotier Marc Delorme, Port-Bouët (Côte d'Ivoire), Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), 07 BP 13 Abidjan 07, Côte d'Ivoire

Copyright © 2022 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In the face of soil degradation and current climatic variability, new adaptation practices such as the use of organic residues as biofertilisers are needed. Thus, two composts based on water hyacinths and pollen hulls, enriched with layer droppings for the first and ox dung for the second, were produced for 6 months. The study aimed to evaluate the effect of the composts on the growth and mass of tomato fruits. Their effects on fruit growth and mass were evaluated in a three-block randomised Fisher design. Composting was monitored by determining temperature, pH and moisture content. During composting, compost 1 had a maximum temperature of 52°C and compost 2 had a maximum temperature of 45°C. At the end of the composting process, the C/N ratios of compost 1 and 2 were 10.73 and 12.18 respectively, with pH values of 6.94 and 7.23. The N, P, K contents of compost 1 were 32.47, 20.1 and 25.2 g/kg/MS respectively, higher than those of compost 2, with 14.6, 3.72 and 13.14 g/kg/MS respectively. Also, the plants in the compost 1 treatments had better growth and produced fruits with a higher unit mass (52.39 g). Thus, the compost based on water hyacinths and pollen shells, enriched with layer droppings, could be used as an alternative to mineral fertilisers.

KEYWORDS: Composts, tomato, plant growth, fruit mass, sandy soils.

RESUME: Face à la dégradation des sols et à la variabilité climatique actuelle, le recours à de nouvelles pratiques d'adaptation comme l'utilisation de résidus organiques en biofertilisants s'impose. Ainsi, deux composts à base de jacinthes d'eau et de coques de pollens, enrichis aux fientes de pondeuses pour le premier et aux bouses de bœufs pour le deuxième, ont été produits durant 6 mois. L'étude visait à évaluer l'effet des composts sur la croissance et la masse des fruits de la tomate. Leurs effets sur la croissance et la masse des fruits ont été évalués sur la base d'un dispositif de Fisher randomisé en trois blocs. Le suivi du compostage a consisté à déterminer la température, le pH et le taux d'humidité. Au cours du compostage, le compost 1 avait une température maximale de 52°C et celle du compost 2 était 45°C. En fin de compostage, les rapports C/N des composts 1 et 2 ont été, respectivement, 10,73 et 12,18 avec des pH respectifs de 6,94 et 7,23. Les teneurs N, P, K, respectives 32,47; 20,1 et 25,2 g/kg/MS du compost 1 ont été plus élevées que celles du compost 2, avec, respectivement 14,6; 3,72 et 13,14 g/kg/MS. Aussi, les plants des traitements à base du compost 1 ont-ils eu une meilleure croissance et produit des fruits de masse unitaire (52,39 g) plus élevée. Ainsi, le compost à base de jacinthes d'eau et des coques de pollens, enrichi à la fiente de pondeuses, pourrait servir d'alternative aux engrais minéraux.

MOTS-CLÉS: Composts, tomate, croissance des plants, masse fruits, sols sableux.

1 INTRODUCTION

L'Afrique de l'Ouest, à l'instar des autres régions du monde, connaît depuis ces dernières décennies des variabilités climatiques qui se manifestent par des changements de régime pluviométrique [1] avec des sécheresses de longue durée et des inondations à des périodes inattendues [2] qui limitent les activités agricoles. Outre l'irrégularité des pluies ou leurs mauvaises répartitions, la disparition ou la mauvaise pratique de la jachère, l'agriculture intensive et l'emploi excessif de fertilisants minéraux [3] sont les causes majeures de dégradation des sols, rendant plus aléatoires la mise en place et les rendements des cultures.

En zone littorale de Côte d'Ivoire, notamment à Abidjan, précisément à Port-Bouët, les sols exploités en cultures maraîchères sont constitués de sables tertiaires à quaternaires. Ces sols caractérisés par de faibles teneurs en matière organique et en azote, sont très pauvres en éléments nutritifs et présentent de faibles capacités d'échange cationique [4]. Par ailleurs, ces sols sont appauvris par leur surexploitation en cultures continues liées à la pression démographique [5]. En effet, le recours à de nouvelles pratiques culturales, telles que l'utilisation de résidus organiques en compost, s'intégrant dans les principes de développement durable [6], devient impératif. Ainsi, l'usage de compost dans ces sols sableux, présente de nombreux avantages tels que la réduction des émissions de gaz à effets de serre par la séquestration du carbone, la diminution de volume des déchets [7], la limitation de l'utilisation d'engrais minéraux et la restauration des sols [8]. Ces effets bénéfiques des composts dépendent de la qualité des matériaux utilisés et du degré de maturité du compost [9].

De plus, les activités anthropiques, telles que le rejet des eaux usées domestiques et autres affluents dans les milieux récepteurs, provoquent une contamination des différentes composantes de l'environnement. Ces rejets favorisent le phénomène d'eutrophisation avec un développement de macrophytes envahissantes comme la jacinthe d'eau [10] et son impact négatif sur les activités tributaires des plans d'eau et sur la biodiversité [11]. Au regard de sa capacité de reproduction et son adaptabilité, sa valorisation demeure un moyen efficace de son éradication [12]. Aussi, des études ont-elles montré que la jacinthe d'eau combinée aux déjections animales, telles que les fientes de volailles, contribue à sa dégradation rapide et améliore son potentiel de fertilisation [13]. Face à ce constat, la valorisation de la jacinthe d'eau par l'entremise de la production de biofertilisants pourrait constituer un moyen écologique de lutte contre son infestation.

L'étude vise à évaluer des caractéristiques de deux types de compost à base de jacinthe d'eau et leurs effets sur la croissance et la masse des fruits de la culture de tomate pour une meilleure vulgarisation et production à grande échelle.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 SITE D'ÉTUDE

L'étude a été réalisée à la Station de Recherche Marc Delorme du CNRA, dans la commune de Port-Bouët, à 12 km de l'axe routier Abidjan-Bassam, au Nord-Est de Gonzagueville, en bordure d'une branche de la lagune Ébrié (Figure 1). Cette station s'étend entre les coordonnées géographiques 3°54'-3°55' de longitude Ouest et 5°14'-5°15' de latitude Nord [14].

Sur le plan géologique et du point de vue de la lithologie, le district d'Abidjan est constitué, de haut en bas, de sables argileux, de sables moyens et de sables grossiers [15]. La station Marc Delorme repose sur un sol constitué de sable tertiaire typique des savanes littorales [16]. Ces sols sont pauvres en matières organiques avec un complexe absorbant très faible. Ils sont meubles, profonds et aérés [17] où la fertilisation organique est nécessaire pour l'agriculture.

2.2 MATÉRIEL VÉGÉTAL

L'étude a porté sur la tomate COBRA, variété commerciale à croissance déterminée, tolérante au flétrissement bactérien et cultivée dans la zone d'étude. Elle a un cycle cultural de 120 jours. Cette variété a été choisie pour sa forte consommation, son exigence en éléments minéraux et les contraintes édaphiques liées à sa culture.

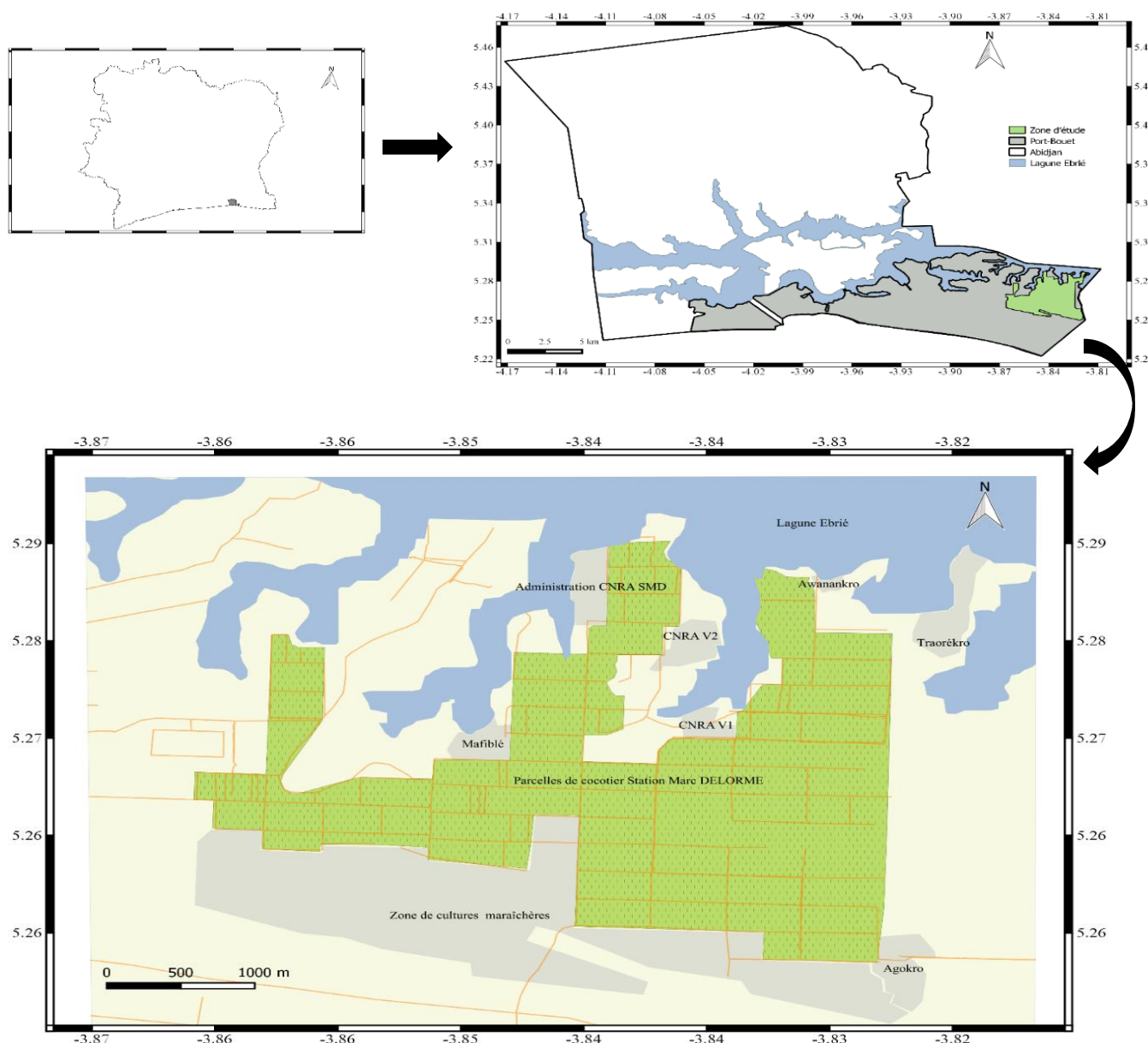


Fig. 1. Situation géographique de la station de recherche Marc Delorme [18]

2.3 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

L'essai a été conduit suivant un dispositif en blocs de Fisher randomisé comportant trois (3) blocs et quatre (4) traitements qui sont:

- T0: sans apport (témoin absolu);
- T1: engrais minéraux (NPK (12-22-22), urée (46-0-0), sulfate de potassium (0-0-50));
- T2: engrais organiques (compost 1 (mélange de jacinthes d'eau + coques de pollens + fientes de pondeuses));
- T3: engrais organiques (compost 2 (mélange de jacinthes d'eau + coques de pollens + bouses de bœufs)).

L'essai a été réalisé sur une superficie de 288 m² (18 m x 16 m) (Figure 2). Chaque parcelle élémentaire, faisant 12 m² (3 m x 4 m), comprenait 3 billons de longueur 3,5 m chacun et orienté dans le sens de la largeur (Figure 3). Les plants ont été repiqués sur les billons, à raison de 8 plants chacun, soient 24 plants par parcelle élémentaire. Les écartements étaient de 0,5 m entre les plants et 1 m entre les lignes, avec 1 plant par poquet, soit une densité de 20000 plants à l'hectare.

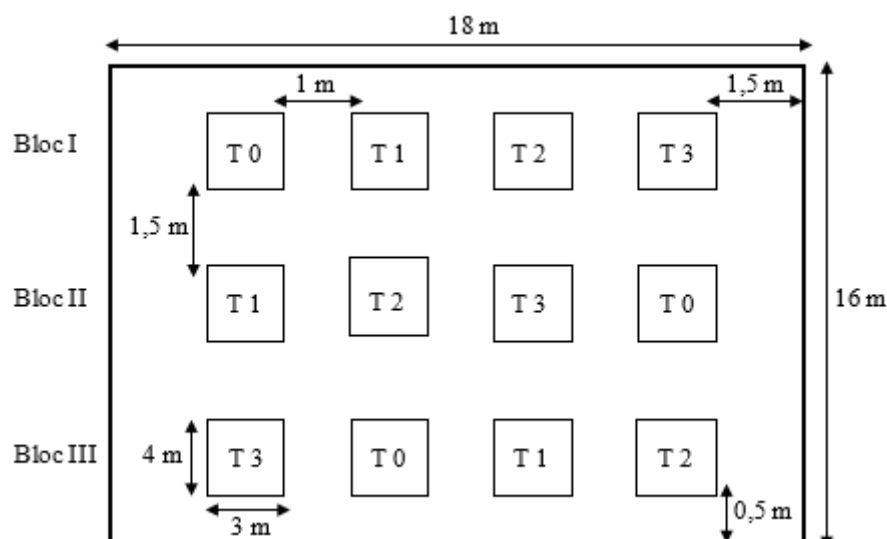


Fig. 2. Dispositif expérimental

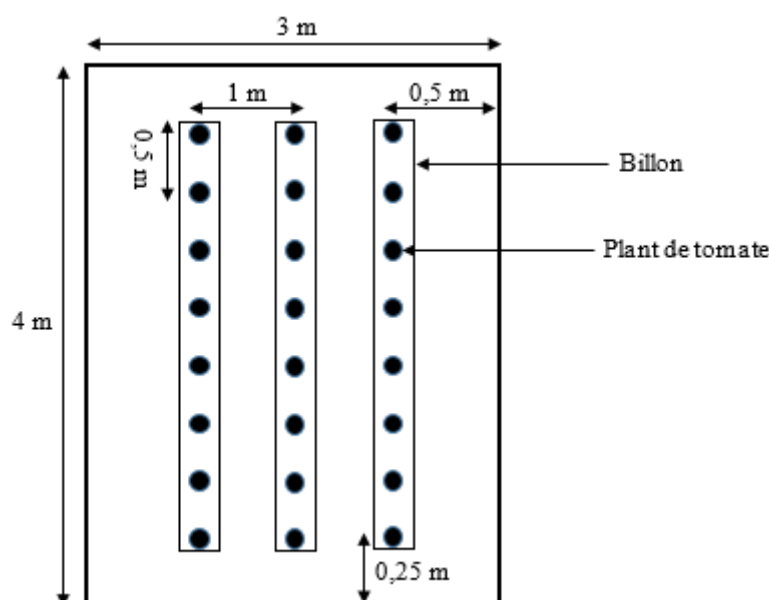


Fig. 3. Plan d'une parcelle élémentaire

2.4 MATÉRIAUX DE COMPOSTAGE

Les matériaux de compostage (Photo 1) étaient composés de coques de pollens (a), jacinthes d'eau (b), bouses de bœufs (c) et de fientes de pondeuses (d). Les jacinthes d'eau, plantes aquatiques envahissantes, ont été collectées sur le plan d'eau de la branche de la lagune Ébrié qui borde la station. Les coques de pollens ont été obtenues après émasculature et traitement des pollens au laboratoire. Les fientes de pondeuses ont été collectées dans des fermes et les bouses de bœufs dans des pâturages non loin de la station. Les différentes quantités de matériaux ont été pesées et mélangées en fonction de la composition de chaque compost.

- Coques de pollens: 90 kg;
- Jacinthes d'eau: 560 kg;
- Bouses de bœufs: 200 kg;
- Fientes de pondeuses: 200 kg.

Les composts 1 et 2 ont nécessité, au total, 850 kg de matériaux chacun.



Photo 1. Matériaux de compostage

2.5 COMPOSTAGE

Le compostage a été inspiré de la méthode Indore [19] et celle de Bereley [20]. Les matériaux ont été compostés durant 6 mois dans des fosses carrées de 2 m de côté et de 1 m de profondeur. Les matériaux ont été constitués en tas, en les superposant en couches successives de bas en haut, selon l'ordre suivant:

- compost 1: une couche de jacinthes d'eau; une couche de coques de pollens et une couche de fientes de pondeuses;
- compost 2: une couche de jacinthes d'eau; une couche de coques de pollens et une couche de bouses de bœufs.

La température, le pH et le taux d'humidité ont été déterminés chaque mois. Le premier retournement des tas a été effectué sept (07) jours après la mise en tas. Les autres retournements ont été espacés de quinze (15) jours, permettant ainsi d'aérer les matériaux pendant leur décomposition.

Après maturation, les composts 1 et 2 pesaient, respectivement, 359,2 kg et 381 kg avec des taux d'humidité respectifs de 64,50 % et 62,85 %. Ils ont fait l'objet d'une immersion dans des fûts d'eau pendant sept jours pour éliminer les éléments fermentescibles comme les sucres et de stériliser les substrats par l'élimination de certains agents pathogènes (bactéries, champignons, insectes etc.) par asphyxie. Enfin, les composts ont été séchés au soleil pendant 7 jours puis conservés dans des sacs.

2.6 ÉCHANTILLONNAGES ET ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DU SOL ET DES MATÉRIAUX DE COMPOSTAGE

Les échantillons de sol et de composts ont été analysés dans le Laboratoire Sol-Eau-Plante de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) de Farako-Bâ (Burkina Faso) selon les modes opératoires décrits par [21] et le Laboratoire d'Analyses des Végétaux et Sols (LAVESO) de l'École Supérieure d'Agronomie (ESA) de l'Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny (INP-HB) de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire).

2.6.1 Sol

Des échantillonnages de sol ont été effectués dans la couche 0-40 cm du sol de la parcelle expérimentale avant l'essai pour évaluer son niveau de fertilité initial. En effet, Cinq (5) prélèvements de sol, à l'aide d'un tube cylindrique [22], ont été faits selon la méthode d'échantillonnage en diagonale décrite par [23]. Ces échantillons élémentaires ont été mélangés et homogénéisés pour obtenir un échantillon composite, selon la méthode de [24]. Ces échantillons ont été séchés à l'air libre jusqu'à une masse constante. Ensuite, tamisés à 2 mm et réservés dans des sachets plastiques pour des analyses physico-chimiques.

En effet, le pH_{eau} a été déterminé par la méthode électrométrique dans une solution avec un rapport sol/eau de 1/2,5. Les teneurs en carbone et en matière organiques ont été déterminées par la méthode de WALKLEY-BLACK (1934). Celles en azote total et en phosphore assimilable ont été déterminées, respectivement, par les méthodes Kjeldahl et Bray 1. La capacité d'échange cationique (CEC) et la teneur en cations (Ca^{2+} , K^+ , Na^+ et Mg^{2+}) ont été déterminées par la méthode Metson décrite dans la norme NF X31-130 [25].

2.6.2 COMPOSTS

L'échantillonnage du compost, la mesure du pH et du taux d'humidité ont été réalisés sur des échantillons prélevés à plusieurs endroits du tas (aux côtés, au centre, à la surface et à l'intérieur). 100 g d'échantillons ont été prélevés, à chaque endroit, pour obtenir un mélange homogène d'échantillon composite de 500 g.

Les échantillons ont fait l'objet d'analyses des métaux lourds (Cu, Pb, Ni, Cd) par spectrométrie à absorption atomique après reprise en milieu acide à chaud des cendres de minéralisation. Le pH a été déterminé chaque mois par la méthode électrométrique dans une suspension sol/eau (1/2,5). Les teneurs en carbone et en azote ont été obtenues, respectivement, par la méthode de combustion sèche (Dumas), décrite dans la norme NF ISO 10694, et de KJELDAHL [26]. Celle en matière organique a été déterminée en multipliant la teneur en carbone organique par 1,724. La détermination des éléments P, K, Ca, Na et Mg a été faite par spectrophotométrie d'absorption atomique. La teneur en minéraux a été exprimée par rapport à la quantité de matière sèche de l'échantillon en g/kg.

2.7 MESURE DES PARAMÈTRES DE CROISSANCE ET LA MASSE DES FRUITS

Les mesures sur les plants ont débuté sept (07) jours après repiquage (JAR) et se sont poursuivies à intervalle de 07 jours jusqu'au 35 JAR. Ces mesures ont porté d'une part sur les paramètres de croissance: la longueur de tiges des plants et le diamètre au collet et d'autre part, sur quelques composantes de rendement (la masse totale de fruits et la masse moyenne de fruits). Ces paramètres de croissance et composantes de rendement ont été déterminés comme suit:

- Longueur de la tige des plants de tomate: À l'aide d'un mètre ruban, la mesure a été faite du collet au sommet de la plante.
- Diamètre au collet: la mesure a été faite en appuyant le pied de la règle sur la première extrémité au collet de la tomate, en agissant sur la coulisse jusqu'à ce que la jauge touche l'autre extrémité. La lecture de la mesure s'effectue sur le vernier.
- Masse totale de fruits: elle a été déterminée par addition des masses de fruits récoltés depuis la première récolte jusqu'à la fin de la dernière récolte.
- Masse moyenne de fruit: Elle a été calculée de la première à la dernière récolte et correspond au rapport de la masse totale de fruits sur le nombre total de fruits.

2.8 ANALYSE STATISTIQUE

Les données obtenues ont été saisies et organisées à l'aide du tableur Excel de Microsoft Office. Il a servi également à confectionner les matrices d'analyse et la construction des graphiques. Les analyses de variance et la comparaison des moyennes ont été réalisées à l'aide du logiciel STATISTICA version 7.1. Le test de Duncan a été choisi pour comparer les moyennes lorsque l'analyse des variances révèle des différences significatives entre les traitements au seuil de probabilité de 5 %.

3 RÉSULTATS

3.1 ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE ET DU PH DES COMPOSTS

La température et le pH ont évolué suivant trois phases (Figures 4 et 5). La première présente une augmentation des températures des deux composts jusqu'au 2^e mois, atteignant ainsi 52°C pour le compost 1 et 45°C pour le compost 2 avec, parallèlement, des baisses de pH respectives de 5,45 et 6,62. À la deuxième phase, intervenue du 2^e au 4^e mois, les températures ont baissé jusqu'à 40 et 37 °C respectivement, avec une augmentation respective des pH à 7,06 et 7,55. La troisième montre une baisse progressive des températures respectives des deux composts jusqu'à 32 et 31°C. Quant aux pH, ils se sont stabilisés à 7,23 pour le compost 2 et 6,94 pour le compost 1.

