



Etude Comparée de la Flore Colonisatrice du Voisinage des Eaux Thermales aux Environs de la Ville de Bukavu (Sud-Kivu)

[Comparative Study of the Colonizing Flora of the Thermal Water Neighborhood in the Vicinity of the Bukavu City (South Kivu)]

Nangalire Nankafu Orléanne¹, Cirhuza Cimwemwesa Sylvie¹, Iragi Kaboyi Gentil¹, Ntamwira Niranda Seintsheng²

¹Centre de Recherche en Sciences Naturelles, CRSN/Lwiro, Département de Biologie, Section de Botanique, République démocratique du Congo

²Université Officielle de Bukavu, Faculté des Sciences et Sciences Appliquées, Département de Biologie, République démocratique du Congo

Résumé

La présente étude contribue à la connaissance de la diversité de la flore et de la mise à jour des données floristiques de sites des eaux thermales dans huit sites (Burhinzi, Luhwindja, Kankulé, Kakonde, Cimenki, Cizirhi, Buhandahanda, Nyangezi) situés aux environs de la ville de Bukavu. La méthode phytosociologique a été utilisée dans une zone d'échantillonnage de 10 m, de part et d'autre du site, dans laquelle deux relevés de 4 m² étaient réalisés. La méthode d'échantillonnage consistait à un inventaire quantitatif afin de relever les divers indices d'abondances spécifiques. Les résultats montrent un inventaire des espèces végétales présentes dans les sites thermaux regroupées en 33 familles, 83 genres et 101 espèces dont les familles d'Asteraceae, Poaceae et Fabaceae sont les plus abondantes. Les herbes dominent sur les arbres et la plupart des flores étudiées se regroupe dans les thérophytes. La comparaison de la richesse spécifique entre les différents sites sur base du test ANOVA montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les sites ($P > 0,001$; $F=1,881$).

Mots clés: Eaux thermales, inventaire quantitatif, diversité floristique, abondance spécifique, Bukavu, Sud-Kivu

Abstract

This study contributes to the knowledge of the diversity of flora and the updating of plant data from thermal water sites in eight sites (Burhinzi, Luhwindja, Kankulé, Kakonde, Cimenki, Cizirhi, Buhandahanda, Nyangezi) located in the vicinity of Bukavu city. The phytosociological method was used in a 10 m sampling area on either side of the site, in which two 4 m² surveys were conducted. The sampling method consisted of a quantitative inventory to identify the various specific abundances. The results show an inventory of the plant species present in the thermal sites grouped into 33 families of 83 genera and 101 species of which the families of Asteraceae, Poaceae and Fabaceae are the most abundant. Herbs dominate trees and most of the flora studied is found in therophytes. Comparison of the specific richness between the different sites based on the ANOVA test shows that there is no significant difference between the sites ($P > 0,001$; $F=1,881$).

Keywords: Thermal waters, quantitative inventory, floral diversity, specific abundance, Bukavu, South Kivu

1. Introduction

Les sources thermales sont des écosystèmes aquatiques qui possèdent des conditions des

températures élevées par rapport aux autres écosystèmes.

Elles possèdent un potentiel en hydrogène et plus de salinité ; la modification par l'homme de l'état

*Auteur correspondant: Nangalire Nankafu Orléanne (nagalirenankafu@gmail.com)

Reçu le 25/02/2022; Révisé le 26/05/2022 ; Accepté le 10/06/2022

<https://doi.org/10.59228/rcst.022.v1.i1.01>

Copyright : ©2022 Nangalire Nankafu Orléanne et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

naturel d'un milieu thermal peut occasionner une variabilité de la température d'eau (Vincent et al. 1991). Plusieurs études de sources thermales ont été abordées dans le monde. La plupart des milieux géothermiques qui ont un nombre élevé des sources thermales se trouvent au Parc National de Yellowstone aux Etats-Unis, au Japon, en Russie, en Nouvelle Zélande (Vincent et al. 1991). Ces sites ont fait l'objet des plusieurs études (sur les observations de la vie des animaux dans les eaux thermales du parc de Yellowstone et la considération de l'environnement de ces eaux. Qu'à cela on a ajouté aussi les études sur la température facteurs limitant de distribution de la faune et des algues dans la région thermale de Zealand.) Comme celles de Brues (1924, 1927, 1932) et (Winterbourn and Brown 1967; Winterbourn 1969) alors que il y a d'autres travaux qui s'intéressaient à la revue des sources thermales de l'Islande (Tuxen, 1944 ; Starmuhlner, 1969).