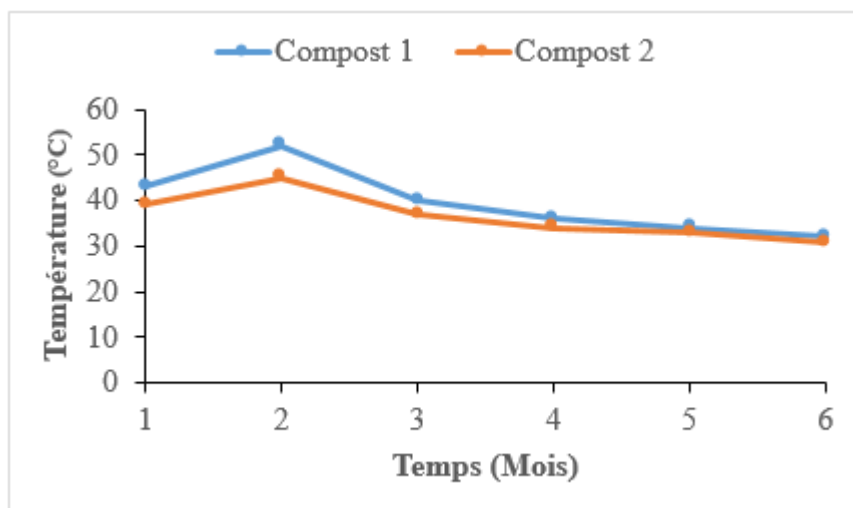


Fig. 4. Évolution de la température au cours du compostage

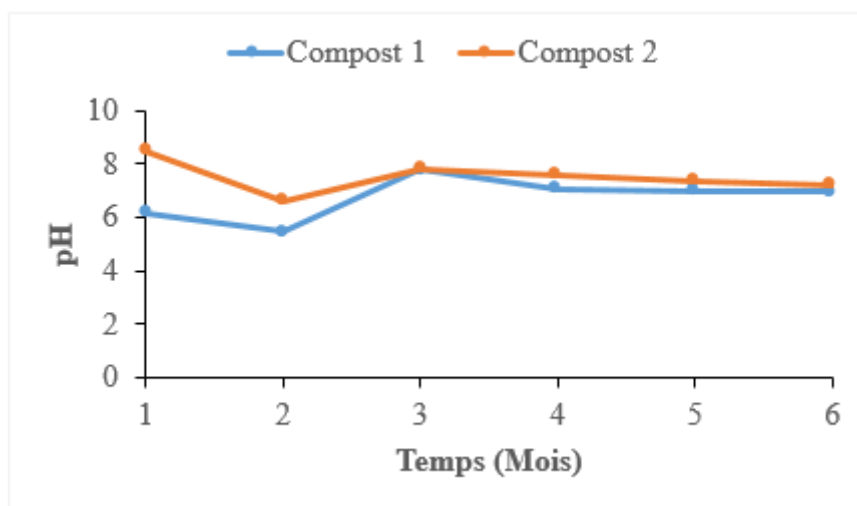


Fig. 5. Évolution du pH au cours du compostage

3.2 COMPOSITION PHYSIQUE ET CHIMIQUE DU SOL ET DES COMPOSTS

Les résultats obtenus (Tableau 1) après analyse montrent que les sols sont de texture sableuse à prédominance sable fin, profonds, bien drainés et bien aérés favorable au développement racinaire des plantes. La teneur en matière organique, en azote total et en potassium sont respectivement de 1,03; 0,06; 0,21 %. Celle du phosphore assimilable s'élève à 2,55 ppm. Le sol présente des teneurs en azote et en matière organique très faibles et un pH (5,77) légèrement acide.

Tableau 1. *Caractéristiques physico-chimiques du sol avant l'expérimentation*

Paramètres physiques	Profondeur 0-40 cm
Sables (%)	94,3
Limons (%)	3,2
Argiles (%)	0,5
Texture	Sableuse
Paramètres physico-chimiques	
pH _{eau}	5,77
C tot (%)	0,63
N tot (%)	0,06
MO (%)	1,03
C/N	10,05
P ass (ppm*)	2,55
CE (µS/cm à 25°C)	81,8
Ca (cmol _c /kg)	1,24
K (cmol _c /kg)	0,21
Mg (cmol _c /kg)	0,58
Na (cmol _c /kg)	0,05
S (cmol _c /kg)	2,08
CEC (cmol _c /kg)	5,15

*1 ppm = 1 mg/kg; S: somme des cations échangeables

Le tableau 3 présente les caractéristiques chimiques des engrais organiques appliqués. Il ressort de l'analyse, une richesse en nutriments majeurs, azote (32,47 g/kg/MS), phosphore (20,10 g/kg/MS) et potassium (25,20 g/kg/MS), du compost 1 (enrichi avec les fientes de poules, les jacinthes d'eau et les coques de pollens) comparativement au compost 2 (enrichi avec les bouses de bœufs; les jacinthes d'eau et les coques de pollens) respectivement 14,60; 3,72 et 13,14 g/kg/MS. Au regard des résultats d'analyse du tableau 2, une perte considérable de nutriments des matières premières tout au long du processus de compostage est notée avec pour conséquence, la baisse de la teneur en nutriments dans les composts produits.

Tableau 2. *Caractéristiques chimiques des matériaux de compostage*

Paramètres	Bouses de bœufs	Fientes de poules	Jacinthes d'eau	Coques de pollens
pH _{eau}	7,81	7,68	7,02	6,20
C (g/kg/MS)	1,69	2,95	110	26,30
N (g/kg/MS)	21,30	34,70	7,51	7,40
MO (%MS)	16,96	52	27	54,70
C/N	12,56	11,76	14,65	3,50
P (g/kg/MS)	6,10	11	10,60	1,00
K (g/kg/MS)	11,70	18,60	3,8	7,60
Ca (g/kg/MS)	10,80	26,60	2,06	0,60
Mg (g/kg/MS)	5,40	4,40	3,11	0,30

Tableau 3. *Teneur en éléments nutritifs des composts*

Paramètres	Compost 1	Compost 2
pH _{eau}	6,94	7,23
C (g/kg/MS)	348,4	177,85
N (g/kg/MS)	32,47	14,6
MO (%MS)	34,23	31,67
C/N	10,73	12,18
P (g/kg/MS)	20,1	3,72
K (g/kg/MS)	25,2	13,14
Ca (g/kg/MS)	39,73	10,3
Mg (g/kg/MS)	10,29	4,01

Selon les propositions de [27], revue en 2016 [28], le besoin de la tomate en matière organique a été estimé à 20 t/ha, 200 kg de NPK (12-22-22), 100 kg d'urée ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) et 200 kg de sulfate de potassium (K_2SO_4). À partir de ces doses et des résultats des analyses chimiques, les quantités de chaque compost et fumure à appliquer pour avoir les traitements envisagés ont été définies (Tableau 4). Par exemple, 333,33 g de bouses de bœufs appliquées par plant correspond à environ 7,10 g d'azote (N); 2,03 g de phosphore (P) et 3,90 g de potassium (K) et 333,33 g de fientes de pondeuses correspond à environ 11,57 g d'azote (N); 3,67 g de phosphore (P) et 6,20 g de potassium (K).

Tableau 4. Doses d'intrants apportés par unité expérimentale

Traitements	Désignation	Apport	
		Dose (g/m ²)	Dose/plant (g)
T0	Témoin absolu	-	-
T1*	Engrais minéraux	NPK	20
		Urée	10
		Sulfate de potassium	20
T2	Compost 1	2000	333,33
T3	Compost 2	2000	333,33

*T1 (engrais minéraux) = NPK; Urée et Sulfate de potassium

3.3 COMPOSITION DES COMPOSTS EN MÉTAUX LOURDS

Les résultats du tableau 5 ont révélé, d'une part, que les taux de métaux lourds du compost 1 sont nettement supérieurs à ceux du compost 2 et d'autre part, que les taux de métaux lourds des deux composts restent inférieurs aux normes internationales [29]. En d'autres termes, les composts peuvent être appliqués au sol sans risques majeurs.

Tableau 5. Teneur en métaux lourds des composts par rapport aux normes internationales

Métaux lourds (mg/kg MS)	Cu	Pb	Ni	Cd
Compost 1	43	54,1	13	0,84
Compost 2	32,15	46	10,12	1,1
Norme: Norme NF U 44-051	300	180	60	3
Norme: CAN/BNQ 0413-200	400	150	62	3

3.4 EFFETS DES COMPOSTS SUR LA LONGUEUR DES TIGES DES PLANTS

L'analyse de la Figure 6 a montré qu'il y a une évolution progressive de la longueur des tiges en fonction des traitements. Les traitements à base de composts ont obtenu des longueurs moyennes de tiges supérieures au traitement à base d'engrais minéraux qui l'a été davantage par rapport au témoin. La plus grande longueur de tiges (71,04 cm) atteinte au 35 JAR a été observée sur le traitement T2 et la plus faible (47,96 cm) par le traitement T0. D'une manière générale, les traitements à base de composts T2 et T3 ont eu des longueurs moyennes de tiges proches, du 07 au 35 JAR.

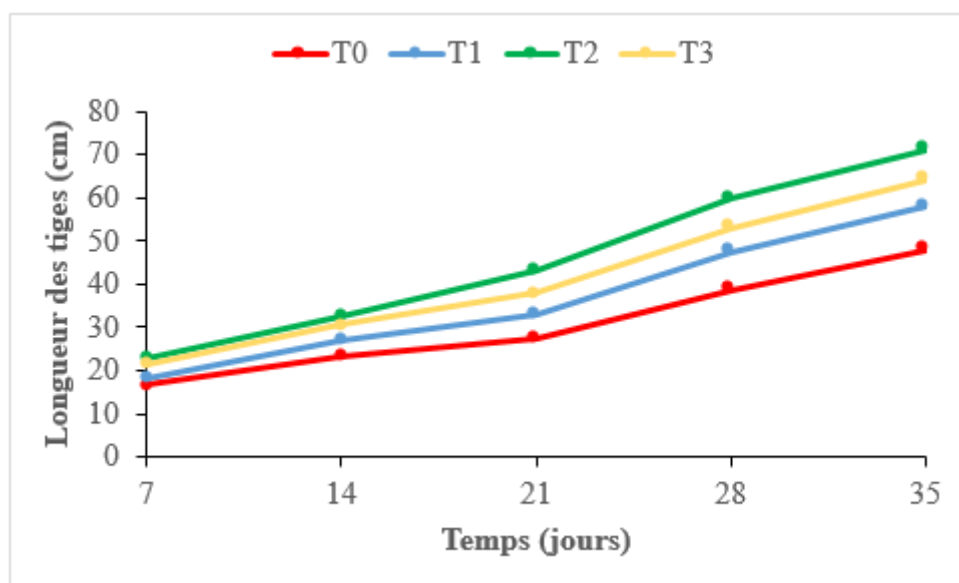


Fig. 6. Évolution de la longueur des tiges des plants de tomate au cours du temps selon le traitement

3.5 EFFETS DES COMPOSTS SUR LE DIAMÈTRE AU COLLET

Les résultats présentés à la figure 7, montrent une croissance progressive du diamètre au collet des plants de tomate selon le nombre de jours d'observation et le traitement. Les meilleurs diamètres au collet ont été observés au niveau des traitements composts (T2 et T3), avec une légère supériorité des traitements engrais minéraux (T1) suivies des traitements sans apport (T0). Le traitement T2 a obtenu le diamètre au collet le plus élevé qui a varié de 0,52 à 1,06 cm contre 0,39 à 0,86 cm (le plus faible) pour le témoin T0 sans apport, entre 07 et 35 JAR.

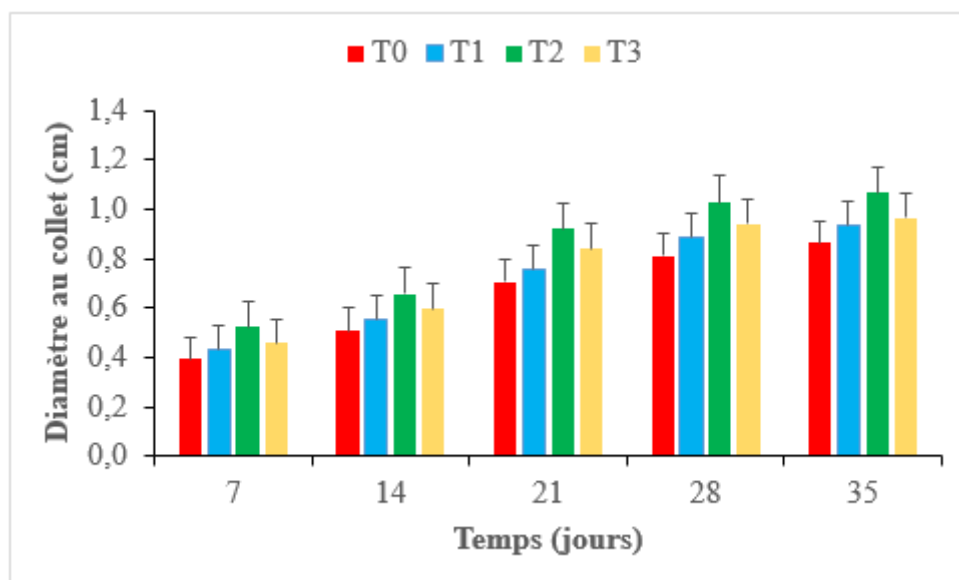


Fig. 7. Diamètre au collet des plants de tomate selon le traitement

3.6 EFFETS DES COMPOSTS SUR LA MASSE DES FRUITS

Le tableau 6 présente l'effet des traitements sur la production totale des fruits. Il ressort des analyses que les traitements ont eu un effet significatif sur la masse totale et moyenne des fruits. La masse totale moyenne de fruits produit a été $2,13 \pm 0,38$ kg alors que la moyenne de la masse moyenne d'un fruit par plante est $39,20 \pm 3,54$ g. Le compost 1 (T2) a produit la masse totale de fruits et la masse moyenne de fruit unitaire par plante la plus élevée respectivement $3,44 \pm 0,52$ kg et $52,39 \pm 1,69$ g. Par contre, les plus faibles masse totale

de fruits ($0,42 \pm 0,16$ kg) et masse moyenne de fruit unitaire par plante ($22,00 \pm 1,68$ g) ont été enregistré par le témoin (T0). En général, les traitements composts (T2 et T3) ont enregistré plus de gros fruits que les traitements engrais minéraux (T1) qui eux ont obtenus des fruits moyens.

Tableau 6. Effets des traitements sur la masse des fruits

	Masse totale fruits (kg)	Masse moyenne fruit (g)
T0	$0,42 \pm 0,16$ a	$22,00 \pm 1,68$ a
T1	$2,05 \pm 0,45$ b*	$36,01 \pm 3,44$ b
T2	$3,44 \pm 0,52$ c	$52,39 \pm 1,69$ d
T3	$2,61 \pm 0,51$ b	$46,37 \pm 2,14$ c
Moyenne	$2,13 \pm 0,38$	$39,20 \pm 3,54$
Probabilité	0,0001	0,0001
Significativité	HS	HS
CV (%)	30,37	8,99

4 DISCUSSION

4.1 ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE ET DU PH DES COMPOSTS

Trois grandes phases lors du compostage des résidus organiques ont été observées tout comme [30]. Mais [31] a subdivisé le processus de décomposition de la matière organique par compostage en quatre phases que sont: les phases mésophile, thermophile, de refroidissement et de maturation. La phase mésophile correspond à la phase initiale de décomposition de la matière organique. Elle se traduit par une forte activité biologique qui engendre une élévation de la température. La phase thermophile ou phase de réchauffement qui se caractérise par une élévation de la température des composts atteignant un maximum au 2^{ème} mois pourrait être due aux composés facilement décomposables comme les protéines, glucides et lipides par les organismes thermophiles. Cette phase atteste du bon déroulement du compostage [32]. À partir du 2^{ème} mois jusqu'au 4^{ème} mois s'en est suivi la phase de refroidissement correspondant à une baisse de la température des composts. Cela pourrait s'expliquer par la diminution de la quantité de matière organique facilement dégradable. Autrement dit, le ralentissement de l'activité microbienne. Selon [32], le refroidissement qui précède la maturation du compost est caractérisé par une baisse des températures qui passent de 50 à 30°C. Après le 4^{ème} mois, la baisse progressivement de la température qui s'est stabilisée au 6^{ème} mois autour de 32°C expliquerait la maturité des composts. Les résultats obtenus sont en phase avec ceux de [33] qui ont montré que la phase finale du compostage au cours de laquelle la température atteint celle du sol, soit 20 à 30°C, correspond à la phase de maturation. S'agissant du pH sont suivi renseigne sur le degré de décomposition biologique et biochimique des matériaux de compostage. En effet, pendant la décomposition deux phases distinctes caractérisées par des oscillations de pH se sont succédé: une phase traduisant une baisse du pH (phase acidogène) au cours du processus de dégradation [6], [33] suivie d'une phase d'augmentation de la température (alcalinisation) caractérisée par une hydrolyse bactérienne de l'azote avec production d'ammoniac associée à la dégradation des protéines et à la décomposition d'acides organiques [34]. Le pH est un indicateur de la maturité du compost comme stipule [35]. Pour cet auteur le pH des composts mûrs varie entre 7 et 9 alors que celui des composts immatures serait acide. Les composts ont donc atteint la maturité.

4.2 COMPOSITION PHYSIQUE ET CHIMIQUE DU SOL ET DES COMPOSTS

Les teneurs en azote et en matière organique du sol sont très faibles et un pH légèrement acide. Ce qui signifie que ces propriétés chimiques sont, en général, mauvaises hormis la conductivité électrique (CE) qui atteste sa non salinité et les éléments minéraux sont faiblement disponibles pour une croissance optimale des plantes.

Le rapport C/N des composts a varié de 10,73 à 12,18. À cet effet, [36] rapporte dans ses travaux qu'un compost mûr serait caractérisé par un rapport C/N compris entre 10 et 15. Les composts à rapport C/N inférieur à 10 ont été caractérisés d'instables et à faible dose de composés humifères par [37]. Pour cet auteur, la minéralisation de la matière organique des composts à rapport C/N inférieur à 10 se ferait rapidement. Ces composts auront donc tendance à libérer plus rapidement les éléments minéraux comme le ferait les engrais de synthèse. Les travaux effectués sur les composts à base de fumier de volaille rapporté par [38] ont montré que ceux-ci sont nettement plus riches en éléments minéraux que les composts issus des fumiers de bovins. L'obtention d'un pH neutre en fin de compostage serait un indicateur de la maturité des deux composts. Pour également vérifier la maturité des composts, une expérimentation a été faite à l'aide de trois (03) boîtes, avec du sable dans l'une et dans les deux autres, une poignée des composts. Dix (10) graines saines de tomate ont été semées dans chacune des boîtes. Après une semaine de suivi, le nombre de graines germées a été compté dans chaque boîte. Le nombre germé dans le sable était similaire à celui des composts, donc le compost était jugé mûr et utilisable pour la culture. Ils pourront donc bien amender les sols. Néanmoins, le compost 1 serait de meilleure qualité que le compost 2 vue sa plus grande teneur

en azote, carbone, phosphore et potassium. Cependant, les paramètres agronomiques des plantes pourront mieux confirmer la qualité de chaque compost.

4.3 EFFETS DES COMPOSTS SUR LA CROISSANCE DES PLANTS ET SUR LA MASSE DES FRUITS

Les plants traités avec les composts ont eu une meilleure croissance en hauteur et un meilleur rendement en masse de fruits par rapport à ceux traités aux engrais minéraux et ceux sans apports. Cela pourrait s'expliquer par les caractéristiques spécifiques des composts qui améliorent les propriétés physico-chimiques du sol. Ces résultats corroborent ceux de [39], ainsi que ceux de [40], qui ont montré que les sols amendés en engrais organiques à base de déchets végétaux, de fientes de volailles et de déjections d'ovins, améliorent significativement les paramètres agronomiques des sols. Aussi, la richesse de ces composts en matière organique améliore-t-elle la structure du sol assurant ainsi, une meilleure dissolution et assimilation des éléments nutritifs pour une bonne croissance des plantes [41], [42]. Les analyses ont montré que les propriétés chimiques de ce sol sableux sont, en général, mauvaises et les éléments minéraux faiblement disponibles pour une croissance optimale des plantes. Donc sans apport les plantes ne peuvent ni avoir un bon développement ni une bonne production. La même remarque est faite par [43] lorsqu'il affirme que la faible croissance des plantes peut être attribuée aux caractéristiques du sol. En général, les engrais minéraux sont apportés au sol pour corriger les carences. Cependant, les caractères de ces sols pourraient favoriser la lixiviation des minéraux qui deviennent alors inaccessibles aux racines. La matière organique retient les éléments nutritifs en surface alors que l'engrais minéral seul accélère leur migration verticale [44]. La matière organique est, de ce fait, le meilleur fertilisant de base [45]. L'amendement organique par l'entremise de composts est donc un impératif de la fertilisation, surtout dans les sols sableux. Contrairement aux engrais minéraux, les composts libèrent lentement les minéraux pour une bonne nutrition de la plante. Cette assertion se justifie dans les travaux de [46] lorsqu'ils affirment que les éléments nutritifs rendus suffisamment disponibles au fil du temps dans le sol sont efficacement utilisés par les plantes cultivées. Par ailleurs, les composts ont un pH proche de la neutralité, ce qui est un avantage pour la disponibilité des éléments nutritifs. Ces résultats sont similaires à ceux de [47] et [48] qui ont trouvé qu'un pH voisin de la neutralité constitue un atout pour une meilleure absorption racinaire des éléments nutritifs. Le compost 1 enrichi en fientes de pondeuses a été plus riche en éléments majeurs (N, P et K) par rapport à celui enrichi en bouses de bœufs (compost 2). Ce qui a permis un accroissement très considérable du rendement en fruit de tomate. Cette observation corrobore celle de [49] qui justifie la croissance et le rendement des plantes par le fait d'une quantité importante d'éléments azote et phosphore. Cette remarque rejoint l'étude de [50] qui ont montré que, en plus de la stimulation de la croissance des plants de tomate, le rendement commercialisable de la tomate a été augmenté par le compost. Aussi, les fientes de pondeuses sont-ils beaucoup riches en azote. En effet, l'azote est un élément constitutif de la chlorophylle, il est un facteur déterminant dans la croissance et la détermination du rendement des plantes [51], [52]. [53] après utilisation de compost enrichi en fiente de volaille pour la production de choux sur sol sableux sont parvenus aux mêmes résultats. Des résultats similaires ont été obtenus par [54] en utilisant du compost enrichi en fiente de volaille pour la culture de laitue sur un ferralsol.

5 CONCLUSION

Cette étude a été initiée en vue d'évaluer à la fois les caractéristiques des composts et l'influence de ces composts sur la croissance des plants et la masse des fruits produits pour une meilleure vulgarisation et une production à grande échelle. Les résultats ont montré que les composts ont été enrichis en éléments majeurs (N, P et K) et qu'ils pouvaient être appliqués au sol sans risques majeurs, au regard de leur teneur en métaux lourds inférieurs aux normes internationales. Les plants traités avec les composts ont eu une meilleure croissance en hauteur et un bon rendement en masse de fruits que ceux traités avec les engrais minéraux. En référence aux résultats obtenus, le compost 1 (mélange de jacinthes d'eau + coques de pollens + fientes de pondeuses) pourrait être recommandé comme biofertilisant de la tomate sur les sols sableux. Soit en apport unique soit en complémentaire aux engrais minéraux. Toutefois, une étude approfondie de l'effet de ces composts sur la composition organoleptique des fruits et de la rentabilité économique de l'utilisation de ces fertilisants pour la production de la tomate sont nécessaires pour une meilleure exploitation des résultats.

REMERCIEMENTS

Toute notre reconnaissance à l'endroit des autorités du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), notamment celles de la Station de recherche sur les cocotiers (Marc Delorme) de Port-Bouët pour avoir mis à notre disposition des parcelles, le matériel et la main d'œuvre pour effectuer cette étude.

REFERENCES

- [1] Diallo M. D., Diaité B., Diédhiou P. M., Diédhiou S., Goalbaye G., Doelsch E., Diop A. et Guissé A., 2019. Effets de l'application de différents fertilisants sur la fertilité des sols, la croissance et le rendement du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. dans la Commune de Gandon au Sénégal. *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture*, 2 (2), pp. 7-15.
- [2] Outendé T., 2016. Évaluation des caractéristiques chimiques et agronomiques de cinq composts de déchets et étude de leurs effets sur les propriétés chimiques du sol, la physiologie et le rendement du maïs (*Zea mays* L. Var. Ikenne) et de la tomate (*Lycopersicon esculentum* L. Var. Tropimech) sous deux régimes hydriques au Togo. Thèse de Doctorat, Université de Lomé (Togo) en cotutelle avec l'Université de Limoges, 182 p.
- [3] Saidou A. K., Boube M. et Aune J. B., 2020. Effets de la Fertilisation à Base de la Biomasse du *Sida cordifolia* L. sur les Performances Agronomiques et la Rentabilité Économique de la Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en Culture Irriguée. *European Scientific Journal*, 16 (3), pp. 127-150.
- [4] Doh F., 2018. Moyens de lutte contre la punaise *Pseudotheraptus devastans* Distant (Heteroptera: Coreidae), ravageur du cocotier en Côte d'Ivoire: cas de la tolérance variétale et utilisation d'extraits aqueux de cinq plantes locales. Thèse de Doctorat, Université NANGUI ABROGOUA (Côte d'Ivoire), 113 p.
- [5] Koutouan F. P., N'guessan B. C., Wandan E. N. et Ta Bi D. B., 2017. Effet de La Fertilisation Phospho-potassique sur le rendement grainier et la qualité des semences de *Cajanus cajan* L. Millsp. sur un ferrasol à Yamoussoukro, Région centre de la Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 13 (21), pp. 7-20.
- [6] Attrasi B., Mrabet L., Douira A., Ounine K. et El Haloui N., 2005. Étude de la valorisation agronomique des composts des déchets ménagers. *Biotechnol. et Envir., Atelier "Biotechnologies" au Maroc*, Setat du 6 Mai 2005.
- [7] Houot S., Francou C., Vergé-Leviel C., Michelin J., Bourgeois S., Linères M., Morel P., Parnaudeau V., Le Bissonnais Y., Dignac M.-F., Dumat C., Cheiab A. et Poitrenaud M., 2003. Valeur agronomique et impacts environnementaux de composts d'origine urbaine: variation avec la nature du compost. *Les Dossiers de l'environnement de l'INRA*, 25, pp. 107-125.
- [8] Movahedi S. A. R. et Cook H. F., 2010. Influence of municipal compost on temperature, water, nutrient status and the yield of maize in temperate soil. *Soil Use manage*, 16 (3), pp. 215-221.
- [9] Pigozzo A. T. G., Lenzi E., Junior J. L., Scapin C. et Da Costa A. C. S., 2006. Transition metal rates in latosol twice treated with sewage sludge. *Brazil. Arch. Biol. Technol.*, 49 (3), pp. 515-526.
- [10] Mama D., 2010. Méthodologie et résultats du diagnostic de l'eutrophisation du lac Nokoué (Bénin). Thèse de doctorat. Université de Limoges. 157 p.
- [11] Jianqinq D., Wang R. et Zhongnam F., 1995. Distribution and infestation of water hyacinth and control strategy in China. *Journal of Weed Science*, 9 (2), pp. 12-17.
- [12] Gutiérrez L. E., Arreguín F., Huerto R. et Saldaña P., 1994. Aquatic weed control. *International Journal of Water Resource Development*, 10, pp. 291-312.
- [13] Darya P. A. A., 2017. Optimisation du potentiel méthanogène de la jacinthe d'eau en combinaison avec les fientes de volailles. Université d'Abomey-Calavi (Benin). 56 p.
- [14] CCT, 2006. Centre de Cartographie et de Télédétection du Bureau National d'Études Techniques et du Développement. Abidjan, Côte-d'Ivoire.
- [15] Yao-Kouamé A. et Alou K. R., 2008. Propriétés du sol et domestication de *Lippia multiflora* (verbénacea) en Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 20 (1), pp. 97-107.
- [16] Brou T., 2005. Climat, mutations socio-économique et paysages en Côte d'Ivoire. Rapport d'activités scientifique, pédagogique, administrative et publications en appui au mémoire de synthèse. Université des Sciences et Technologies de Lille, Université de Cocody-Abidjan, l'Institut de Géographie Tropicale, 106 p.
- [17] Zakra N., 1997. Contribution à l'étude de la restauration et au maintien de la fertilité des sables quaternaires du littoral Ivoirien: cas de l'utilisation d'arbres fixateurs biologiques d'Azote comme plante associative avec les cocotiers. Thèse, Docteur-ingénieur, Université de Cocody (Côte d'Ivoire), 155 p.
- [18] Coffi P. M. J., Lékadou T. T., Ama T. J., Traoré S., Yao S. M. D., Agoh C. F., Koffi B. E. Z., Djaha K. E. et Hala N. F., 2021. État des lieux des bananeraies (*Musa* sp) en zone de culture du cocotier, sur le littoral en Côte d'Ivoire: cas de la station Marc DELORME et des villages aux alentours. *Int. J. Chem. Sci*, 15 (6), pp. 2438-2455.
- [19] Mustin, M., 1987. Le compost: gestion de la matière organique. Éditeur: Paris: François Dubusc, 954 p.
- [20] Misra R. V., Roy R. N. et Hiraoka H., 2005. Méthode de compostage au niveau de l'exploitation agricole. FAO. Edition Rome, 35 p.
- [21] BUNASOLS, 1987. Méthodes d'analyse physique et chimique des sols, des eaux et des plantes. Documentation techniques n°3, BUNASOLS, Ouagadougou, 159 p.
- [22] Yoro G. R., Kassin K. E. et Tahouo O., 2007. Le tube cylindrique, une innovation pour la prospection pédologique. Le CNRA en 2007. Centre National de Recherche Agronomique, ISBN 978-2-917074-01-5, Abidjan, Côte d'Ivoire, pp. 10-13.
- [23] Traoré M., 1996. Utilisation des éléments nutritifs par une graminée pérenne: *Andropogon gayanus*. Thèse pour obtenir le titre de Docteur de Spécialité, Option: Production Fourragère à l'institut Supérieur de Formation et de Recherche Appliquée de Bamako (Mali). Rapports PSS No.19.IER, Bamako, AB-DLO, Wageningen/Haren, DAN-AUW, Wageningen, 149 p.

- [24] Morvan X., Richer-De-Forges A., Arrouays D., Le Bas C. et Saby N., 2007. Une analyse des stratégies d'échantillonnage des réseaux de surveillance de la qualité des sols en Europe. *Étude et Gestion des Sols*, Association Française pour l'Étude des sols, 14 (4), pp. 317-326.
- [25] AFNOR., 1994. Qualité des sols. Recueil de normes françaises, AFNOR, Paris, France, 250 p.
- [26] Hillebrand W. F., Lundell G. E. F., Bright H. A. et Hoffman J. I., 1953. *Applied Inorganic Analysis* (2nd edn). John Wiley, Sons, Inc: New York (USA), 1034 p.
- [27] Assogba Komlan F., 2007. Valorisation des déchets agro-industriels en agriculture urbaine dans le Sud du Bénin: Diagnostic, évaluation et perspectives. Thèse de doctorat, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières de l'Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 140 p.
- [28] Goudjo M. A. C., Francoise A. K., Joël A. D. A., Okpéoluwa O. O. R. et Amadji L. G., 2019. Effet du fractionnement d'engrais organique, d'Urée et du Sulfate de Potassium sur la productivité et la conservation des fruits de tomate au Sud du Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 138, pp. 14050-14059.
- [29] Zdanevitch. I., 2012. Comparative study of compost and digestate quality issued from the fermentable portion of domestic wastes, separately collected or mixed. Final report. Study report. Ineris Paris (France), 124 p.
- [30] Inckel M., Smet P., Tersmette T. et Veldkamp T., 1990. Fabrication et utilisation du compost. *Série Agrodok*, (8), 72 p.
- [31] Leclerc B., 2001. Guide des matières organiques; (eds) guide technique de l'ITAB, 238 p.
- [32] Inckel M., Peter D. S., Tersmette T. et Veldkamp T., 2005. La fabrication et l'utilisation du compost. *Agrodok*, 73 p.
- [33] Compaoré E., Nanema L. S., Bonkoungou S. et Sedogo M. P., 2010. Évaluation de la qualité de composts de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso pour une utilisation efficiente en agriculture. *J. Appl. Biosci.*, 33, pp. 2076-2083.
- [34] Huang G. F., Wong J. W. C., Wu Q. T. et Nagar B. B., 2004. Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. *Waste Manage.*, 24, pp. 805-813.
- [35] Albrecht R., 2007. Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts: Nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique. Thèse de doctorat, Université Paul Cezanne Aix-Marseille III, 189 p.
- [36] Charnay F., 2005. Compostage des déchets dans les pays en développement: élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost. Thèse de doctorat, université de Limoges (France), 277 p.
- [37] Tahraoui N. D., 2013. Valorisation par compostage des résidus solides urbains de la commune de Chlef, Algérie. Thèse de Doctorat, Université de Limoges, 244 p.
- [38] Weill A. et Duval J., 2009. Les amendements organiques, fumiers et composts. Dans *Guide de gestion globale de la ferme maraîchère biologique et diversifiée; Module 7: Amendement et fertilisation*. Équiterre, pp. 1-19.
- [39] Kitabala M. A., Tshala U. J., Kalenda M. A., Tshijika I. M. et Mufind K. M., 2016. Effets de différentes doses de compost sur la production et la rentabilité de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) dans la ville de Kolwezi, Province du Lualaba (RD Congo). *Journal of Applied Biosciences*, 102, pp. 9669-9679.
- [40] Batamoussi H. M., Tovihoudji P. G., Tokore S. B. J. O. M., Boulga J. et Essegnon I., 2016. Effet des engrais organiques sur la croissance et le rendement de deux variétés de tomate (*Lycopersicum esculentum*) dans la commune de Parakou (Nord Bénin). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 24 (1), pp. 86-94 p.
- [41] Duplessis J., 2002. Le compostage facilité: guide sur le compostage domestique NOVA Envirocom, 107 p.
- [42] Fagnano M., Adamo P., Zampella M. et Fiorentino N., 2011. Environmental and agronomic impact of fertilization with composted organic fraction from municipal solid waste: A case study in the region of Naples, Italy. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 141 (1-2), pp. 100-107.
- [43] Mukalay M. J., Shutcha M. N., Tshomba K. J., Mulowayi K., Kamb C. F. et Ngongo L. M., 2008. Causes d'une forte hétérogénéité des plants dans un champ de maïs dans les conditions pédoclimatique de Lubumbashi. *Presses universitaires de Lubumbashi, Annales Faculté des Sciences Agronomiques*, 1 (2), pp. 4-11.
- [44] Yoboue A. N., N'goran K. E., Ama T. J., Kouassi Y. F. et Yao G. F., 2020. Effets du précédent cultural arachide (*Arachis hypogaea* L.) et de la charge en éléments grossiers du sol sur la production du coton (*Gossypium hirsutum* L.). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 14 (6) pp. 2120-2133.
- [45] Giller K. E., Cadisch G. et Palm C., 2002. The North South divide: Organic wastes or resources of nutrient management. *Agronomy*, 22, pp. 703-709.
- [46] Ojetayo A. E., Olaniyi J. O., Akanbi W. B. et Olabiye T. I., 2011. Effect of fertilizer types on nutritional quality of two cabbage varieties before and after storage. *Journal of Applied Biosciences* 48, pp. 3322-3330.
- [47] Ondo J. A., 2011. Vulnérabilité des sols maraîchers du Gabon région de Libreville: acidification et mobilité des éléments métalliques. Thèse Université de Provence, France, pp. 113-128.
- [48] Ognalaga M., Odjogui P. I. O., Lekambou J. M. et Poligui R. N., 2015. Effet des écumes à cannes à sucre, de la poudre et du compost de à base de *Chromolaena odorata* (L.) King R.M. & H.E. Rob sur la croissance de l'oseille de Guinée (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 9 (5), pp. 2507-2519.
- [49] Brasset T. et Couturier C., 2005. Gestion et valorisation des cendres de chaufferies bois, ADEME, 3 p.
- [50] Abbasi P., Al-Dahmani J., Sahin F., Hoitink H. et Miller S., 2002. Effect of compost amendments on disease severity and yield of tomato in conventional and organic production systems. *Plant disease*, 86, pp. 156-161.

- [51] Sikora L. J. et Szmidt A. K., 2001. Nitrogen sources, mineralization rates, and nitrogen nutrition benefits to plants from composts. In *Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems*, Stoffella PJ, Kahn BA (eds). Lewis Publishers: NewYork, USA, pp. 287-305.
- [52] Magnan J., 2006. Epandage post récolte des engrais organiques et risques environnementaux reliés aux pertes d'azote. *Ordre des Agronomes du Québec*, p.75.
- [53] Amadji G. L., Saïdou A. et Chitou L., 2009. Recycling of residues in compost to improve coastal sandy soil properties and cabbage shoot yield in Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3 (2), pp. 192-202.
- [54] Saïdou A., Bachabi S. F. X., Padonou G. E., Biaou O. D. B., Balogoun I. et Kossou D., 2012. Effet de l'apport d'engrais organiques sur les propriétés chimiques d'un sol ferralitique et la production de laitue au Sud Bénin. *Rev. CAMES-Série A*, 13 (2), pp. 281-285.

Abcès bilatéral du psoas associé à une Spondylodiscite d'origine tuberculeux: A propos d'un cas

[Bilateral psoas abscess associated with spondylodiscitis of tuberculous origin: About a case]

Adil Hmimech¹, F. Hidki¹, K. Souly¹⁻², and M. Zouhdi¹⁻²

¹Laboratoire central de bactériologie, CHU Ibn Sina, Rabat, Morocco

²Faculté de médecine et de pharmacie, Université Mohammed V, Rabat, Morocco

Copyright © 2022 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: *Background:* Tuberculosis is still rampant in endemic mode in our country. Several locations are possible. The osteoarticular form is rare but very serious. The prognosis depends on the speed of the diagnosis and the effectiveness of the treatment.

Method: We report a case of spondylodiscitis and abscess of the psoas muscles of tuberculous origin diagnosed at the bacteriology laboratory Ibn Sina Hospital in Rabat by bacteriological tests and confirmed by imaging.

Results: The evolution was favorable after anti-tuberculosis treatment according to the National Protocol for Tuberculosis Control. But the presence of very large lytic lesions made the practice of effort spots almost impossible given the risk of vertebral fracture which remains imminent. The osteoarticular location of tuberculosis is rare but very serious given its destructive power on the bone. The prognosis remains even worse when it comes to a vertebral location which can bring into play a functional or even vital prognosis in certain cases.

Conclusion: In our context where tuberculosis is still endemic, it is unforgivable to miss the diagnosis which must be raised whenever the context is suspect. Do not hesitate to deplore all biological and radiological means in order to have an accurate diagnosis and be able to treat effectively, to avoid any complications.

KEYWORDS: tuberculosis, spondylodiscitis, psoas

RÉSUMÉ: *Contexte:* La tuberculose sévit toujours en mode endémique dans notre pays. Plusieurs localisations sont possibles. La forme ostéoarticulaire est rare mais très grave. Le pronostic dépend de la rapidité du diagnostic et de l'efficacité de la prise en charge.

Méthodes: Nous rapportons un cas de spondylodiscite et abcès des muscles psoas d'origine tuberculeuse diagnostiquée au laboratoire de bactériologie Hôpital Ibn Sina de Rabat par un examen bactériologique et confirmé par imagerie.

Résultats: L'évolution était favorable après un traitement antituberculeux selon le protocole national de lutte contre la tuberculose. Mais la présence de lésions lytiques très importantes a rendu la pratique de tâches à efforts presque impossible vu le risque de fracture vertébrale qui demeure imminent. La localisation ostéoarticulaire de la tuberculose est rare mais très grave vu son pouvoir destructeur sur l'os. Le pronostic reste encore plus sombre quand il s'agit d'une localisation vertébrale qui peut mettre en jeu pronostique fonctionnel ou même vital dans certain cas.

Conclusion: Dans notre contexte où la tuberculose est toujours endémique, il est impardonnable de passer à côté du diagnostic qu'il faut évoquer à chaque fois que le contexte est suspect. Il ne faut pas hésiter à déplorer tous les moyens biologiques et radiologiques afin d'avoir un diagnostic précis et pouvoir ainsi traiter efficacement, pour éviter toute complication.

MOTS-CLEFS: tuberculose, spondylodiscite, psoas.

1 INTRODUCTION

La tuberculose, maladie transmissible, est une cause importante de mauvaise santé, l'une des 10 premières causes de décès dans le monde et la première cause de décès due à un seul agent infectieux (avant le VIH/sida). Elle est causée par le bacille *Mycobacterium tuberculosis*, qui se propage lorsque les personnes atteintes de tuberculose expulsent des bactéries dans l'air, par exemple en toussant. Elle touche généralement les poumons (tuberculose pulmonaire) mais peut également toucher d'autres sites (tuberculose extrapulmonaire). Environ un quart de la population mondiale est infectée par *M. tuberculosis* et donc exposée au risque de développer la tuberculose [1].

À l'échelle mondiale, on estime qu'environ 10 millions de personnes ont contracté la tuberculose en 2018, nombre qui est resté relativement stable au cours des dernières années. La charge de morbidité varie considérablement d'un pays à l'autre, allant de moins de cinq à plus de 500 nouveaux cas pour 100 000 habitants par an, la moyenne mondiale étant d'environ 130 nouveaux cas [1].

Selon les estimations de l'OMS pour l'année 2017, le nombre annuel de cas incidents de la tuberculose au Maroc était d'environ 36.000. En 2017, un total de 30.897 cas de tuberculose, toutes formes confondues (28.955 nouveaux cas et 1.681 cas de rechutes), a été notifié, soit une incidence de 88 cas pour 100 000 habitants. Le nombre de décès par TB était de 656 cas [2].

La proportion de la forme extra-pulmonaire (TEP) était la plus élevée en 2015, avec 52% des cas (dont 3% étaient des cas de primo-infection tuberculeuse), contre 48% des cas de tuberculose pulmonaire [3].

La notion de contagio tuberculeux et les signes d'imprégnation tuberculeuse ne sont pas toujours obligatoires [4].

Parmi les localisations possibles on note la spondylodiscite tuberculeuse qui est une atteinte de corps vertébral et de disque intervertébral par le bacille tuberculeux [5]. La localisation vertébrale est la plus fréquente des tuberculoses ostéoarticulaires. Elle est grave par la possibilité d'une atteinte neurologique qui peut être importante et définitive [6].

Et l'abcès tuberculeux du psoas qui est une localisation connue, mais rare de la tuberculose. Il est souvent secondaire à une lésion rachidienne, plus rarement à d'autres atteintes intra- ou rétropéritonéales notamment digestives et urogénitales [7-8]. Sa symptomatologie est peu spécifique et peut poser un problème de diagnostic différentiel, en particulier avec une tumeur rétropéritonéale.

Nous rapportons un cas de spondylodiscite et abcès des muscles psoas d'origine tuberculeuse diagnostiquée au laboratoire de bactériologie Hôpital Ibn Sina de Rabat.

2 OBSERVATION

Il s'agit de Mr B.A âgé de 30 ans sans antécédents pathologiques, qui se plaignait de douleurs dorsolombaires d'aggravation progressive avec fièvre sueurs nocturnes et amaigrissement. A l'examen clinique, la palpation était douloureuse avec limitation des mouvements passifs et actifs et présence de collection douloureuse au niveau des deux psoas.

Le bilan biologique montrait des globules blancs à 5 400 avec 47 % de lymphocytes, une hémoglobine à 11,2 g/dL, un syndrome inflammatoire avec une vitesse de sédimentation à 72 mm à la première heure et une hyper-alpha-2-globulinémie à 14 g/L (N < 9 g/L), une créatinine à 84 µmol/L.

La TDM avait objectivé une spondylodiscite dorsolombaire étagée avec subluxation D10 /D11, compression médullaire de D7a L1 et abcès des deux muscles psoas. Un prélèvement de pus vertébral a été réalisé. La recherche de bacille Acido-Alcalo Résistant (BAAR) était positive. La culture a isolé *Mycobacterium tuberculosis* après 4 semaines d'incubation.

L'évolution était favorable après un traitement antituberculeux selon le Protocole national de lutte contre la tuberculose. Mais la présence de lésions lytiques très importantes a rendu la pratique de taches à efforts presque impossible vu le risque de fracture vertébrale qui demeure imminent.

3 DISCUSSION

La localisation ostéoarticulaire de la tuberculose est rare, mais très grave vu son pouvoir destructrice sur l'os. Le pronostic reste encore plus sombre quand il s'agit d'une localisation vertébrale qui peut mettre en jeu le pronostic fonctionnel ou même vital dans certains cas.