Les études écologiques des sources thermales ont été démontrées par Stockner (1968, 1971) ; (Collins and Rebelo 1987; Barnby and Resh 1988) ; Wiegert (1973) et Mitchell (1974). Toutes ces études traitent sur l'aspect floristique abordant uniquement sur les algues bleues-vertes (les cyanobacteries) et de l'aspect faunique sur les caractéristiques physiques et chimiques des sites thermaux. Valerie and Reinhard (1998) ont également fait une étude sur la composition diatomifère de quatre sources thermales au Canada en Islande et au Japon dont plusieurs espèces ont été déterminées selon le milieu.

Peu des travaux ont été réalisés sur la flore uniquement des sources thermales dans les régions subtropicales et tropicales. Citons entre autres ceux de Prasad et al. (1984) sur la flore d'une source de l'Inde et ceux de Schoeman et Archibald (1988) sur la source thermale Cross Barmen en Namibie. Le rift albertin faisant partie des régions intertropicales renferme des nombreux sites thermaux qui pourraient présenter de grand potentiel floristique.

Le bassin à l'ouest du lac Kivu est l'une des régions du rift albertin où des nombreux sites thermaux sont identifiés mais moins connus sur la diversité floristique de leurs environnements. Une étude réalisée sur les classifications des systèmes hydrothermaux montrent une similarité de leurs caractéristiques hydro-chimiques dans quelques sites dans la région de Katana (Bagalwa et al. 2015). Les études de (Bagalwa et al. 2015) traitent de la caractérisation physico-chimique et identification des

espèces végétales indicatrices des eaux thermales de Katana. Bagalwa et al. (2015) ont trouvé que ces eaux sont hyperthermales (40-70 °C) et le pH généralement entre acide et basique dépendant d'une année à l'autre ; en outre, l'analyse hydro-chimique montre que le système thermal est indépendant sans aucune connexion hydraulique entre les zones géothermiques étudiées. Enfin, ces études montrent que certaines espèces végétales ont été retrouvées concomitamment dans quatre différentes sources thermales où l'impact des activités humaines est moindre.

La littérature nous renseigne peu sur la flore colonisatrice des espèces végétales près des sources thermales dans la région des environs de la ville de Bukavu. En effet, ces études sont focalisées sur des zones restreintes et ne permettent pas d'établir une conclusion définitive sur les espèces végétales colonisatrices de ces zones. Le présent travail constitue une évaluation rapide des sources thermales en termes de diversité biologique. Entre autres, la comparaison de la diversité des communautés thermales et la mesure de la diversité intercommunautaire afin d'évaluer le changement de composition floristique dans les divers sites. Les questions suivantes guideront notre travail : (1) quelles sont les espèces qui colonisent les différents sites suivant leur taxonomie ? (2) quelle est la similarité spécifique entre les sites et comment la diversité s'observe – t- elle dans les sites ? (3) les facteurs environnementaux influencent-ils la répartition des espèces dans les différents sites ?

Un échantillonnage sur plusieurs sites s'avérerait d'indispensable pour comprendre les distributions spatiales des espèces végétales des eaux thermales dans les conditions géographiques différentes. Une comparaison de la flore colonisatrice des différents sites serait un atout pour évaluer les similarités spécifiques des espèces entre les sites. Les indices de la diversité dans les différents sites seraient utiles à explorer afin d'identifier les espèces les plus abondantes dans les sites thermaux. Au-delà de ces considérations purement biologiques de la végétation, des détails importants sur les aspects environnementaux des plantes subiraient l'influence des eaux thermales ; ces aspects nécessitent d'être relevés.

C'est cet aspect, ci-haut, qui a pu éveiller notre sens de recherche pour étudier et analyser dans un angle botanique la flore occupant ces milieux. C'est

une étude motivée pour de raison, non seulement, de connaître les espèces des plantes végétales qui s'y trouvent mais aussi d'évaluer les niveaux d'affinités existant entre ces espèces dans les espaces qu'elles colonisent. Ce travail cherche globalement à acquérir des connaissances comparées de la flore colonisatrice du voisinage des eaux thermales sur des sites présentant des aspects environnementaux variés. Spécifiquement, il s'agira de (1) dresser et d'apprécier la liste floristique des espèces des sites thermaux ; (2) de connaître les familles les plus adaptées à ces sites ; (3) déterminer les espèces caractéristiques des milieux et la similarité qui existe entre les sites thermaux étudiés, connaître le site le plus diversifié par rapport aux autres ; enfin, (4) évaluer l'apport des facteurs environnementaux sur les répartitions des espèces dans les différents sites.