La tuberculose ostéo-articulaire représente 3 à 5 % des tuberculoses et 15 % des tuberculoses extra pulmonaires [9]. La localisation vertébrale est la plus fréquente des localisations ostéoarticulaires où elle représente 35 à 55 % [5]. L'âge moyen des sujets atteints de la spondylodiscite tuberculeuse est de 40 ans [4,6].

Les rachialgies persistantes dominent le tableau clinique, puis viennent les complications neurologiques [4]. La localisation dorsolombaire est la plus fréquente [4,6, 10] ceci est expliquée par le fait que la dissémination de la tuberculose se fait toujours à partir d'un foyer pulmonaire [11] et c'est à partir de ce foyer initial que les bacilles vont disséminer dans l'organisme. En cas de spondylodiscite, la dissémination se fait par voie hématogène [11] via les vaisseaux issus des artères vertébrales, intercostales et lombaires. Selon la littérature, l'absence totale d'un syndrome inflammatoire biologique n'exclut pas le diagnostic de spondylodiscite tuberculeuse puisque 12 à 50 % des patients atteints de cette pathologie ne présentent aucun signe biologique selon Barrière [12].

L'imagerie constitue incontestablement l'un des piliers du diagnostic du mal de Pott [6]. La radiographie standard permet de préciser le nombre de foyer atteint et les vertèbres intéressées; de montrer l'existence ou non d'un abcès cliniquement muet; d'éliminer une autre cause à l'origine de la symptomatologie; de rechercher d'autres lésions tuberculeuses (pulmonaire, ostéo-articulaire); et enfin de surveiller l'évolution des lésions [6].

Au cours de la spondylodiscite, l'échographie tient un rôle important, car elle va permettre de rechercher des atteintes des parties molles comme les psoas et d'éventuelle localisation viscérale de la tuberculose. Cet examen permet de guider une ponction ou une biopsie [4].

La tomodensitométrie (TDM), est plus sensible que la radiographie standard dans le diagnostic de la spondylodiscite. Son intérêt est de démasquer les lésions osseuses à un stade précoce où la radiographie standard est normale [9]. Au stade de début, le disque intervertébral est le siège d'une hyperdensité évocatrice de lésion infectieuse. Les reconstructions frontales ou sagittales sont très utiles pour rechercher des érosions et des géodes sous chondrales. La TDM permet également une bonne étude des parties molles para-vertébrales à la recherche d'abcès et son extension [6]. Les séquestres osseux sont très évocateurs voire pathognomoniques de la nature tuberculeuse de la spondylodiscite, ils peuvent se présenter au sein des lésions géodiques ou au sein des abcès [6]. Ces séquestres osseux sont présents dans notre cas.

L'imagerie par résonance magnétique (IRM), si elle est disponible, permet une étude multiplanaire plus précise et plus sensible que la TDM [13]. Elle permet d'apprécier à la fois l'atteinte osseuse, discale, épidurale, médullaire et les structures adjacentes sans oublier son apport dans le suivi post-thérapeutique [5]. Elle permet également le diagnostic différentiel avec les autres spondylodiscites infectieuses et les lésions néoplasiques [6]. Comme les données fournies par l'examen clinique et l'imagerie ne sont pas pathognomoniques, une confirmation histologique et/ou bactériologique reste nécessaire [14].

Dans le cas rapporté la patiente souffrait d'une spondylodiscite et un abcès des muscles psoas.

Les abcès du psoas observés dans les pays en voie de développement sont le plus souvent d'origine tuberculeuse et touchent surtout l'enfant et l'adulte jeune, issus d'un milieu rural dont la couverture vaccinale vis-à-vis de BCG est insuffisante et les conditions socioéconomiques sont modestes [15,16]. Habituellement, l'abcès tuberculeux du psoas est secondaire à une spondylodiscite tuberculeuse, c'est le cas de notre observation. En effet, l'abcès pottique péri vertébral coule le long des tissus avoisinants, atteignant le psoas et parfois même la racine de la cuisse, comme c'est le cas de notre patiente. Cependant, l'abcès tuberculeux du psoas peut être isolé et évoluer sans lésion rachidienne associée [17]. L'atteinte du psoas peut se faire aussi par contiguïté à partir d'autres organes de voisinage: tube digestif [7-18], appareil urogénital [18, 8] et les ganglions rétropéritonéaux [19]. Chez notre patiente, ces causes locorégionales, en particulier digestives et urogénitales, n'ont pas été recherchées par des examens de contraste iodé et des explorations endoscopiques.

La pathogénie de l'abcès tuberculeux primitif du psoas reste encore obscure. La contamination est présumée d'origine hématogène ou lymphatique [20, 21, 22, 23]. La voie hématogène a été retenue dans l'observation de Salord et al. [8] et celle de Kaltenbach et al. [20]. Certains auteurs ont rapporté des cas d'abcès tuberculeux du psoas observés chez les sujets infectés par le VIH [24, 25]. Des cas secondaires à une BCG thérapie endovésicale pour cancer de la vessie ont été décrits [26, 27]. L'échographie utilisée souvent en première intention montre une formation hypoéchogène contenant de fins échos; parfois les images sont moins spécifiques pouvant évoquer une tumeur rétropéritonéale, comme c'est le cas de notre observation et celle de Kaltenbach et al. [20]. Cette équipe a rapporté l'observation d'un abcès du psoas dont la présentation clinique et radiologique était celle d'une tumeur rétropéritonéale nécessitant une laparotomie exploratrice. En plus, l'échographie paraît moins sensible que la tomodensitométrie dans l'exploration de ces masses rétropéritonéales. En effet, dans la série de Laguna et al. de 11 cas [24], l'échographie n'a contribué au diagnostic que dans 57 % des cas, tandis que la tomodensitométrie a été contributive dans 91 % des cas et respectivement 71 contre 100 % pour Paley et al. [18]. Les faux négatifs à l'échographie s'observent pour les abcès dont le volume est inférieur à 14 mL et en cas de difficultés techniques de l'examen à cause de superpositions de clartés digestives [18]. La tomodensitométrie constitue l'examen de choix dans cette maladie, elle montre

un élargissement du muscle psoas avec une masse hypodense contenant parfois des gaz, ronde ou ovale, à paroi plus ou moins épaisse qui se rehausse après injection de produit de contraste [24, 18, 28]. Cependant, l'échographie comme la tomodensitométrie ont l'intérêt de permettre la réalisation de la ponction et du drainage radioguidé. L'imagerie par résonance magnétique nucléaire montre un hyposignal en séquence pondérée T1 et un hypersignal en séquence pondérée T2. Elle est intéressante dans la mesure où elle donne des images de haute résolution permettant de bien différencier un abcès d'un hématome mais aussi de rechercher une spondylodiscite associée. Le rôle de l'IRM dans cette maladie reste encore mal défini mais cette technique pourrait occuper dans l'avenir une place plus importante [24, 18].

Dans ces formes peu communes de la tuberculose (spondylodiscite et abcès du psoas), le diagnostic repose sur l'isolement de bacilles de Koch dans l'abcès d'où l'importance de la ponction-aspiration à l'aiguille radioguidée.

Le diagnostic repose sur la mise en évidence de bacilles acido-alcoolo-résistants (BAAR) à l'examen microscopique méthode de Ziehl-Nielsen à chaud ou de Kinyoun à froid [29], la mise en culture qui est fait le plus souvent sur milieux à l'oeuf de Löwenstein-Jensen et de Coletsos, des méthodes d'amplification génique (PCR: polymérase chain reaction) qui consistent à amplifier et détecter une séquence nucléique spécifique du complexe tuberculosis [29], les intra dermoreaction (IDR) ainsi que le dosage de la production in vitro de l'interféron gamma par les lymphocytes [30].

Le traitement médical n'est pas toujours suffisant pour stériliser de volumineux abcès tuberculeux. Il est important de faire les tests de sensibilité aux antituberculeux car toute souche de *M. tuberculosis* contient naturellement une proportion de bacilles résistants à chacun des antibiotiques antituberculeux [29] et pour une meilleure observance du traitement.

Dans ces cas, le drainage percutané sous contrôle échographique ou tomodensitométrique constitue une alternative intéressante à la chirurgie qui reste rarement nécessaire. Le succès thérapeutique dépend de la précision du caractère primitif ou secondaire de l'abcès et d'un traitement antituberculeux bien conduit associé à des ponctions radioguidées pour les abcès les plus volumineux [24, 18]. Dans notre observation, L'évolution était favorable après un traitement antituberculeux selon le Protocole national de lutte contre la tuberculose. Mais la présence de lésions lytiques très importantes a rendu la pratique de taches à efforts presque impossible vu le risque de fracture vertébrale qui demeure imminent. Enfin, il faut rappeler que devant une masse rétropéritonéale même sans atteinte rachidienne, il faut évoquer le diagnostic de tuberculose au même titre que les causes tumorales et infectieuses à pyogène.

4 CONCLUSION

Dans notre contexte où la tuberculose est toujours endémique, il est impardonnable de passer à côté du diagnostic qu'il faut évoquer à chaque fois que le contexte est suspect. Il ne faut pas hésiter à déplorer tous les moyens biologiques et radiologiques afin d'avoir un diagnostic précis et pouvoir ainsi traiter efficacement, pour éviter toute complication.

CONFLIT D'INTÉRÊT

Le manuscrit soumis a été approuvé par tous les auteurs qui déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêt en lien avec cet article.

REFERENCES

- [1] Rapport sur la tuberculose dans le monde, Organisation Mondiale de la santé 2019.
- [2] Ministère de la Santé, Direction de l'Epidémiologie et de Lutte Contre les Maladies, situation épidémiologique de la tuberculose au Maroc-2017.
- [3] Ministère de la Santé, Direction de l'Epidémiologie et de Lutte Contre les Maladies, situation épidémiologique de la tuberculose au Maroc-2015.
- [4] Dominique N'Dri Oka, Marie-Anne N'Dri-Yoboue, Guy Varlet, Aidereime Haidara, Vincent Ba Zeze. La tuberculose vertébrale: aspects épidémiologiques et diagnostiques à propos de 28 observations cliniques de Côte d'Ivoire. Cahiers d'études et de recherches francophones/ Santé. 2004; 14 (2): 814. PubMed | Google Scholar.
- [5] Boubbou M, Houssaini-Squalli N, Maaroufi M, Tizniti S. Apport de l'IRM dans les spondylodiscites tuberculeuses. Revue maghrébine de Neurosciences RMNSC. 2012; 5. PubMed | Google Scholar.
- [6] Badr Fedoul, Chakour Khalid, Mohammed El Faiz Chaoui. Le mal de Pott: à propos de 82 cas. Pan Afr Med Journal. 2011; 8: 2. PubMed | Google Scholar.
- [7] Chaoui F. Abcès tuberculeux du psoas sans atteinte rachidienne associée à une tuberculose colique. Presse Méd 1987; 16: 1100.

- [8] Salord F, Lught F, Greiner M, Baulieux J, Peyramond D, Bertrand JL. Abcès tuberculeux bilatéral du psoas sans atteinte rachidienne. *Presse Méd* 1985; 14, 2194.
- [9] Meftah M, Lmejjati M, Mansouri A, EL Abbadi N, Bellakhdar F. Mal de Pott à propos de 320 cas. *Médecine du Maghreb*. 2001; 90, 19-22. PubMed | Google Scholar.
- [10] Zamiaty W, Jiddane M, EL Hassani MR, Chakir N, Boukhrissi N. Apport du scanner spirale et de l'IRM dans la spondylodiscite tuberculeuse. *J Neuroradiol*. 1999; 26 (1): 27. PubMed | Google Scholar.
- [11] Garg RK, Somvanshi DS. Spinal tuberculosis: A review. *The Journal of Spinal Cord Medicine*. 2011; (34) 5: 440454. PubMed | Google Scholar.
- [12] Barriere V, Gepner P, Bricaire F, Blétry O, Caumes E. Aspect actuels de la tuberculose vertébrale: à propos de 16 observations. *Ann Med Interne*. 1999; 150 (5): 3639. PubMed | Google Scholar.
- [13] Jroundi EL, Kabbaj N, Dafiri R, Imani F. Données de l'IRM dans la spondylodiscite tuberculeuse à propos de 4 cas. *Médecine du Maghreb*. 2001; 88: 25-30. PubMed | Google Scholar.
- [14] Boussel L, Marchand B, Blineau N, Pariset C, Hermier M, Picaud G. Imagerie de la tuberculose ostéo-articulaire. *J radiol*. 2002; 83 (9): 1025-1034. PubMed | Google Scholar.
- [15] Attipou K, Anoukoum T, Songne B, Nack-Nack M, Assiobo A, N'Dakena K, et al. Réflexions sur huit cas d'abcès du psoas au CHU de Lomé-Tokoin. Étude rétrospective. *Tunisie Méd* 1998; 76: 1017-9.
- [16] Smida M, Ammar C, Cherif S, Jalel C, Stambouli K, Nessib MN, et al. Les abcès primitifs du psoas chez l'enfant. *Tunisie Méd* 1998; 76: 1052-5.
- [17] Berges O, Sassoon C, Roche A, Vanel D. Abcès du psoas d'origine tuberculeuse sans spondylodiscite visible. *J Radiol* 1981; 62: 467-70.
- [18] Paley M, Sidhu PS, Evans RA, Karani JB. Retroperitoneal collections- aetiology and radiological implications. *Clin Radiol* 1997; 52: 290-4.
- [19] Perros P, Sim DW, Macintyre D. Psoas abscess due to retroperitoneal tuberculous lymphadenopathy. *Tubercle* 1988; 69: 299-301.
- [20] Kaltenbach G, Bosser V, Arpin-Pott MP, Rodier JF, Rodier D, Imler M. Abcès tuberculeux isolé du psoas consécutif à une contamination par voie hématogène. *Ann Méd Interne* 1993; 144: 150-1.
- [21] Mateos A, Monte R, Rodriguez A, Corredoira J. Primary psoas abscess caused by Mycobacterium tuberculosis. *Scand J Infect Dis* 1998; 30: 319.
- [22] Alonso M, Reyes J, Galera MJ, Ruiz M, Robles G, Rius X. Abcès primaire du psoas. *J Chir* 1990; 127: 537-8.
- [23] Yacoub M, Tabarki B, Salem N, Chemli J, Abroug S, Harbi A, et al. Abcès primitif du psoas. *Magreb Méd* 1993; 269: 25-9.
- [24] Laguna P, Moya M. Abscess of the psoas muscle: analysis of 11 cases and review of the literature. *Enferm Infecc Microbiol Clin* 1998; 16: 19-24.
- [25] Salcedo M, Carmena J, Tornero C, Pons E. Primary tuberculous psoas abscess in patient with HIV infection. *An Med Interna* 1999; 16: 437-8.
- [26] Hakim S, Heaney JA, Heinz T, Zwolak RW. Psoas abscess following intravesical bacillus Calmette-Guerin for bladder cancer. A case report. *J Urol* 1993; 150: 188-9.
- [27] LaBerge JM, Kerlan RK, Reilly LM, Chuter TA. Case 9: Mycotic pseudoaneurysm of the abdominal aorta in association with mycobacterial psoas abscess-A complication of BCG therapy. *Radiology* 1999; 211: 81-5.
- [28] Smida M, Ammar C, Cherif S, Jalel C, Stambouli K, Nessib MN, et al. Les abcès primitifs du psoas chez l'enfant. *Tunisie Méd* 1998; 76: 1052-5.
- [29] *Revue des Maladies Respiratoires*, Diagnostic clinique et bactériologique de la tuberculose Vol 20, N° 6-C2 - décembre 2003 pp. 741-.
- [30] <http://www.chu-rouen.fr/mtph/fiches/BK.pdf>.

Utilisation des images Landsat 8 et l'Indice de Position Topographie (IPT) pour cartographier le Régolite: Implication dans l'exploration géochimique de l'or

[Using Landsat 8 images and Topographic Position Index (TPI) to map regolith units: For gold geochemical exploration implication]

Kio Ali¹, Gnammytchet Barthélemy Koffi¹, Alphonse Kouakou Yao¹, and Moussa Konaté²

¹Laboratoire de Génie Civil, Géosciences et Sciences Géographiques, Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny, Yamoussoukro BP 1093, Côte d'Ivoire

²Laboratoire des Eaux Souterraines et des Géoressources, Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Géologie, BP 10662 Niamey, Niger

Copyright © 2022 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 regolith mapping of the SML concession of the Nigerien Liptako of West Africa has been established by using LANSAT 8 images and topographic position index (TPI). Regolith units were extracted from band reports. The 5/7 ratio has been used to distinguish clay minerals, the 3/1 ratio has been used to determine iron oxide materials and that 4/2 to distinguish ferruginous materials. The color composition of the band 572 by assigning respectively RGB permitted for unsupervised classification because this assignment showed moderately the regolith units. Discrimination of landforms has been realized and performed by IPT. The superposition of the regolith map and that of the relief and the control work in the field made it possible to validate the final regolith units map. This method made possible to classify the regolith units into four groups: alluvial sediments (Da), sedimentary rocks of the "terminal continental" horizontally covering Birimian rocks (Dc), altered and "saproilitized" Birimian rocks sometimes covered by sand, soil or outcrop by the underlying fresh rock (Es) and a layer of sand from the disintegration of rocks of the "terminal continental" and horizontally covering the Birimian rocks (Rs). The study showed that approximately 70% of the study area is ideal and more than 30% has a negative impact on geochemical exploration for gold and therefore requires specialized sampling techniques. This shows that the method used is effective in mapping regolith units in the Nigerien Liptako and also in similar areas.

KEYWORDS: Regolith Mapping, Remote Sensing, Nigérien Liptako, Gold, Sampling.

RESUME: La carte du régolite de la concession SML du Liptako nigérien de l'Afrique de l'Ouest a été réalisée par l'utilisation des images OLI de LANSAT et l'indice de position topographie (IPT). Les unités du régolite ont été extraites à partir des rapports des bandes. Le rapport 5/7 a permis de discriminer les minéraux argileux, le rapport 3/1 a permis pour déterminer les matériaux oxydés et celui de 4/2 a permis de distinguer les matériaux ferrugineux. La composition colorée des canaux 572 en assignant respectivement RGB a permis de faire classification non supervisée car cette assignation montrait modérément les unités de régolite. La discrimination des formes du relief a été effectuée par l'IPT. La superposition de la carte du régolite et celle du relief et les travaux de contrôle sur le terrain a permis de valider la carte finale des unités du régolite. Cette méthode a permis de classer les unités de régolite en quatre groupes: les sédiments alluvionnaires (Da), les roches sédimentaires du « continental terminal » recouvrant horizontalement les roches birimiennes (Dc), les roches birimiennes altérées et « saprolitisées » parfois recouvertes par du sol peu épais où de l'affleurement par la roche fraîche sous-jacente (Es) et une couche de sable provenant de la désintégration des roches du « continental terminal » et recouvrant horizontalement les roches birimiennes (Rs). L'étude a montré qu'à peu près 70 % de la zone d'étude est idéale et plus de 30 % a un impact négatif sur l'exploration géochimique de l'or et nécessite donc des techniques d'échantillonnages spécialisées. Cela montre que la méthode utilisée est efficace pour cartographier les unités de régolite dans le Liptako nigérien et aussi dans des zones similaires.

MOTS-CLEFS: Cartographie du Régolite, Télédétection, Liptako nigérien, Or, Echantillonnage.

1 INTRODUCTION

En Afrique de l'Ouest, les zones tropicales et semi-arides sont recouvertes par des régolites [1], [2] provenant de la transformation des formes du relief préexistante. Le développement de ses formes et leurs transformations au cours des temps géologiques engendrent des modèles de régolite important [3]. Les régolites sont dans de nombreux cas une entrave à l'exploration minière [4]. La signature géochimique des roches minéralisées est modifiée par le processus d'altération [5], [6]. A cela s'ajoute d'autres processus géologiques par exemple le dépôt des matériaux pouvant redistribués ou masqués la minéralisation et rendant l'exploration difficile [7]. D'une part, les techniques adaptées [1] permettant d'échantillonner les matériaux en place et d'autre part l'interprétation des anomalies géochimiques [8] sont les énormes challenges pour l'exploration géochimique de l'or. Il est couramment épineux de délimiter des anomalies géochimiques réalistes sans intégrer dans l'interprétation les données des processus de transformation qui ont affecté l'environnement du régolite [9]. Afin de bien orienter et planifier les travaux d'exploration géochimique, il est nécessaire d'avoir une bonne compréhension de l'environnement du régolite. Dans le Liptako nigérien, l'environnement du régolite est mal connu. De ce fait, les unités de régolite de la zone doivent être identifiées afin d'analyser leurs impacts sur exploration géochimique de l'or. Plusieurs travaux [10], [11], [12], [13], [14] ont montré l'importance de la cartographie du régolite. Ainsi, en Afrique de l'Ouest, divers auteurs [1], [4], [14], [15] ont fait des recherches sur les méthodes de cartographie du régolite. Ses études montrent que les méthodes diffèrent en fonction du relief de la zone et celles qui s'appliquent à une localité ne s'adaptent pas nécessairement à l'autre. Pour apporter une esquisse de solution à cette situation, il est important de réaliser une carte du régolite, qui prend en considération l'évolution climatologique, géomorphologique et le processus d'altération afin de normaliser les phases de la cartographie des unités de régolite du Liptako nigérien en Afrique de l'ouest. La méthodologie portait sur l'interprétation des images OLI de LANSAT 8 et l'IPT. L'objectif de cet article est de mettre en place une méthode de cartographie des unités du régolite afin d'analyser leurs impacts sur l'exploration géochimique de l'or.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude fait partir de la concession SML du Liptako nigérien. Elle est localisée dans la région du Liptako, partie Sud-ouest du Niger (Figure 1). Il s'agit du permis d'exploitation Tiawa d'une superficie de 82 km² octroyé par arrêté 0027 /MME/DM, 20 mars 2006. Elle est localisée à 100 kilomètres environ à l'ouest de Niamey, la capitale du Niger. Administrativement, le périmètre de Tiawa se trouve dans le département de Tera, région de Tillabéri. La route d'accès primaire (Figure 1) longe la route nationale bitumée de Niamey-Tilabéry, le long de la rive gauche du fleuve Niger jusqu'à Farié, qui se situe à 55 kilomètres à l'ouest-nord-ouest de la capitale. Les véhicules joignent la rive droite du fleuve en traversant le fleuve Niger par le pont de Farié. A partir de Farié, le site est accessible par une route latéritique praticable en toute saison, sur une distance de 70 kilomètres, longeant généralement la rive nord de la rivière Sirba, affluent du fleuve Niger.

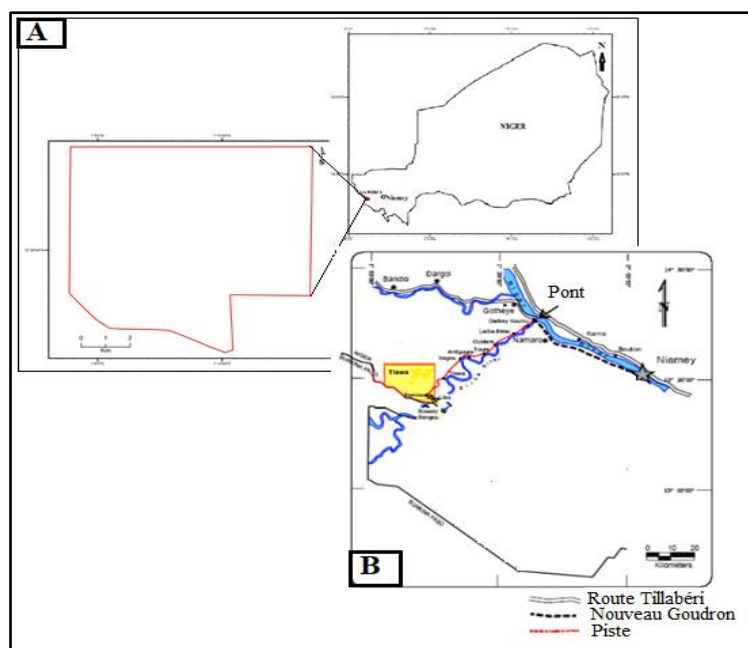


Fig. 1. Présentation de la zone d'étude A- situation géographique B- accès

2.2 GEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

La concession SML appartient à la région du Liptako nigérien de l'extrémité Nord-Est du domaine Baoulé-Mossi, qui constitue le Protérozoïque inférieur du bouclier de Léo, dorsale méridionale du Craton de l'Afrique de l'Ouest (Figure 2). Les formations géologiques sont réparties entre un socle birrimien d'âge paléo -protérozoïque moyen et des formations de couverture représentées par le Voltaïen d'âge néoproterozoïque, les formations du continental terminal d'âge Miocène à pliocène et des ensembles récents quaternaires [36]. Les roches méta-volcano-sédimentaires et méta-plutoniques sont classées en trois sillons ou ceintures volcano-sédimentaires, séparées par des massifs de granitoïdes.

Ce sont:

- le sillon de Goroul;
- le sillon de Téra;
- le sillon de la Sirba.

Ces sillons se composent de roches supracrustales métamorphiques, dont le degré de métamorphisme varie du faciès schiste vert à amphibolite et qui constituent des successions alternantes de roches volcaniques de composition tholéiitique à calco-alcaline et de faciès sédimentaires grésopélitiques.

Sur le plan structurale [16], les roches birimiennes du craton ouest africain ont été déformées par trois phases tectono-métamorphiques majeures durant l'orogénèse éburnéenne (2 200 à 2 000 Ma). Au cours de la première phase (D1) de compression, les formations supracrustales du Protérozoïque inférieur ont été chevauchées sur le socle archéen. Les phases suivantes (D2 et D3) représentent des déformations principalement par cisaillement horizontal (décrochements). La phase D2 était accompagnée par la mise en place d'importants volumes de roches granitoïdes et des zones de cisaillement d'orientation NE-SW dominaient la phase D3. L'étude de structures géologiques suggère que les successions volcano-sédimentaires ont subi les effets d'une déformation cisailante à caractère souple. L'ensemble des faciès volcano-sédimentaires est marqué par une schistosité bien exprimée.

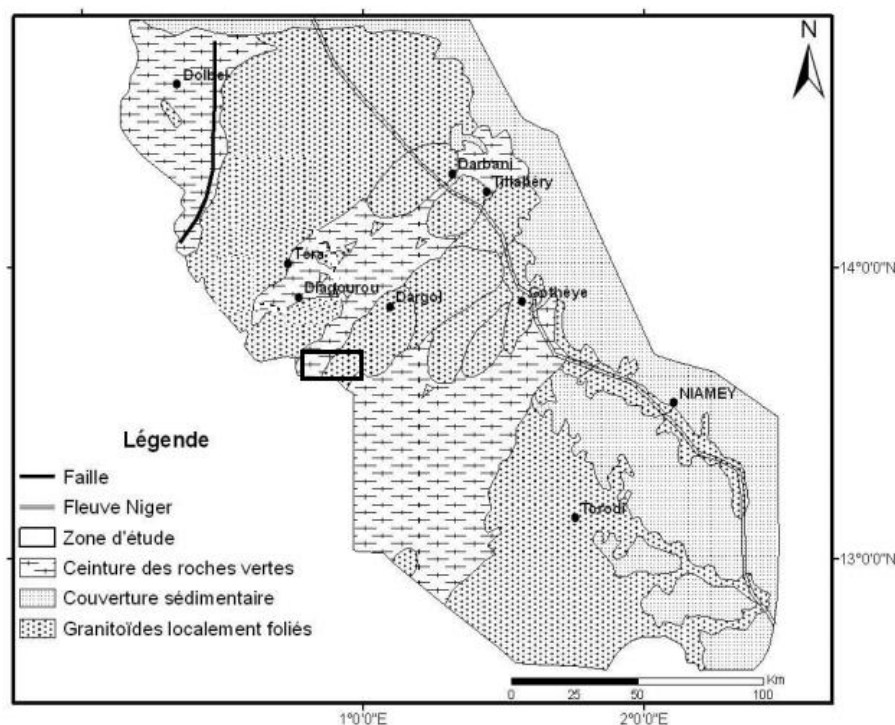


Fig. 2. Carte géologique simplifiée du Liptako nigérien [36]

2.3 MATERIEL

Pour mener à bien ce travail, les matériels utilisés sont: les images OLI de LANDSAT 8, le modèle numérique de terrain MNT d'ASTER (GDEM) et les différents matériels informatiques. Les images OLI de LANDSAT 8 (« LANDSAT_SCENE_ID = LC81930512013158LGN01 ») couvrant le permis d'exploitation de la SML ont été téléchargées sur le site USGS à l'adresse suivante <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Le Modèle Numérique de Terrain MNT de ASTER (GDEM) utilisé a été publié en octobre 2011 et est disponible à l'adresse: <http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>. Cette version offrait une résolution spatiale améliorée et une précision horizontale et verticale

accrue comparée à la première version publiée en juin 2009. Le traitement de toutes ces données s'est fait à l'aide des logiciels, installés sur un ordinateur équipé d'un processeur « *Intel Core i5 7th Gen* » de marque HP, d'une mémoire RAM de 8 Go et d'un disque dur d'un Téraoctet. Cet équipement a permis d'exécuter les programmes de l'ensemble des logiciels. Tous les travaux de prétraitement et de traitement des images OLI de LANDSAT 8 ont été exécutés à travers les logiciels ENVI 5.1 et ArcGis 10.4.1. Le modèle numérique de terrain MNT de ASTER (GDEM) n'a subi aucun prétraitement si ce n'est l'extraction de la zone d'étude sur ArcGis 10.4.1. Mais son traitement a été effectué à partir de l'algorithme « *tpi_jen.avx* » développée par l'entreprise Jeff Jenness [17] qui fonctionne avec les logiciels ESRI.

2.4 METHODOLOGIE

2.4.1 APPROCHE DE CARTOGRAPHIE DU REGOLITE

La cartographie des unités de régolites à partir des images satellitaires permet d'étudier l'évolution géomorphologique ainsi que le processus d'altération des zones tropicales ou semi-aride dans lesquelles les affleurements sont inégalement répartis ou absents. Toutefois la cartographie et l'interprétation des unités de régolite doivent être faites avec réserve car elles nécessitent une bonne compréhension du terrain. Les images de télédétection peuvent fournir des informations précieuses pour la cartographie et la détermination des unités de régolite [18]. Pour analyser les images de télédétection, la composition colorée et le rapport des bandes sont couramment utilisés pour extraire les informations [19], [20], [21], [22]. Les auteurs [23], [24] ont défini le régolite comme tous les matériaux qui se trouvent au-dessus du substratum rocheux. Cette définition tient compte des alluvions, des colluvions, du calcaire, des crêtes et des matériaux altérés. De même les matériaux carbonatés, siliceux et les minéraux ferrugineux sont des composants du régolite. Donc le régolite est l'ensemble des formations géologiques superficielles composées de la couverture latéritique et les matériaux meubles.

Ses matériaux proviennent non seulement de l'altération chimique des roches sous-jacentes mais aussi du processus d'érosion, de transport et de sédimentation à la surface de la terre.

2.4.2 METHODE DE TRAITEMENT DES IMAGES OLI DE LANDSAT 8

Les images OLI de LANDSAT 8 bénéficient d'un étalonnage radiométrique et d'une correction atmosphérique avant tout traitement. L'ensemble des procédés du traitement et d'extraction de l'information à partir des images est résumé sur l'organigramme de l'approche méthodologique suivant (Figure 3).

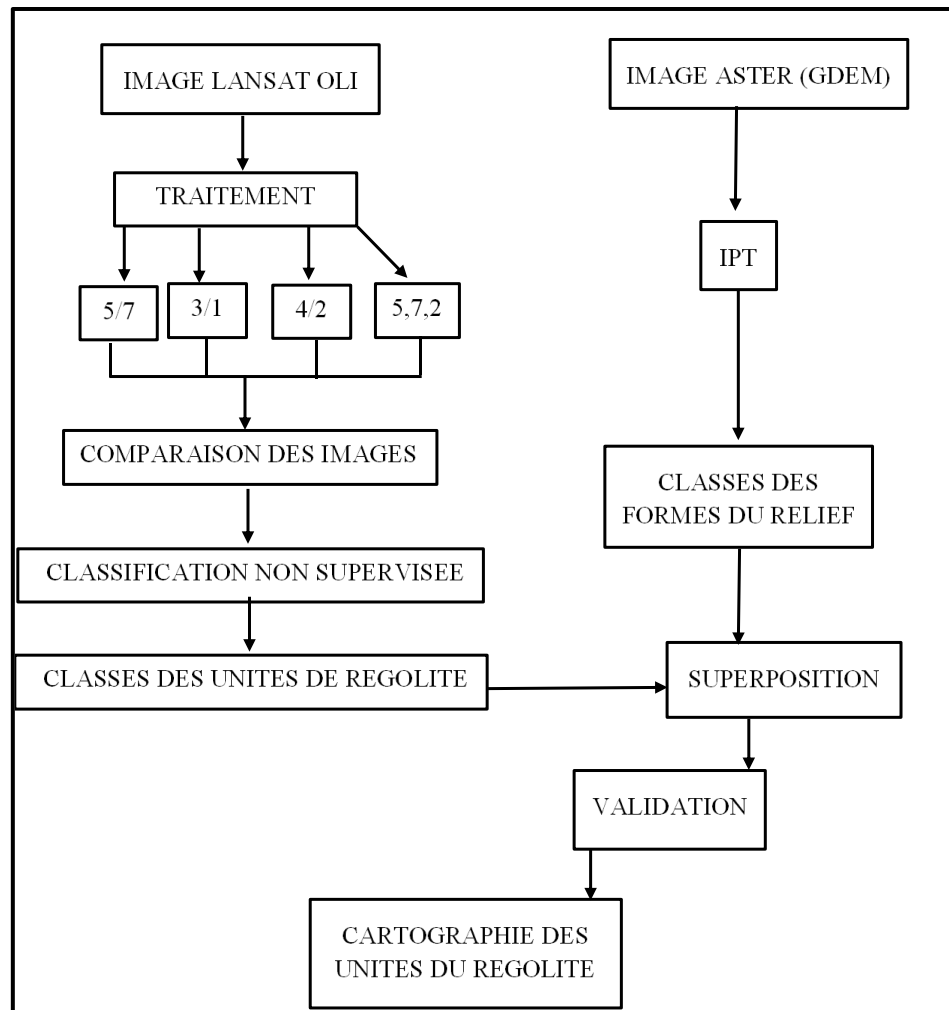


Fig. 3. Organigramme de l'approche méthodologique

2.4.3 CARTOGRAPHIE DES FORMES DU RELIEF

L'algorithme d'indice de position topographique (TPI) est une application qui calcule des grilles à partir des valeurs TPI. C'est une méthode fiable et reproductible qui permet de classer le relief et les pentes. Il fournit des fonctionnalités supplémentaires pour normaliser, classer et générer les statistiques de grilles [17]. La méthode TPI est plus précise à l'échelle locale et surtout sur les petites étendues que les anciennes méthodes [25], [26]. L'indice de position topographique mesure la différence entre l'élévation au point central d'une cellule et l'élévation moyenne à son voisinage dans un rayon prédéfini. Il détermine la position de chaque pixel par rapport aux pixels voisins. Sa valeur révèle la position verticale de chaque cellule par rapport aux cellules voisines dans un voisinage prédéfini. La prédéfinition du rayon des pixels voisins se fait par le couplage d'une petite et d'une grande cellule. Ainsi une valeur positive forte d'un pixel signifie que celui-ci présente une situation plus élevée en moyenne que ses voisins. Donc il se trouve à un niveau plus haut. De même les valeurs inférieures indiquent les vallées qui sont plus bas et les valeurs zéro représentent les zones plates ou les zones à pente constante. Le calcul de l'indice de position topographique est effectué à l'aide de l'équation [27] (Eq1).

$$TPI_i = T_0 \frac{(\sum_{n=1}^n T_n)}{n} \quad (Eq1)$$

Avec T_0 : point du modèle sous-évalué; T_n : élévation de la grille; n : nombre total des points environnants utilisés dans l'évaluation.

Les formes de terrain sont générées automatiquement à partir du reclassement des valeurs de l'indice de position topographique selon la typologie prédéfinie du tableau 1 ci-dessous [27]:

Tableau 1. Classification des formes du relief basé sur le TPI

1	Canyons, vallées fortement encaissées
2	Pentes moyennes, vallées peu profondes
3	Sources, plateaux drainés
4	Vallées en forme de U
5	Plaines
6	Pentes ouvertes
7	Plateaux, pentes sommitales
8	Crêtes locales, buttes dans les vallées
9	Crêtes à mi-pente, petites collines en plaine
10	Sommets, crêtes

2.4.4 STAGE DE TERRAIN

Le travail sur le terrain a consisté à une investigation claire et concise pour la reconnaissance des matériaux en place ou non à travers laquelle les unités identifiées et vérifiées au sol ont été reportées sur les cartes. Les matériaux de surface ont été examinés. Les formes du relief ont été caractérisés. A chaque endroit contrôlé, des observations ont été faites sur les unités cartographiées et leurs environnements de dépôt.

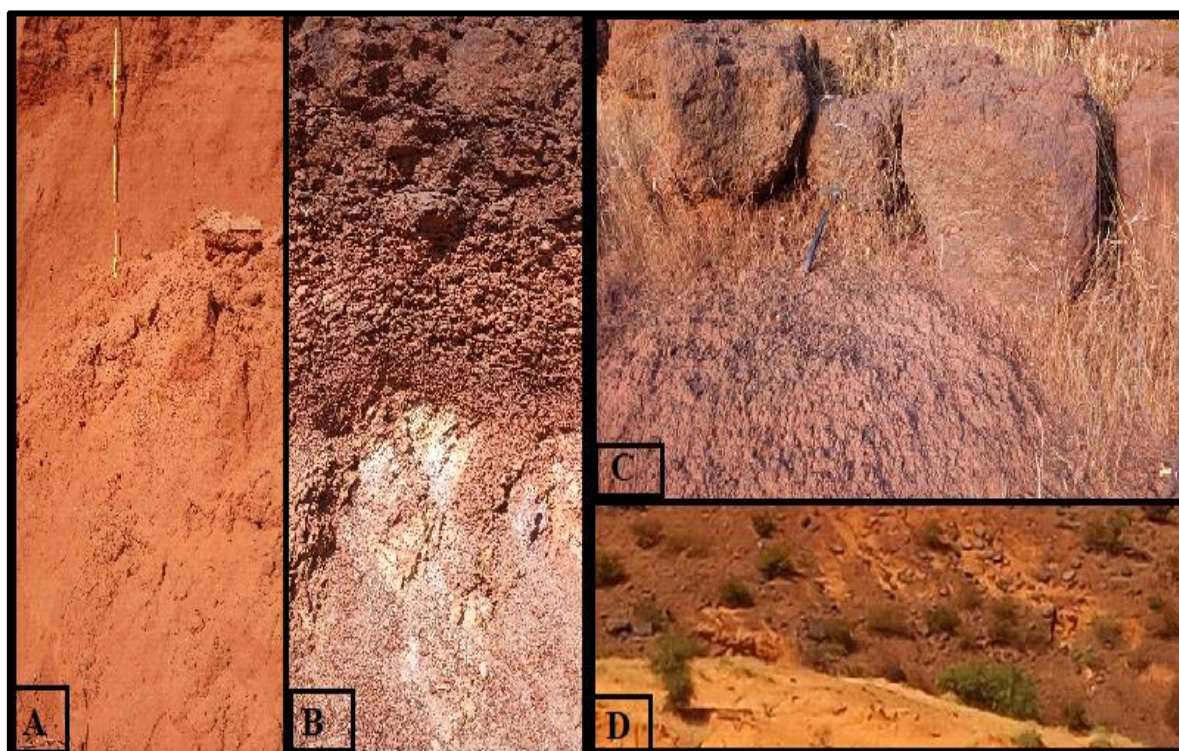


Fig. 4. Photos terrain A- dépôt du sable; B- Zone érodée; C- Latérites; D- Sable en bord de colline

3 RESULTATS

3.1 RATIO DES BANDES

Le rationnement des bandes est un processus d'amélioration de la valeur de la luminosité des pixels dans lequel une bande est divisée par toute autre bande du capteur. Il permet également de réduire ou éliminer les effets d'ombrage [20]. Trois ratios de bande ont été utilisés (Fig 5).

- Le ratio bande 5/7 est un excellent moyen pour identifier de minéraux hydratés tels que les argiles, alunite [21], [20]. Une valeur élevée de l'indice d'argile indique la présence de minéraux argileux tandis qu'une valeur faible indique des roches non altérées [22]. La variation spatiale de la teneur en argile dans la zone d'étude (Figure 5-A) a révélé une diversité de l'intensité de l'altération. Les tonalités rouges représentent les valeurs élevées de l'indice de l'argile.
- Le rapport 3/1 met en évidence la présence de l'oxyde de fer [28], [20], [21]. Une valeur élevée de l'indice de l'oxyde de fer montre la présence des minéraux de fer altérés et une valeur faible indique des zones sans oxyde de fer [22]. Dans la zone d'étude (Figure 5-B), les tonalités rouges représentent les valeurs élevées de l'indice de l'oxyde de fer.
- Le rapport 4/2 permet de séparer les ferrugineux du régolite non ferrugineux [14]. Une valeur élevée correspond à une teneur élevée en minéraux ferreux tandis qu'une valeur faible indique la présence de minéraux non ferreux (Figure 5-C). Les tonalités rouges représentent les valeurs élevées de l'indice des matériaux ferrugineux.

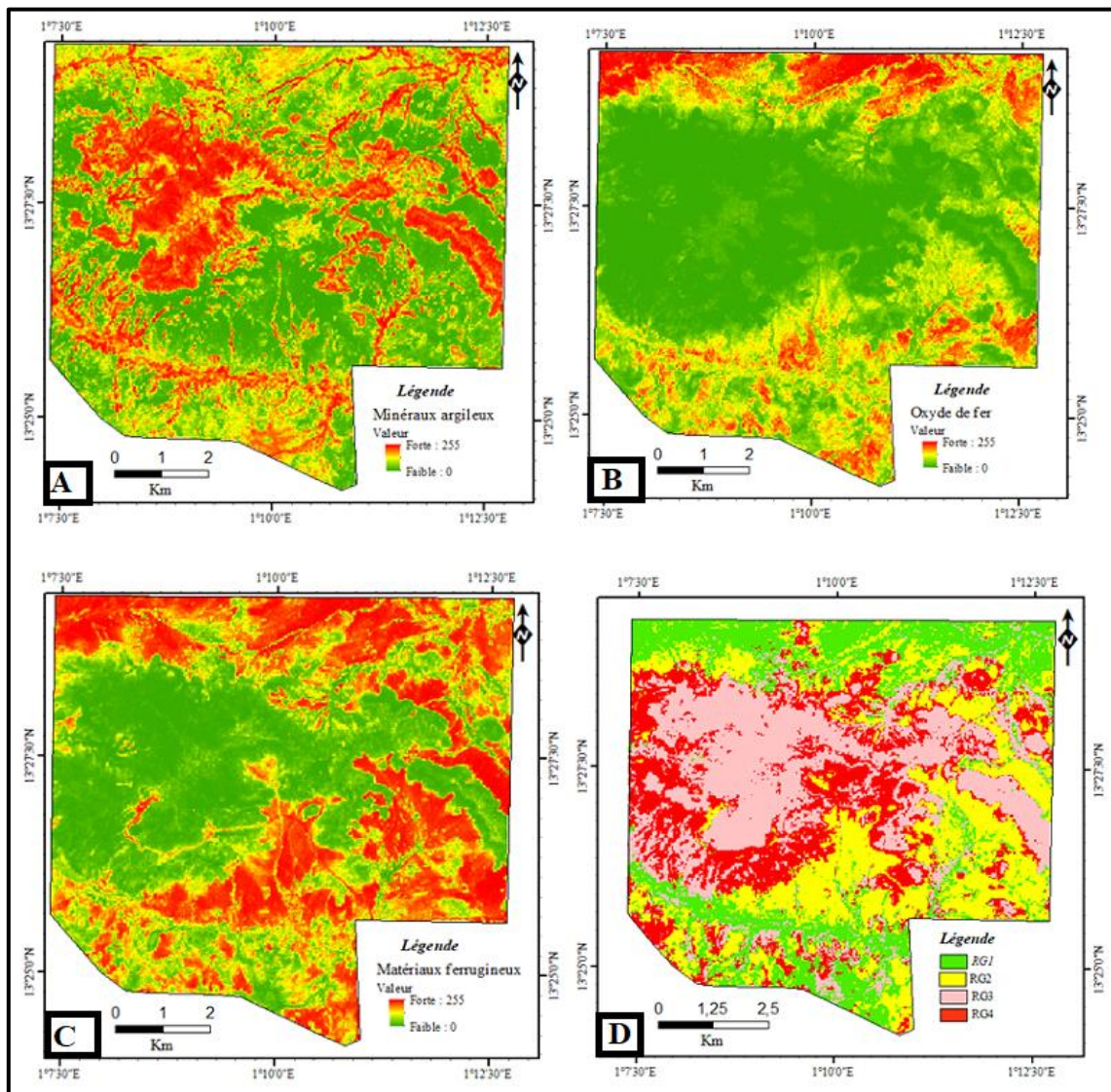


Fig. 5. Ratio des bandes images OLI A- Carte de l'indice d'argile; B- Carte de l'indice d'oxyde de fer; C- Carte des matériaux ferrugineux; D- Carte des différentes classes du régolite

Dans le contexte spatial, la classification non supervisée a été largement étudiée pour analyser des images ou des données de télédétection [29]. Elle est devenue une méthode généralement utilisée pour cartographier des zones [30]. La méthode couramment utilisée est l'algorithme de cluster qui est une technique d'analyse des données hiérarchiques et itératives par agrégation. C'est une méthode performante pour les scènes LANDSAT [31]. Contrairement à la classification supervisée, la classification non supervisée ne commence pas par l'échantillonnage. A la place de cela, on définit le nombre de classes, puis l'ordinateur regroupe automatiquement les pixels statistiquement similaires et en catégorie à l'aide de l'algorithme de cluster. La composition colorée des canaux 572 en assignant respectivement RGB a permis de faire cette classification car cette assignation montre modérément les types de régolite que les autres assignations. La classification a été effectuée et produite quatre classes différentes (Figure 5-D).

3.2 CARTOGRAPHIE DES FORMES DU RELIEF

3.2.1 PARAMETRAGE DU RAYON DE L'IPT

Le paramétrage du rayon d'analyse de l'indice de position topographique (IPT) a permis le couplage d'une petite et d'une grande échelle pour une bonne prise en compte de l'emboîtement des formes du relief. La petite échelle est de 3x3 et la grande 11x11. La classification des reliefs via l'algorithme de J.J de la petite cellule 3x3 a donné lieu (Figure 6-A) et celle de la grande échelle est illustrée (Figure 6-B).

Selon les figures 10 et 11, les valeurs de l'indice de position topographique sont comprises entre -8,96 et 10,82 pour la petite échelle 3x3 et pour la grande échelle 11x11 elle se trouve entre -17,97 et 28,83.

Après avoir mis la carte de l'indice de position topographique pour chaque échelle, la carte de classification des reliefs a été générée. Cette carte de classification des reliefs générés sur la base des valeurs calculées de l'indice de position topographique est montrée (Figure 6-C). Les classes sont constituées les vallées, les plaines, les plateaux et les collines.

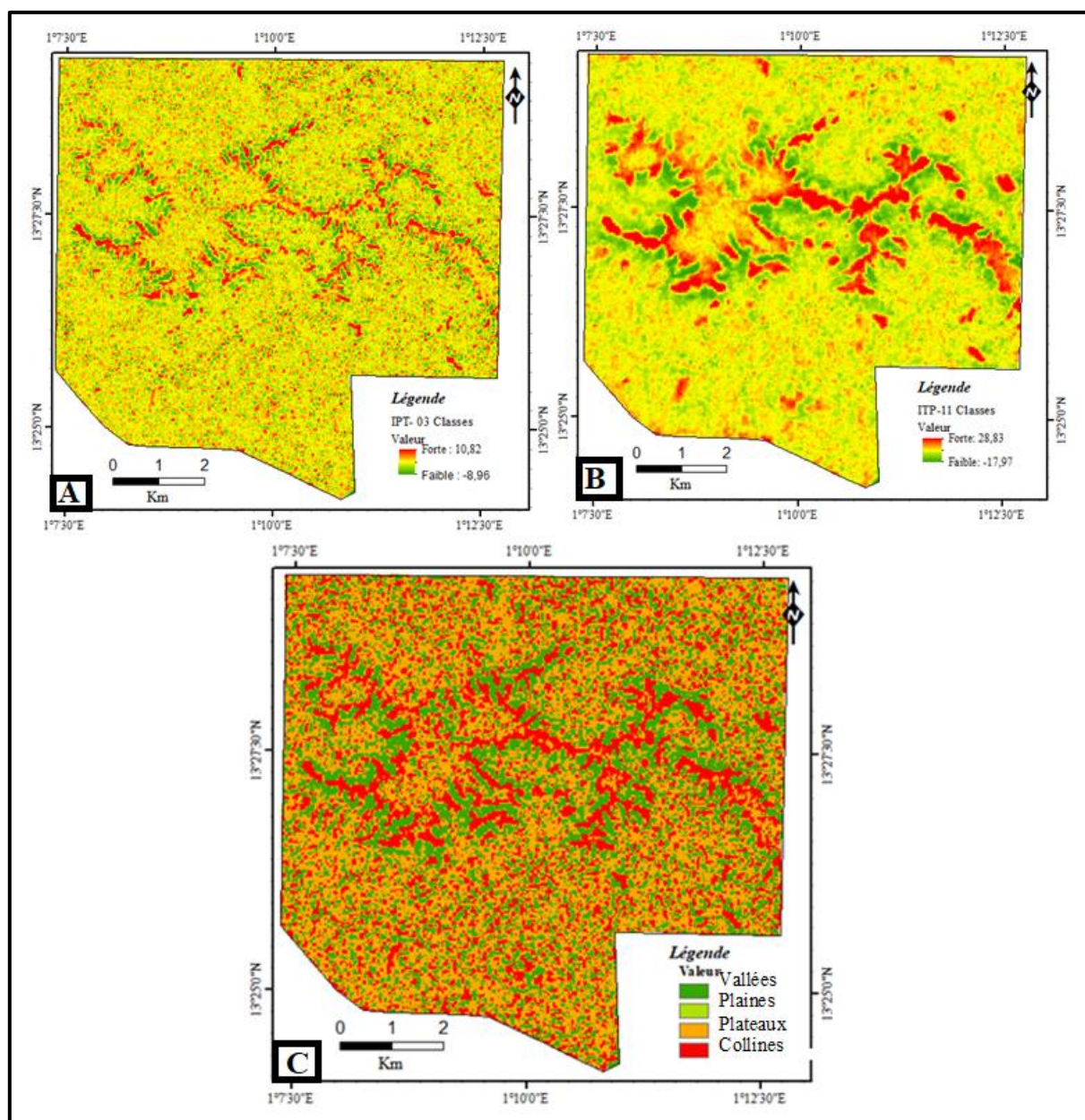


Fig. 6. Carte à base de l'IPT A- Carte IPT- 03 Classes; B- Carte IPT- 11 Classes; C- Carte des formes du relief

3.3 SUPERPOSITION ET VALIDATION

La carte de régolite issue de la classification non supervisée et celle des formes du relief générées à l'aide de l'indice de position topographique ont été utilisées pour effectuer la superposition. Dans ce travail, les formes du relief ont été utilisées comme les substituts des types de régolites [14]. En plus les techniques de corrélation spatiale entre le relief et le régolite ont été utilisées. A l'échelle cartographique, les zones dans lesquelles les caractéristiques des formes du relief et des types de régolite sont similaires peuvent être isolées [32], [33], [34], [2], [35], [15].

Le contrôle sur le terrain pour valider les unités de régolite qui sont extraites du traitement numérique des images satellites et de l'indice de position topographique est indispensable pour évaluer la performance de la méthodologie utilisée. A ce titre une mission du terrain a été faite en Mai 2021 afin de valider les résultats obtenus par le traitement des images OLI de LANDSAT 8 et l'indice de position topographique dans la zone d'étude. Les levés de reconnaissance ont été réalisés sur une partie représentative de la zone d'étude en tenant compte de l'accessibilité du terrain et les unités de régolite à traverser. Ils nous ont permis de constater que la majorité des unités de régolite visible sur le terrain est identique à celles retrouvées par le traitement télé-analytique sauf quelques chevauchements par endroit. Au moment de cette reconnaissance, les informations sur le processus de transformation des formes du relief et du régolite ont été codées et utilisées tout au long de ce travail. Cela concerne l'attribution des lettres majuscules pour les unités et le processus de transformation des formes du relief et des lettres minuscules pour le type du régolite. Le degré d'oxydation était désigné par faible, moyen ou fort tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2. *Classification des unités du régolite*

<i>Formes</i>	<i>Code</i>	<i>Types de Régolite</i>	<i>oxydation</i>
<i>Dépôt</i>	Da	Alluvions	moyenne
	Dc	Latérites du « Continental Terminal » recouvrant horizontalement les roches birimiennes	faible
<i>Erosion</i>	Es	Sol peu épais sur les roches birimiennes altérées « Saprolite »	forte
<i>Résiduel</i>	Rs	Couche de sable recouvrant les roches birimiennes	faible

De plus, les informations sur la puissance des unités de régolite ont été recueillies à partir de certaines tranchées, log et débris des sondages RC (Figure 7).

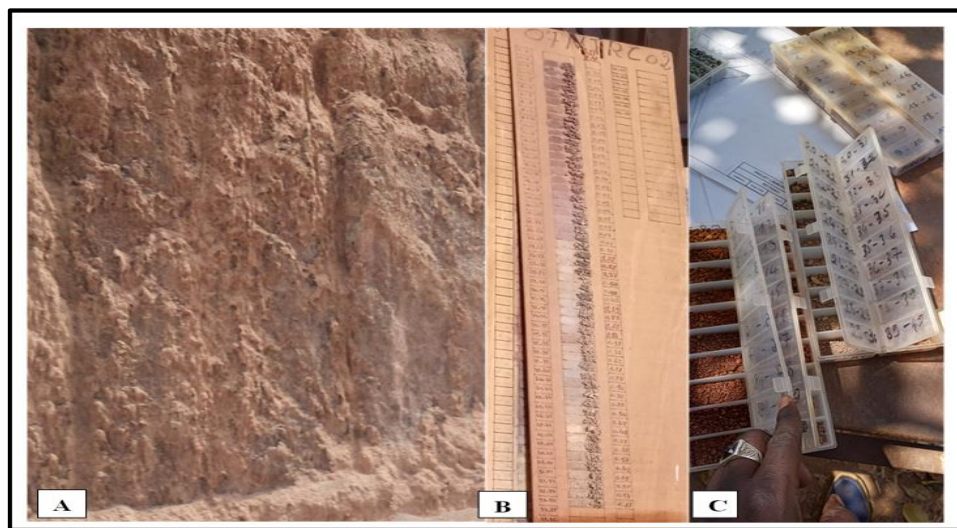


Fig. 7. *Photos de reconnaissance A- Tranchée; B- Log; C- Débris des sondages RC*

Elles ont montré une analogie entre les matériaux du régolite superficiels et les différents types de régolites interprétés. La déduction des unités de régolites a été effectuée sur la base de l'exactitude de l'interprétation des unités résultants du traitement numérique des images OLI de LANDSAT 8, de l'indice de position topographique et les données vérifiées sur terrain. La carte de régolite ainsi obtenue figure 8 dans le cadre de cette étude a été réalisée dans un environnement SIG. Elle servira de base pour l'analyse de l'impact du régolite pour une meilleure exploration géochimique dans la zone d'étude.

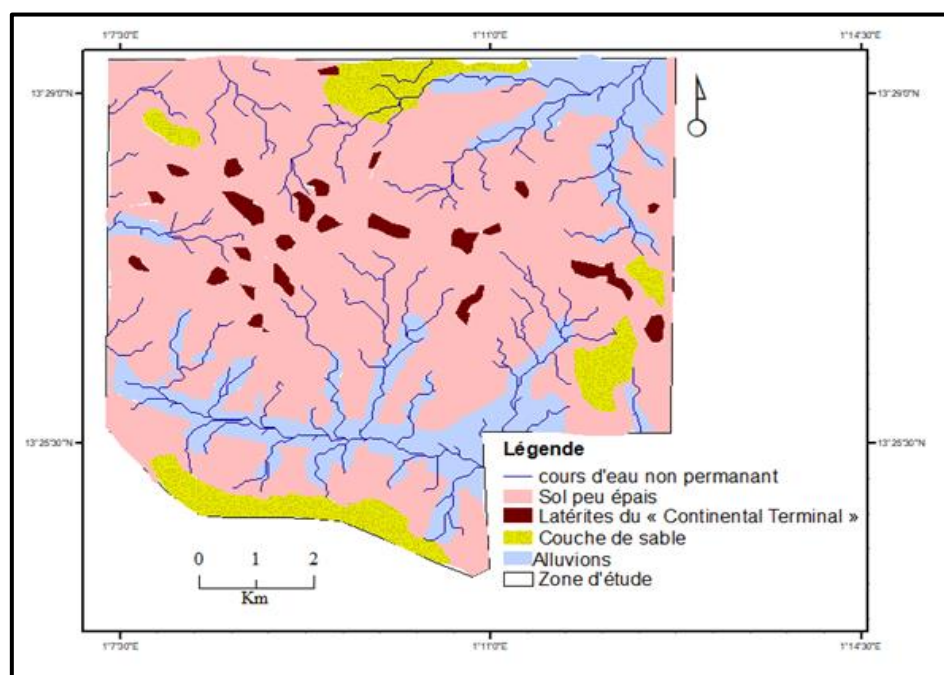


Fig. 8. Carte des unités du régolite

4 INTERPRETATIONS

Au cours des temps géologiques, l'évolution climatologique et géomorphologique ainsi que le processus d'altération du Liptako nigérien soulignent la présence des régolites complexes dans la zone d'étude. Globalement, la zone d'étude pourrait être subdivisée en trois zones différentes en relation avec les unités du régolite présentes (Figure 8).

En outre, la zone composée des parties Sud et Nord du permis contenant essentiellement des sédiments alluvionnaires (Da), présente une couverture de dépôt des sédiments alluvionnaires d'épaisseur méconnue compromettant l'exploration géochimique par l'inefficacité de l'échantillonnage. Pour la grande partie de ses sédiments alluvionnaires, il s'agit du sable d'origine éolienne qui recouvre une grande partie, des dunes de sable de fois linéaires orientées dans la direction Sud-Est d'épaisseur souvent plus de 20 m par endroit. A cela s'ajoute un important dépôt d'alluvions récentes ou des matériaux transportés de fois ferrugineux qui est associé aux cours d'eau non permanent dans une partie de l'année de la zone.

Puis, la zone constituée du centre vers l'ouest est composée majoritairement des roches birimiennes altérées (Es) ainsi des roches sédimentaires du « continental terminal » (Dc). Dans cette partie du permis composée principalement des roches birimiennes saprolitisées. Leurs affleurements se présentent généralement sous la forme de faible colline rocheuse tantôt lisse ou de plaine qui coupe étroitement par des chenaux la saprolite développée à partir de la roche sous-jacente. Le matériel transporté ou le sol peu épais qui s'est développé sur la saprolite possède localement une puissance à peu près de 30 cm. Les roches sédimentaires du « continental terminal » sont des grès ayant subi une latéritisation d'épaisseur généralement supérieures à des dizaines de mètres par endroit. Elles se reposent en discordance sur les roches birimiennes. Les roches du « continental terminal » pourraient sans nul doute modifier la signature des minéralisations des roches sous-jacentes et rendre difficile la découverte des anomalies géochimiques.

En fin, la zone Sud-Est est composée du sable provenant de la désintégration des roches du « continental terminal » (Rs). Cette partie Est du permis contenait des faibles dépôts de sable possédant une épaisseur assez faible, la plupart du temps inférieurs à 1 mètre. Ils sont dérivés de l'érosion du grès « Continental Terminal » développé sur les roches birimiennes altérées. Ses dépôts ont été observés à plusieurs endroits où ils sont partiellement ferrugineux. Dans certains endroits la saprolite était présente, c'est qui prouve la faible puissance de la couche de sable.

Dans la zone d'étude, les régolites peuvent être subdivisés en deux grandes parties pour les besoins de l'exploration géochimique. En première lieu, à peu près 30 % de la zone d'étude qui regroupe la zone couverte par des sédiments alluvionnaires et la zone contenant des roches sédimentaires du « continental terminal » recouvrant horizontalement les roches birimiennes où les méthodes d'échantillonnages conventionnelles sont inopérantes et inefficaces. En seconde partie, plus de 70% du permis qui correspond à la zone composée des roches birimiennes altérées et « saprolitisées » parfois recouvertes par du sol peu épais ou de l'affleurement par la roche fraîche sous-jacente et la zone constituée d'une couche de sable provenant de la désintégration des roches du « continental terminal » recouvrant horizontalement les roches birimiennes. Dans cette partie l'échantillonnage conventionnel peut être utilisé.

5 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La carte du régolite de la concession SML du permis d'exploitation Tiawa été produite grâce à l'utilisation des images Landsat 8 et de l'indice de position topographique (IPT). Cela démontre l'utilité et l'efficacité de la télédétection et de l'IPT dans la cartographie du régolite.

Dans la zone d'étude, l'étude a permis de cartographier quatre unités de régolite à savoir les sédiments alluvionnaires, les roches sédimentaires du « continental terminal », les roches birimiennes altérées et « saprolitisées » parfois recouvertes par du sol peu épais ou de l'affleurement par la roche fraîche sous-jacente et le sable provenant de la désintégration des roches du « continental terminal ».

Ainsi, l'étude a montré qu'à peu près 70 % de la zone est recouverte des matériaux provenant de diverses sources telles que les roches birimiennes altérées et « saprolitisées » parfois recouvertes par du sol peu épais ou de l'affleurement par la roche fraîche sous-jacente et du sable provenant de la désintégration des roches du « continental terminal ».

Aussi, l'étude a également montré que plus de 30 % du terrain était recouvert des sédiments alluvionnaires et les roches sédimentaires du « continental terminal » recouvrant les roches birimiennes. Dans l'environnement superficiel, ses matériaux ont un impact négatif sur l'exploration géochimique de l'or. Cette partie nécessite des techniques d'échantillonnages spécialisées couplées à une cartographie détaillée du régolite de façon à agir adéquatement l'effet d'un recouvrement pouvant masquer les cibles de l'exploration géochimique.

A partir des résultats escomptés, l'étude propose l'utilisation de la méthode de télédétection et de l'IPT pour la cartographie du régolite dans le Liptako nigérien et dans des environnements similaires. Par ailleurs, elle suggère de forer ou de foncer des puits jusqu'à la saprolite. Cette technique d'échantillonnage permettrait de détecter des signaux géochimiques issus des minéralisations aurifères cachées. Toutefois, l'exploration géochimique nécessite une bonne connaissance des diverses formes que peuvent prendre les matériaux transportés de façon à pouvoir les identifier adéquatement sur chaque point d'échantillonnage.

REFERENCES

- [1] D. Chardon, J.-L. Grimaud, A. Beauvais, et O. Bamba, « West African lateritic pediments: Landform-regolith evolution processes and mineral exploration pitfalls », *Earth-Science Reviews*, vol. 179, p. 124-146, avr. 2018, doi: 10.1016/j.earscirev.2018.02.009.
- [2] E. Arhin, « Use of regolith geochemistry to delineate gold mineralisation under cover: a case study in the Lawra belt, NW Ghana », *undefined*, 2013.
- [3] A.-G. Patrick, A. Ewusi, et A. Yeboah, « Weathering and its influence on regolith mapping in mineral exploration: A case study on the Manso Amenfi gold project in the Western Region of Ghana. », nov. 2012.
- [4] B. Sawadogo, O. Bamba, et D. Chardon, « Landform-regolith mapping in the West African context », *Ore Geology Reviews*, vol. 126, p. 103782, nov. 2020, doi: 10.1016/j.oregeorev.2020.103782.
- [5] R. R. Anand et M. Paine, « Regolith geology of the Yilgarn Craton, Western Australia: implications for exploration », *Australian Journal of Earth Sciences*, vol. 49, no 1, p. 3-162, 2002, doi: 10.1046/j.1440-0952.2002.00912.x.
- [6] K. McQueen et K. Scott, « Rock Weathering and Structure of the Regolith », in *Regolith Science*, K. Scott et C. Pain, Éd. Australia: CSIRO Publishing, 2009, p. 103-126.
- [7] N. T. Arndt, L. Fontboté, J. W. Hedenquist, S. E. Kesler, J. F. H. Thompson, et D. G. Wood, « Future Global Mineral Resources », *Geochemical Perspectives*, vol. 6, no 1, p. 1, 2017, doi: 10.7185/geochempersp.6.1.
- [8] R. R. Anand et C. R. M. Butt, « A guide for mineral exploration through the regolith in the Yilgarn Craton, Western Australia », *Australian Journal of Earth Sciences*, vol. 57, no 8, p. 1015-1114, déc. 2010, doi: 10.1080/08120099.2010.522823.
- [9] Q. Cheng, « Singularity theory and methods for mapping geochemical anomalies caused by buried sources and for predicting undiscovered mineral deposits in covered areas », *Journal of Geochemical Exploration*, vol. 122, p. 55-70, nov. 2012, doi: 10.1016/j.gexplo.2012.07.007.
- [10] M. A. Craig, « Regolith mapping for geochemical exploration in the Yilgarn Craton, Western Australia », *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, vol. 1, no 4, p. 383-390, nov. 2001, doi: 10.1144/geochem.1.4.383.
- [11] C. Pain, R. Chan, M. Craig, D. Gibson, P. Ursem, et J. Wilford, « RTMAP REGOLITH DATABASE FIELD BOOK AND USERS GUIDE », p. 101.
- [12] K. McQueen, « The nature, origin and exploration significance of the regolith, Girilambone-Cobar Region: Exploration Field Workshop Cobar Region 2004 », *Exploration Field Workshop Cobar Region 2004*, p. 51-56, 2004.
- [13] R. R. Anand, « WEATHERING HISTORY, LANDSCAPE EVOLUTION AND IMPLICATIONS FOR EXPLORATION », p. 31.
- [14] E. Arhin, R. T. Jenkin, D. Cunningham, et P. Nude, « Regolith mapping of deeply weathered terrain in savannah regions of the Birimian Lawra Greenstone Belt, Ghana », *Journal of Geochemical Exploration*, vol. 159, sept. 2015, doi: 10.1016/j.gexplo.2015.09.008.
- [15] C. Ntori, E. Arhin, A. Sulemana, et D. Boateng, « Characterization of Regolith Types and its Impact on Gold Anomaly in Highly Weathered Terrains Using Multiple Dataset », *International Journal of Geography and Geology*, vol. 8, p. 137-152, janv. 2019, doi: 10.18488/journal.10.2019.84.137.152.

- [16] A. Soumaïla et M. Konaté, « Caractérisation de la déformation dans la ceinture birimienne (paléoprotérozoïque) de Diagorou-Darbani (Liptako nigérien, Afrique de l'Ouest) », *Africa Geoscience Review*, vol. 12, no 3, p. 161-178, oct. 2005, Consulté le: 3 mai 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00201276>.
- [17] « Jenness Enterprises - Extensions ArcView; Indice de position topographique ». <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm> (consulté le 16 septembre 2021).
- [18] F. A. Kruse, J. W. Boardman, et J. F. Huntington, « Comparison of airborne hyperspectral data and EO-1 Hyperion for mineral mapping », *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 41, no 6, p. 1388-1400, juin 2003 doi: 10.1109/TGRS.2003.812908.
- [19] H. Yésou, Y. Besnus, et J. Rolet, « Extraction of spectral information from Landsat TM data and merger with SPOT panchromatic imagery — a contribution to the study of geological structures », *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 48, no 5, p. 23-36, oct. 1993, doi: 10.1016/0924-2716(93)90069-Y.
- [20] A. Alasta, Using Remote Sensing data to identify iron deposits in central western Libya. 2011.
- [21] J. A. Richards et X. Jia, Remote sensing digital image analysis: an introduction, 4th ed. Berlin: Springer, 2006.
- [22] S. Al-Rawashdeh, B. Saleh, et M. Hamzah, « The use of Remote Sensing Technology in geological Investigation and mineral Detection in El Azraq-Jordan », *Cybergeo : European Journal of Geography*, oct. 2006, doi: 10.4000/cybergeo.2856.
- [23] G. Taylor et R. A. Eggleton, *Regolith Geology and Geomorphology*. John Wiley & Sons, 2001.
- [24] P. Wright, « Ollier, C. & Pain, C. 1996. Regolith, Soils and Landforms. ix + 316 pp. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley & Sons. Price £65.00 (hard covers). ISBN 0 471 96121 3. », *Geological Magazine*, vol. 134, no 1, p. 121-142, janv. 1997, doi: 10.1017/S0016756897386130.
- [25] M. Mokarram et M. Hojati, « Comparison of Landform Classifications of Elevation, Slope, Relief and Curvature with Topographic Position Index in the South of Bojnourd », *Ecopersia*, vol. 4, p. 1343-1357, juin 2016, doi: 10.18869/modares.ecopersia.4.2.1343.
- [26] J. P. Wilson et J. Gallant, « Terrain analysis : principles and applications », undefined, 2000, Consulté le: 19 septembre 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.semanticscholar.org/paper/Terrain-analysis-%3A-principles-and-applications-Wilson-Gallant/b42e384e7ad6d2c93e87ab37809a7d178aac7d00>.
- [27] « tpi-poster-tnc_18x22.pdf ». Consulté le: 16 septembre 2021. [En ligne]. Disponible sur: http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc_18x22.pdf.
- [28] C. Oppenheimer, « Drury S. A., 1993. Image Interpretation in Geology, 2nd ed. xi + 283 pp. London, Glasgow, New York, Tokyo, Melbourne, Madras: Chapman ' Hall. Price £24.95 (paperback). ISBN 0 412 48880 9. », *Geological Magazine*, vol. 131, no 5, p. 704-706, sept. 1994, doi: 10.1017/S0016756800012693.
- [29] G. Celeux, F. Forbes, et N. Peyrard, « EM procedures using mean field-like approximations for Markov model-based image segmentation », *Pattern Recognition*, vol. 36, no 1, p. 131-144, janv. 2003, doi: 10.1016/S0031-3203(02)00027-4.
- [30] M. Wulder, S. Franklin, J. White, M. Cranny, et J. Dechka, « Inclusion of topographic variables in an unsupervised classification of satellite imagery », *Canadian Journal of Remote Sensing*, vol. 30, p. 137149, avr. 2004, doi: 10.5589/m03-063.
- [31] T. Duda et M. Canty, « Unsupervised classification of satellite imagery: Choosing a good algorithm », *International Journal of Remote Sensing*, vol. 23, p. 2193-2212, juin 2002, doi: 10.1080/01431160110078467.
- [32] C. Pain, R. Chan, M. Craig, D. Gibson, P. Ursem, et J. Wilford, « RTMAP REGOLITH DATABASE FIELD BOOK AND USERS GUIDE », p. 101.
- [33] M. A. Craig, K. G. McQueen, et Centre for Australian Regolith Studies, Éd., *Developments and new approaches in regolith mapping: proceedings of a two day seminar and workshop organised by the Centre for Australian Regolith Studies at the University of Canberra, 20-21 June 1995*. Canberra: Centre for Australian Regolith Studies, Australian National University, Unieristy of Canberra, 1995.
- [34] S. W. Laffan et B. G. Lees, « Predicting regolith properties using environmental correlation: a comparison of spatially global and spatially local approaches », *Geoderma*, vol. 120, no 3, p. 241-258, juin 2004, doi: 10.1016/j.geoderma.2003.09.007.
- [35] F. Agustin, « ASTER Mineral Classification for Regolith Mapping in Tick Hill Mount Isa, Northwest Queensland », *Indonesian Journal on Geoscience*, vol. 4, juill. 2017, doi: 10.17014/ijog.4.2.97-109.
- [36] MACHENS E.1973: contribution à l'étude des formations du socle cristallin et de la couverture sédimentaire de l'Ouest de la République du Niger. Mémo. BRGM, n°82, 167p.

Caractérisation biophysique de l'exposition aux champs magnétiques dans les ménages des environs des lignes très haute tension de Kinshasa

[Biophysical characterisation of exposure to magnetic fields in households in the vicinity of very high voltage lines in Kinshasa]

Crispin Ngoma Buveka¹, Christian Mabwisi Sala², Albert Phongi Kingiela², José Emmanuel Mata Tombo¹, Joseph Cimbela Kabongo¹, and Zéphyrin Butsana Bu Nianga³

¹Université Pédagogique Nationale, Faculté des Sciences, Département de Physique et des Sciences Appliquées, B.P 8815 Kinshasa Binza, RD Congo

²Université Pédagogique Nationale, Faculté de Psychologie et des Sciences de l'éducation, Département Orientation Scolaire et Professionnelle, B.P 8815 Kinshasa Binza, RD Congo

³Université de Kinshasa, Faculté des Sciences et des Technologies, Département de Physique, B.P 190, Kinshasa XI, RD Congo

Copyright © 2022 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 city of Kinshasa is a megalopolis of more than 12 million inhabitants that has not adapted to the population explosion of the last 30 years. One of the serious consequences is the absence of binding urban planning standards in terms of construction and land use, with the result that many households are settling under the Very High Voltage (VHV) power lines that supply the city, in defiance of the 25m corridor recommended by the Electricity National Company (S.N.EL). Research undertaken since 2015 has established on the one hand a 100 m right-of-way on both sides of the line and revealed on the other hand that more cases of epilepsy, cancers, rheumatism and impaired eyesight are found in households living closest to these lines compared to national statistics, mainly in places where the magnetic fields are higher than 0.400 μ T.

KEYWORDS: Extremely low frequency magnetic field, exposure, very high voltage line, standard, pathologies.

RESUME: La ville de Kinshasa est une mégapole de plus de 12 millions d'habitants qui ne s'est pas adaptée à l'explosion démographique de ces 30 dernières années. L'une des graves conséquences est l'absence de normes urbanistiques contraignantes en matière de constructions et d'aménagement du territoire de sorte que de nombreux ménages s'installent sous les lignes électriques Très Haute Tension (THT) qui alimentent la ville au mépris de l'emprise d'un couloir de 25 m préconisée par la Société Nationale d'Electricité (S.N.EL). Des recherches entreprises depuis 2015 ont permis d'établir d'une part une emprise de 100 m des deux côtés de la ligne et ont révélé d'autre part que l'on rencontre, dans les ménages qui vivent le plus près de ces lignes, davantage de cas d'épilepsie, de cancers, de rhumatismes et d'altération de la vue comparativement aux statistiques nationales, principalement aux endroits où les champs magnétiques sont supérieurs à 0.400 μ T.

MOTS-CLEFS: Champ magnétique, exposition, ligne très haute tension, norme, pathologies.

1 INTRODUCTION

Les Champs Magnétiques (CM) artificiels, auxquels appartiennent les CM générés par les lignes Très Haute tension (THT) s'ajoutent au bain d'ondes électromagnétiques naturels [1, 2] dont le rapport entre l'intensité de fond des rayonnements naturels et artificiels a varié de manière exponentielle [3], ce qui a littéralement changé cet environnement naturel au cours du 20^{ème} siècle [4].

A cet effet, alors que seuls les effets des rayonnements ionisants retenaient l'attention au début, une vaste région du spectre électromagnétique, celle des rayonnements non ionisants, longtemps considérée comme n'ayant aucune influence sur les systèmes vivants dans des conditions naturelles, ces 30 dernières années ont vu germer la préoccupation selon laquelle l'exposition quotidienne à des CM à très basse fréquence pourrait être nocive pour la santé humaine et il s'est dès lors posé un problème de santé publique [5, 6] ainsi que les affaires judiciaires ont parfois eu à le confirmer [7].

En effet, même si d'aucuns considèrent aujourd'hui l'électricité comme un des principaux moyens d'amélioration de la qualité de la vie, les travaux de Weithermer et Leeper [8] ont introduit la question de possibles effets indésirables sur la santé en relation avec les CE et CM dus à la production, le transport et l'utilisation de l'électricité [9] car lorsque le corps humain se trouve intégré dans le circuit électrique, les CM alternatifs et circulaires pénètrent complètement et y créent des courants de Foucault [2]. D'autres travaux de Weithermer and Leeper [10] attirèrent l'attention sur les effets potentiels des Champs Electromagnétiques d'Extrêmement Basse Fréquence (CEM EBF) sur une augmentation de leucémies chez les enfants ayant une exposition résidentielle importante à ce type de CM [11].

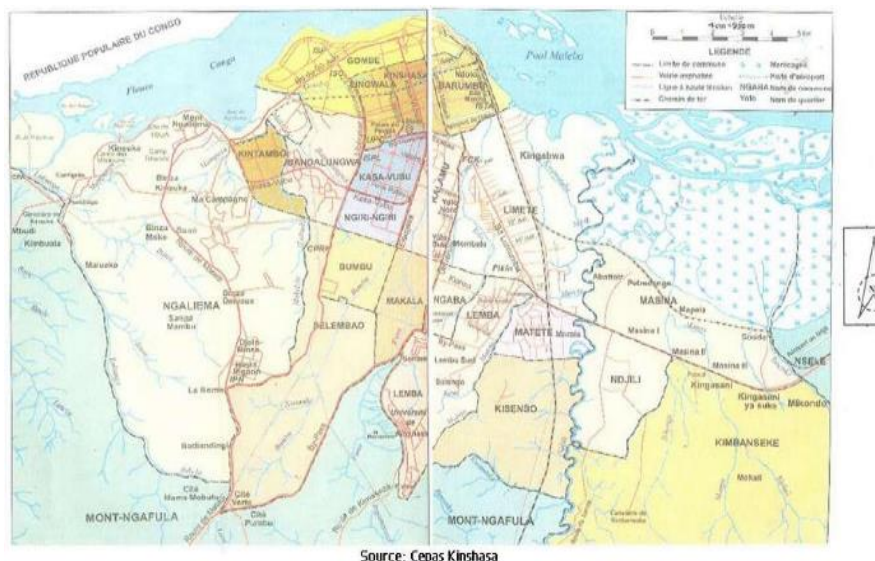
L'état des recherches actuelles indique que ces CM ont certains impacts au nombre desquels on peut citer la modulation d'événements chimiques de surface, liés à la cellule, par des CEM faibles [12].; des cas de cancers, des anomalies de la reproduction, des maladies cardiovasculaires, des maladies neurodégénératives ou des troubles comme des problèmes de sommeil, des céphalées, des rhumatismes, des cas d'épilepsie [13 – 17]. Il est des études qui ont également établi une association entre les CEM EBF et la leucémie lymphoblastique aiguë (LLA) pour les expositions environnementales les plus fortes, supérieures à 0.300 ou 0.400 μ T particulièrement pour les enfants [18 – 20] sans oublier de mentionner aussi les études qui signalent le fait que ces CEM altèrent l'acuité visuelle [21].

Ce qui précède explique la fixation notamment par la Commission Internationale pour la Protection contre les Rayonnements Non Ionisants (CIPRNI) de normes d'exposition [22]. Ainsi, pour protéger les populations contre les effets des CM, le CIPRNI et l'OMS demandent depuis 2007 à l'ensemble des Etats d'appliquer des normes en passant par une concertation [23] entre les différents partenaires concernés par la pollution électromagnétique [24]. Pour valider l'emprise à recommander, nous avons retenu dans cette étude le seuil épidémiologique de 0.100 μ T [25].

2 MATÉRIELS ET MÉTHODE

2.1 MILIEU D'ÉTUDE

D'une superficie de 9.965 km², la ville de Kinshasa, capitale de la RD Congo, est située à 281 m d'altitude sur le bord côté ouest du fleuve Congo au niveau du Pool Malebo. Ses coordonnées géodésiques sont respectivement 4°19'39" Sud et 15°18'48" Est [26]. Cette ville est la plus grande ville de la RD Congo et l'une des plus importantes mégapoles du monde. Sa population est d'environ 12 millions d'habitants. Cette étude concerne 5 communes de la ville de Kinshasa qui sont traversées et alimentées par les lignes THT et où l'on trouve des maisons construites sous et le long des lignes THT.



Source : Cepas Kinshasa

Fig. 1. Carte de la ville de Kinshasa

Source : CEPAS.

2.2 MATÉRIELS

Alors que nous avons utilisé un questionnaire pour l'enquête ménages ainsi que le logiciel SPSS 23, les analyseurs de basses fréquence « ME 3030B M/E Analyser » tri directionnel et « Magnetic Field Meter TM 191 » unidirectionnel ont été alternativement utilisés pour mesurer respectivement les champs de moins de $2.000 \mu T$ et de plus de $2.000 \mu T$. Le GPS MAP T8 de marque GARMIN a servi à la géo localisation des lieux d'enquête alors que Matlab nous a permis de calculer les moyennes et d'obtenir les graphiques.

La figure 8 ci-après présente les appareils qui ont été utilisés pour les mesures.



Fig. 2. De gauche à droite: Le GPS MapGARMIN Série 78 Negro, l'analyseur de fréquence TENMARS et l'analyseur de fréquences GIGAHERTZ

2.3 MÉTHODE

2.3.1 POUR LE VOLET MESURES

Les mesures de CM ont été effectuées dans les communes de Kisenso, Matete, Limete, Bandalungwa et Selembao, Le choix de l'habitation de référence de départ a obéi aux mêmes exigences que pour l'enquête ménage. Les mesures ont été répétées à trois reprises chaque fois [27], tous les 10 m jusqu'à 100 m, de part et d'autre de la ligne. Les valeurs utilisées pour l'analyse des données sont exclusivement constituées de moyennes qui sont ensuite comparées à la norme de $0.400 \mu T$ d'une part et de $0.100 \mu T$ retenue comme valeur seuil dans cette étude.

La moyenne de chaque série de 3 mesures est donnée par la relation statistique courante

$$B = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N B_i \quad (2 - 01)$$

2.3.2 POUR LE VOLET ENQUÊTE

Pour réaliser le volet enquête de cette étude, on a recouru à un échantillon à deux degrés [28] dont le premier concerne les communes traversées par la ligne HT et le deuxième se rapporte aux ménages situés le long de ladite ligne. En procédant de la sorte dans toutes les 5 communes sélectionnées au premier degré, nous avons pu constituer un échantillon de 1 334 ménages. Pour vérifier la conformité des hypothèses, la moyenne et l'écart-type ont été calculés, les différents résultats ont ensuite été éprouvés en utilisant le test de chi-carré et le test t de student.

3 RÉSULTATS

3.1 MESURES DE CHAMPS MAGNÉTIQUES DUS AUX LIGNES THT DANS LA VILLE DE KINSHASA

3.1.1 MESURES DE CM DANS LA COMMUNE DE SELEmbao

Les valeurs de CM mesurées dans cette commune sont présentées dans le tableau suivant:

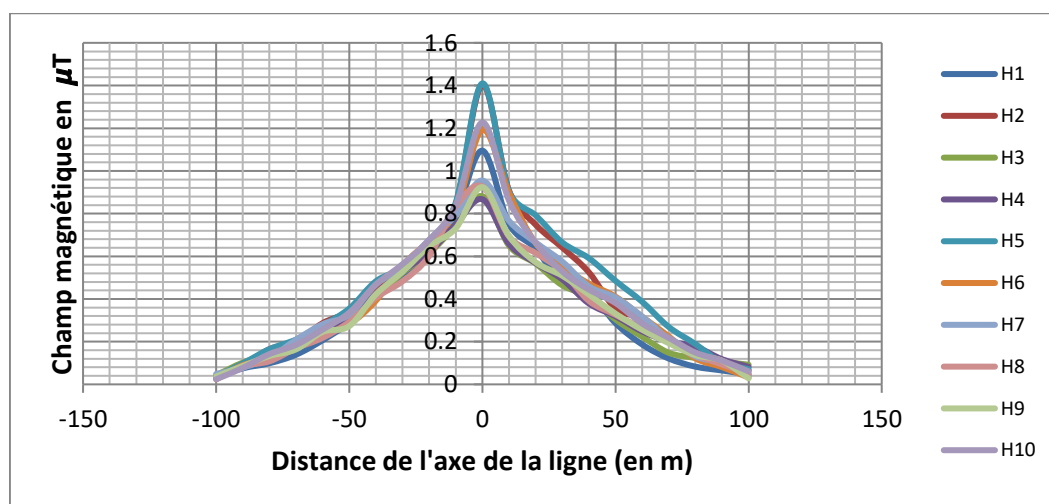


Fig. 3. Allure des champs magnétiques dans les ménages de la Commune de Selembao

Le graphique ci-dessus montre l'évolution des champs magnétiques des dix habitations de la commune de Selembao. On peut voir que les CM sont en dessous de 0,400 μT au-delà de 50 m mais l'on n'atteint les valeurs inférieures à 0,100 μT qu'après 90 m.

3.1.2 MESURES DE CM DANS LA COMMUNE DE LIMETE

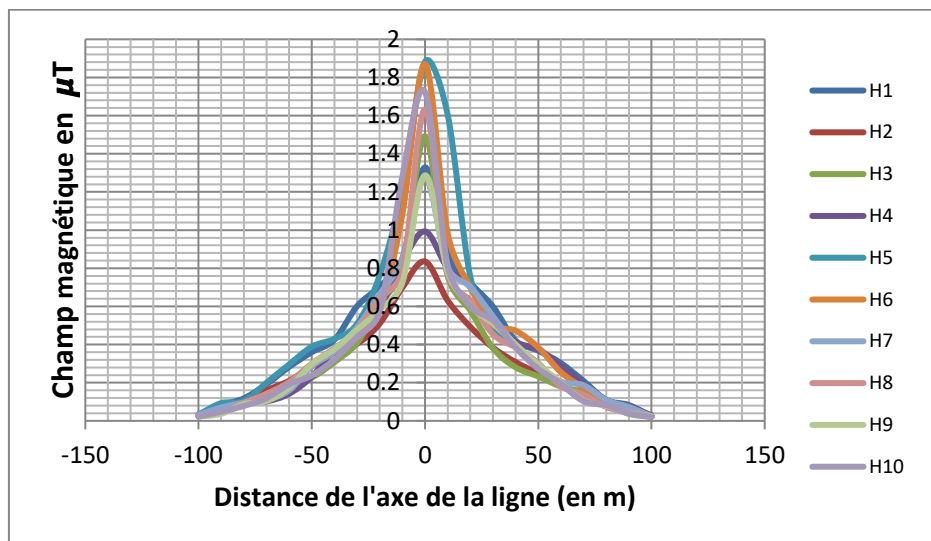


Fig. 4. Allure des champs magnétiques dans les ménages de la Commune de Limete

Le graphique ci-dessus montre l'évolution des champs magnétiques des dix habitations de la commune de Selembao. Il est évident que l'on est en dessous de $0.400 \mu T$ au-delà de 50 m mais l'on atteint les valeurs inférieures à $0.100 \mu T$ qu'après 90 m. Il est évident la pollution électromagnétique y est moins importante que dans le cas précédent étant donné que l'on est en déjà en dessous de $0.400 \mu T$ lorsqu'on dépasse 40 m.

3.1.3 MESURES DE CM DANS LA COMMUNE DE BANDALUNGWA

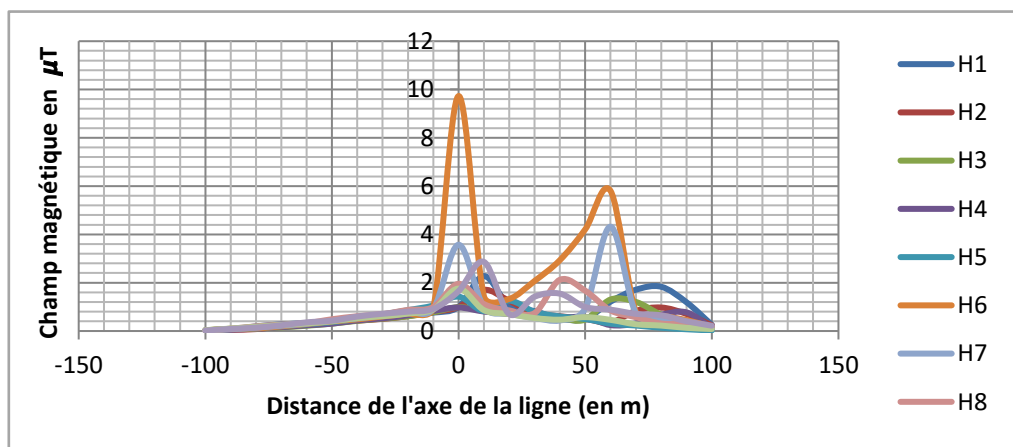


Fig. 5. Allure des champs magnétiques dans les ménages de la Commune de Bandalungwa

L'observation de ce graphique ci-dessus nous montre l'évolution des champs magnétiques des 10 habitations de la commune de Limete. La distribution des CM n'évolue pas ici en suivant la courbe de Gauss. On remarque que pour H7 par exemple, on effleure la valeur de $2.000 \mu T$ aux environs de 80 m.

3.1.4 MESURES DE CM DANS LA VILLE DE COMMUNE DE MATETE

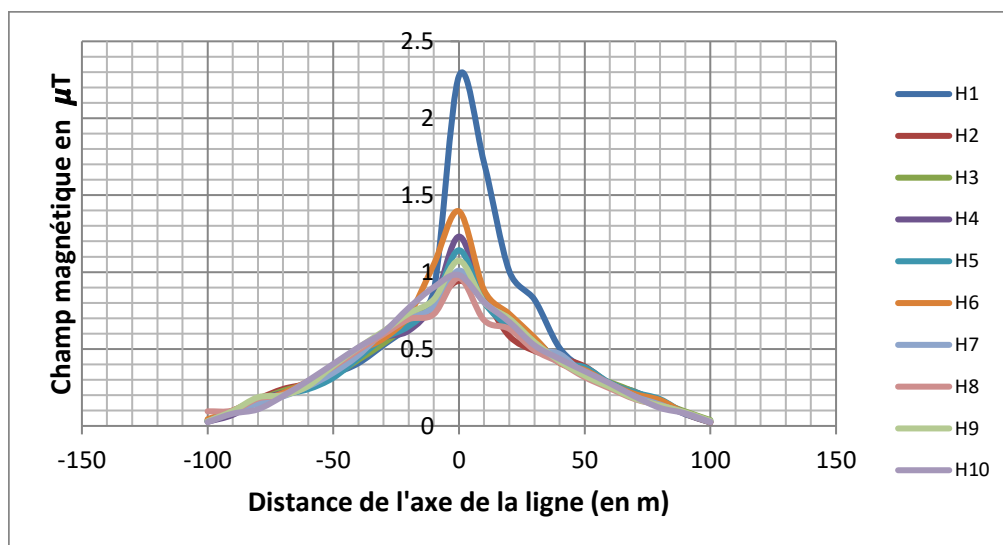


Fig. 6. Allure des champs magnétiques dans les ménages de la Commune de Matete

Le graphique ci-dessus montre l'évolution des champs magnétiques des 10 habitations de la commune de Matete et le pic de H1 à plus de 2.000 μT . On peut remarquer que l'on n'est en dessous de 0.100 μT qu'au-delà de 90 m.

3.1.5 MESURES DE CM DANS LA VILLE DE COMMUNE DE KISENSO

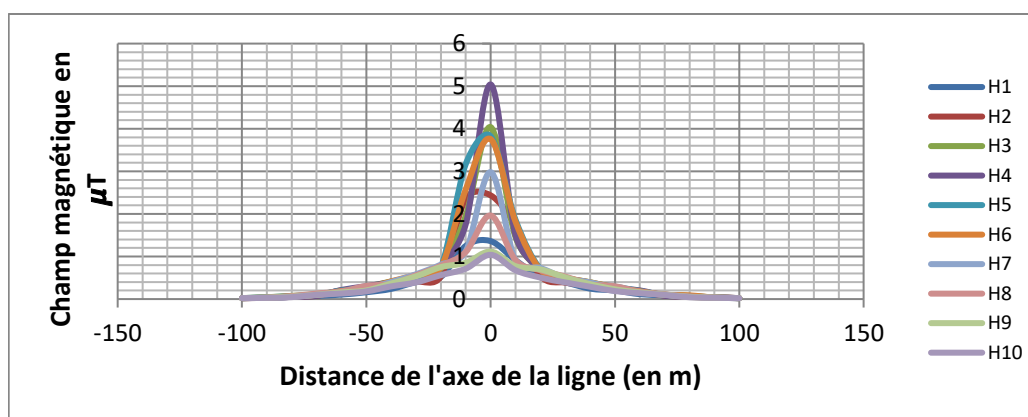


Fig. 7. Allure des champs magnétiques dans les ménages de la Commune de Kisenso

Ce graphique montre l'évolution des champs magnétiques des 10 habitations de la commune de Kisenso. La répartition suivant la courbe de Gauss est claire et ne présente pas de perturbations majeures. Mais l'on peut noter le pic de près de 5.275 μT pour H4 et l'on ne descend en dessous de 0.100 μT qu'au-delà de 70 m.

3.2 INCIDENCE DES MESURES DE CM ENREGISTRÉES SUR LA SANTÉ: TEST T DE STUDENT

Il sied de noter que cette analyse porte sur l'incidence des mesures et les pathologies relevées à ces endroits, on a eu recours au « test t de student » qui permet de déterminer, à partir des échantillons, s'il y a une différence entre les moyennes de deux populations, pour notre cas il s'agit de l'influence possible exercée par les mesures de CM enregistrées suivant l'emplacement des habitations le long des LHT et l'avènement de certaines pathologies parmi les habitants enquêtés. On n'a

retenu ci-dessous que les cas d'épilepsie, de cancer, de rhumatisme et d'altération de la vision pour lesquels le test est concluant. Pour chaque pathologie, on reprend le tableau des moyennes des mesures enregistrées et des écarts-types puis on revient sur le test t calculé et quelques commentaires qui permettent d'asseoir la décision statistique.

3.2.1 CAS D'ÉPILEPSIE

Tableau 1. *Effectifs, moyennes et écarts-types des mesures face à l'épilepsie*

	Cas d'épilepsie	N	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne
Mesure	Oui	132	.56248	.704493	.020320
	Non	1202	.31967	.281768	.042004

En mettant en relation les mesures enregistrées avec l'apparition des cas d'épilepsie, le test t de student calculé ($t=2.304$ avec $ddl=1332$) indique une différence statistiquement significative entre les deux moyennes des mesures en présence. Ainsi, les membres des ménages plus exposés aux CM seraient plus nombreux à se plaindre d'épilepsie que les membres des ménages moins exposés. En d'autres termes, il apparaît que le fait d'être exposé aux CM plus élevés augmente la probabilité de souffrir d'épilepsie par rapport à ceux qui sont exposés à des CM moins importants.

3.2.2 CAS DE CANCER

Tableau 2. *Effectifs, moyennes et écarts-types des mesures face au cancer*

	Cas de cancer	N	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne
Mesure	Oui	136	.75343	.503642	.077714
	Non	1198	.52088	.687878	.019874

Après avoir rangé les ménages en fonction de leur emplacement par rapport à la ligne THT, les mesures enregistrées ont été mises en relation avec l'apparition des cas de cancer et ont fourni un test t de student calculé ($t=2.170$ avec $ddl=1332$) qui est statistiquement significatif. Cela signifie que les moyennes des deux catégories en présence sont significativement différentes. A travers ce résultat, il apparaît qu'à force d'être exposés à des CM plus élevés, les membres des ménages concernés verraient augmenter le risque de développer un cancer quelconque par comparaison aux membres des ménages qui ne sont pas ou sont peu exposés aux CM.

3.2.3 CAS DE RHUMATISMES

Tableau 3. *Effectifs, moyennes et écarts-types des mesures face aux rhumatismes*

	cas de rhumatismes	N	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne
Mesure	Oui	294	.57044	.732934	.022727
	Non	1040	.39282	.419688	.024477

En mettant en relation les mesures enregistrées avec l'apparition des cas de rhumatismes, on a obtenu un test t de student calculé ($t=3.974$ avec $ddl=1332$) qui indique que les deux moyennes des mesures sont différentes. Il y a donc une différence en termes d'exposition aux CM entre les personnes se plaignant de rhumatismes et celles qui ne s'en plaignent pas.

3.2.4 CAS D'ALTÉRATION DE LA VISION

Tableau 4. Effectifs, moyennes et écarts-types des mesures face à l'altération de la vision

	Cas altération de la vision	N	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne
Mesure	Oui	352	.56207	.742621	.023698
	Non	982	.44542	.454320	.024215

Ici aussi, les mesures récoltées mises en relation avec l'apparition des cas d'altération de la vision ont permis d'avoir un test t de student calculé ($t=2.767$ avec $ddl=1332$) statistiquement significatif. Cela étant, on admet que les deux moyennes sont significativement différentes. Ce test t significatif sous-entend qu'à force d'être exposés à des CM élevés, les membres des ménages concernés verraient le risque d'altération de la vision augmenter par comparaison aux membres des ménages qui ne sont pas ou sont peu exposés aux CM.

3.3 DISCUSSION DE RÉSULTATS

3.3.1 SUR LE VOLET EXPÉRIMENTAL

Les CM dans l'axe de la ligne THT en ce qui concerne la commune de Selembao se situent dans l'intervalle $[0.867, 1.410] \mu T$. Il faut aller au-delà de 40 m de part et d'autre de la ligne pour tomber sous la barre de $0.400 \mu T$ alors qu'il fallait dépasser les 50 m dans une précédente étude [26]. D'autre part, c'est au-delà de 80 m que l'on retrouve de valeurs en dessous de $0.100 \mu T$ choisis comme seuil de l'étude [25]. Tandis qu'à droite de la ligne, il faut aller au-delà de 90 m pour retrouver des valeurs en dessous de $0.100 \mu T$.

En ce qui concerne la commune de Limete, les CM dans l'axe de la ligne varient dans l'intervalle $[0.835, 1.883] \mu T$. Des deux côtés de la ligne ici, c'est au-delà de 40 m que l'on tombe sous la barre de $0.400 \mu T$, ce qui est à peu près conforme aux résultats obtenus quatre ans plus tôt [26]. Par ailleurs, c'est au-delà de 80 m que l'on retrouve les valeurs en dessous de $0.100 \mu T$ choisis comme seuil de l'étude.

Pour la commune de Bandalungwa les valeurs de CM dans l'axe de la ligne se situent dans l'intervalle $[0.974, 9.730] \mu T$. A gauche de la ligne, il faut aller au-delà de 50 m pour tomber sous la barre de $0.400 \mu T$, ce qui est conforme aux résultats obtenus en 2018 [29] et de 80 m pour retrouver des valeurs inférieures à $0.100 \mu T$. Par contre, c'est au-delà de 90 m que l'on tombe sous la barre de $0.400 \mu T$, résultat confirmant ceux de 2015 et qui sont dûs au faisceaux de lignes HT traversant cette commune. Ici on constate que jusqu'aux 100 m on ne descend pas en dessous de $0.100 \mu T$. La valeur $9.730 \mu T$ a été mesurée à proximité d'une antenne de communication au point de coordonnées $4^{\circ}20'51''$ S et $15^{\circ}16'51''$ E.

Dans la commune de Matete, les CM dans l'axe de la ligne se situent dans l'intervalle $[0.973, 2.275] \mu T$. C'est à partir de 50 m que les valeurs tombent sous la barre de $0.400 \mu T$ de part et d'autre de la ligne, ce qui est globalement conforme à une précédente étude [26] alors que c'est aux environs de 90 m que l'on retrouve des valeurs inférieures à $0.100 \mu T$ des deux côtés de la ligne.

Enfin pour la commune de Kisenso, les CM dans l'axe de la ligne se situent dans l'intervalle $[1.116, 5.041] \mu T$. En accord avec [29], c'est à partir de 50 m à gauche de la ligne et 40 m à droite que les valeurs tombent sous la barre de $0.400 \mu T$ alors que c'est aux environs de 90 m gauche de la ligne et 80 m à droite que l'on retrouve des valeurs inférieures à $0.100 \mu T$.

Ainsi que mentionné ci-dessus, les mesures obtenues de l'axe des lignes jusque 50 m de part et d'autre sont susceptibles d'entraîner certaines des pathologies déclarées par les chefs de ménage et auxquelles sont exposées la population vivant autour mais en tenant compte du seuil épidémiologique, il faudrait globalement transposer l'occurrence de ces pathologies jusqu'au-delà de 90 m de part et d'autre de la ligne, ce qui conduit en tout état de cause à une emprise de 100m.

3.3.2 INCIDENCE DES MESURES DE CM ENREGISTRÉES SUR LA SANTÉ: TEST T DE STUDENT

En termes d'exposition aux CM, les résultats révèlent que le fait d'être exposé à des CM au-delà d'un certain seuil accroîtrait la probabilité de souffrir d'épilepsie par rapport à ceux qui n'y sont pas exposés car les membres des ménages plus exposés aux CM seraient plus nombreux à se plaindre d'épilepsie que les membres des ménages moins exposés. En effet, le test t de

student calculé ($t=2.304$ avec $ddl=1332$) indique une différence statistiquement significative entre les deux moyennes des mesures en présence. La prévalence relevée ici est plus élevée que celle obtenue par Kaputu [30].

Les mesures enregistrées sur les ménages en fonction de leur emplacement par rapport à la ligne THT font état, sur la base d'un test t de student calculé statistiquement significatif ($t=2.170$ avec $ddl=1332$), de l'apparition des cas de cancer de sorte qu'il est sous-entendu qu'à force d'être exposés aux CM, les individus des ménages concernés verraient s'accroître le risque de développer un cancer quelconque en comparaison des membres des ménages qui ne sont pas ou sont peu exposés aux CM. En plus, la prévalence de l'occurrence du cancer ici est plus importante que ne le montrent certaines études [31, 32]. Sur la base d'un test t de student calculé ($t=3.974$ avec $ddl=1332$), le fait d'être exposé aux CM augmente le risque de souffrir de rhumatismes par rapport à ceux qui ne sont pas ou sont peu exposés aux CM. La prévalence constatée est supérieure à celle obtenue par Divengi [33].

Ici aussi, les mesures récoltées mises en relation avec l'apparition des cas d'altération de la vision ont permis d'avoir un test t de student calculé ($t=2.767$ avec $ddl=1332$) statistiquement significatif. Ce test t significatif sous-entend qu'à force d'être exposés aux CM, les individus des ménages concernés verraient s'accroître le risque de souffrir d'une altération de la vision par comparaison aux membres des ménages qui ne sont pas ou sont peu exposés aux CM. La prévalence des résultats obtenus est supérieure à celle établie dans les travaux de Mvitu et Longo [34].

4 CONCLUSION

Cette étude montre clairement que dans le cas de lignes THT de la ville de Kinshasa, il faut aller au-delà de 80 m pour rencontrer des valeurs de CM inférieures à $0.100 \mu T$. Etant donné que nos mesures dans les communes de Ngaliema et Mont Ngafula, où les lignes ne sont plus alimentées, ont donné des valeurs de CM de l'ordre de $0.020 \mu T$, on a préconisé que les ménages situés autour de lignes THT sous tension devraient se situer au-delà de 100 m, distance à laquelle il faut aller pour descendre autour $0.020 \mu T$, en lieu et place des 25m prévus par la SNEL. Par ailleurs cette étude a établi une incidence de mesures de CM enregistrées sur l'occurrence des pathologies comme l'épilepsie, le cancer, les maladies rhumatismales et l'altération de la vision et ces pathologies ont des prévalences qui justifieraient largement le recours au principe de prévention par opposition au principe de précaution.

REFERENCES

- [1] Repacholi, M.H. (1983). Standards on Static and ELF Electric and Magnetic Fields and their Scientific Basis, Biological Effects and Dosimetry of Static and ELF Electromagnetic Fields pp 667-684.
- [2] Lagroye, I., (2009). Etude des effets biologiques des champs électromagnétiques non invasifs. Sciences du Vivant [q-bio]. Ecole pratique des hautes études - EPHE PARIS. <tel-00977980> <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00977980/document>, (22 avril 2017).
- [3] Semelle D., (1992). La géobiologie facile, Nouvelles Editions Marabout, Sarthe (France), 158p.
- [4] Hoang, L-H., (2007). Contribution à la modélisation tridimensionnelle des interactions champ électromagnétique – corps humain en basses fréquences. Energie électrique. Thèse de Doctorat. Ecole Centrale de Lyon, 144p.
- [5] Tenforde, T.S. (1992), Biological interactions and potential health effects of extremely-low-frequency magnetic fields from power lines and other common sources, Annu. Rev. Publ. Health, 13: 173–196 <https://doi.org/10.1146/annurev.pu.13.050192.001133>.
- [6] Touitou, Y., Chronobiology Unit, Fondation A. de Rothschild, Paris, France; Selmaoui, B., The effects of extremely low-frequency magnetic fields on melatonin and cortisol, two marker rhythms of the circadian system, Dialogues Clin Neurosci. 2012 Dec; 14 (4): 381–399. doi: 10.31887/DCNS.2012.14.4/ytouitou.
- [7] Keith, ML (1992), Are environmental magnetic fields dangerous? Phys World pp. 41-45, January.
- [8] Wertheimer, N. & Leeper, E. (1979). Electrical wiring configurations and childhood cancer. Am. J. Epidemiol., 109 (3): 273-284. DOI: 10.1093/oxfordjournals.aje.a112681.
- [9] Kheifets, L.I. et al., Le principe de précaution et les champs électriques et magnétiques: mise en œuvre et évaluation, Environnement, Risques & Santé – Vol. 5, n° 1, janvier-février 2006.
- [10] Wertheimer, N. & Leeper, E. (1982), Adult cancer related to electrical wires near the home. Int. J. Epidemiol., 11 (4): 345-355. DOI: 10.1093/ije/11.4.345.
- [11] Coureau, G., (2013). Effets sanitaires des champs électromagnétiques et tumeurs du système nerveux central, Thèse, Ecole doctorale Sociétés, Politique, Santé Publique, Paris, 255p.

- [12] Adey, W., Biological effects of electromagnetic fields, *Journal of Cellular Biochemistry*, vol.93, issue.4, 1993. <https://doi.org/10.1002/jcb.2400510405> DOI: 10.1002/jcb.2400510405.
- [13] Draper G., Vincent T, Kroll M.E, Swanson J., Childhood cancer in relation to distance from high voltage power lines in England and Wales: a case-control study. *BMJ*. 2005 Jun 4; 330 (7503): 1290. DOI: 10.1136/bmj.330.7503.1290.
- [14] Swanson, J.H. and Kheifets, L., Biophysical mechanisms: a component in the weight of evidence for health effects of power-frequency electric and magnetic fields, Published in *Radiation research* 2006, DOI: 10.1667/RR3522.1.
- [15] Irigaray P. and al., Lifestyle-related factors and environmental agents causing cancer: an overview., *Biomed Pharmacother*. 2007 Dec; 61 (10): 640-58. doi: 10.1016/j.biopha.2007.10.006. doi: 10.1016/j.biopha.2007.10.006.
- [16] Maslanyj, M. and al., Power frequency magnetic fields and risk of childhood leukaemia: Misclassification of exposure from the use of the 'distance from power line' exposure surrogate. *Bioelectromagnetics* 2009; 30 (3): 183-8. Doi: 10.1002/bem.20465.
- [17] Schmiedel, S. et al., Spatial clustering and space-time clusters of leukemia among children in Germany, 1987-2007, *European Journal of Epidemiology*, Vol. 25, No. 9 (2010), pp. 627-633. [https://doi: 10.1007/s10654-010-9488-7](https://doi.org/10.1007/s10654-010-9488-7). Epub 2010 Jul 11.
- [18] Blank, M., Biological effects of environmental electromagnetic fields: molecular mechanisms, *Biosystems*, vol.35, issue.2-3, pp.175-178, 1995. DOI: 10.1016/0303-2647(94)01509-6.
- [19] Gurney E.V.W, Extremely low frequency electromagnetic fields (EMF) and brain cancer in adults and children: Review and comment July 1999, *Neuro-Oncology* 1 (3): 212-220 DOI: 10.1093/neuonc/1.3.212.
- [20] Ortega-Garcia, J.A., et al., Pediatric Health Effects of Chronic Exposure to Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields, *Current Pediatric Reviews*, 2009, 5, 234-240.
- [21] Silny, J. (1981) Influence of low-frequency magnetic field (LMF) on the organism. In: *Proceedings of the 4th Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Zurich, 10-12 March, pp. 175-180 (Paper 33.G2).
- [22] Hafawa M., (2017). Modélisation Électromagnétique du Phénomène d'Interaction des Ondes GSM avec la Tête Humaine par la Méthode des Circuits Équivalents Généralisés (MoM-GEC) dans un milieu fermé, Thèse de Doctorat de l'université de Tunis el Manar, 110p.
- [23] Bernet, H., (2012), *Vivre avec l'Electrosmog*, Xénia Editions, Collection Science Libre, Arbre d'Or, Genève, 283p.
- [24] Crispin Ngoma Buveka, Willy Mulumba Mayaudi, and Joseph Cimbela Kabongo, "Fluctuations of electromagnetic pollution in the vicinity of dwellings under very high voltage lines in the city of Kinshasa," *International Journal of Innovation and Scientific Research*, vol. 60, no. 1, pp. 57–65, April 2022.
- [25] Guénel, P. and al., (2003), Rayonnements non ionisants. In: *Environnement et Santé Publique – Fondements et pratiques*, pp 441- 462. Gérin V, Gosselin P., Cordier S, Viau S, Quénel P, Dewailly E, rédacteurs. Edisem/ Tech & Doc, Acton Vale/ Paris.
- [26] Ngoma C., (2018), Caractérisation de la pollution électromagnétique des lignes Très Haute Tension sur l'environnement des habitations dans la ville de Kinshasa. Centre de Recherche Interdisciplinaire de l'Université Pédagogique Nationale, PUPN, N° 074C Janvier-Mars 2018 37-49.
- [27] Ngoma, C., Ilanga, F., Samu, G., Efoto L.; (2018), Quelques paramètres physicochimiques des miels de quatre provinces de la République Démocratique du Congo en relation avec leur qualité et leur stabilité, *Afrique Science* 14 (5) (2018) 415 – 424.
- [28] Fourier-Reglat, A. et Jutand, M.-A.; (2006), *Initiation aux méthodes de sondage: application à la pharmaco épidémiologie*, Bordeaux, Pharmacovigilance Editions, 76p.
- [29] Mavudila R., Ngoma, C. Mesure de l'exposition aux champs électromagnétiques d'extrêmement basse fréquence sur des personnes vivant sous les lignes THT dans la ville de Kinshasa, *Revue des Sciences Médicales*, Vol. n°3, juillet 2018, 91-104.
- [30] Kaputu-Kalala-Malu, C. Epilepsies et crises épileptiques aiguës chez l'enfant en Afrique subsaharienne: défis et espoirs *Pan Afr Med J*. 2016; 23: 58. DOI: 10.11604/pamj.2016.23.58.3273.
- [31] Mashinda KD, Kayembe KP, Mapatano MA., Prévalence du cancer en République Démocratique du Congo: données anatomopathologiques recueillies aux Cliniques Universitaires et à l'Hôpital Général de Référence de Kinshasa, *Ann. Afr. Med.*, Vol. 5, N° 3, Juin 2012.
- [32] Tshimpi, A., Ndarabu, T., Batumona, B., Tambwe, F., Kayembe, J.M.N., Cancer en République Démocratique du Congo en 2016, *Spécialités médicales*, Volume 9 N°3: juin 2016.
- [33] Divengi Nzambi J_P., (2017). *Faciès des Maladies Rhumatismales en milieu rural de la R.D.CONGO*. Éditions universitaires européennes, 364 p.
- [34] Mvitu Muaka M. et Longo-Mbenza B., (2020). *Diabète sucré de type 2, stress oxydatif et déficiences visuelles*. Éditions universitaires européennes, 364 p.