2. Matériel et Méthodes

2.1. Milieu d'étude

L'étude a été menée dans neuf sites (fig. 1) des eaux thermales situés dans les centres ruraux situés dans trois territoires administratifs (Mwenga, Walungu, Kabare) aux environs de la ville de Bukavu.

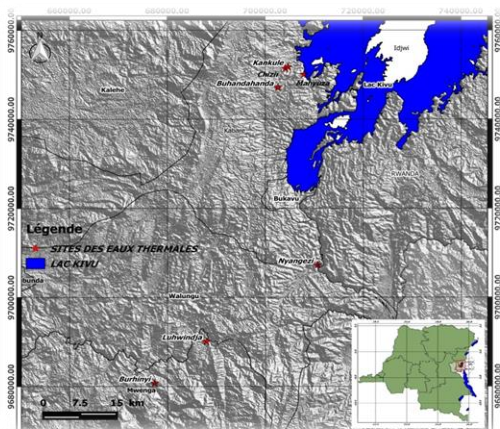


Figure 1: Sites des eaux thermales dans les environs de la ville de Bukavu

Les sites d'eau thermale (fig. 1), pour le cas de notre étude, se situent dans les zones de couverture volcanique autour de Katana, au sud de Bukavu et dans la zone de Mwenga, Au sud du lac Kivu, il s'agit d'un volcanisme trachytique et basaltique d'âge pliocène à actuel et dans la zone de Mwenga un volcanisme essentiellement basaltique et d'âge supposé pléistocène (Villeneuve 1980). La plus grande partie des coulées basaltiques est couverte de ferrisols argileux lourds dérivés, de teinte ocre rouge à rouge, à horizon A1 prononcé, de bonne teneur

organique (Kabonyi 2012). Le climat est pluvieux (1500 mm) et tempéré par l'altitude (20 °C en moyenne annuelle) avec une saison sèche de juin à Août (Maki and Dewitte 2014).

Les conditions climatiques variées dans cette zone montagneuse présentent une végétation régionale particulièrement diversifiée des forêts de montagnes et des zones des cultures (Kabonyi 2012).

2.2. Méthodes

oRelevés phyto-sociologiques

Pour réaliser nos différents relevés et récolte les données, nous sommes partis par différentes étapes après le choix du site. Déterminer une zone d'échantillonnage de 10 m aux alentours du site d'eau thermale délimitée, dans lesquels deux relevés de 4 m² étaient réalisés. L'inventaire quantitatif a servi comme méthode d'échantillonnage. Il consistait en un comptage des individus de chaque espèce afin de relever les diverses abondances spécifiques, dans le but de connaître l'organisation de la couverture végétale dans ces sites, nous avons utilisé la méthode de relevé phytosociologique recommandée par (Braun-Blanquet, 1932). Cette méthode consiste à choisir des emplacements aussi typiques que possibles pour les inventaires floristiques, de dresser une liste complète des espèces en accordant le coefficient d'abondance et de dominance pour chaque espèce (Ervin et al. 2006). Deux relevés de 4m² ont fait l'objet de l'échantillonnage, donc dans site l'inventaire se faisait dans 8 m². 18 relevés de 2 m x 2 m ont été choisis dans chaque site suivant l'uniformité des espèces. Les espèces présentes ont été récoltées dans les relevés et identifiées en utilisant les clés de détermination de Fischer (1993) et Letouzey (1989). Les prélèvements du potentiel en Hydrogène et température ont été mesurés trimestriellement par un thermomètre et un pH-mètre déjà calibré avant l'utilisation.

oAnalyse de données

i. Indices de diversité spécifique

Un indice de diversité est défini par trois composantes: la richesse spécifique, l'abondance spécifique et l'équitabilité (Gotelli et al. 2001). D'après Stirling et al. (2001) notons que la diversité comprend également trois composantes : la diversité alpha ou intracommunautaire, la diversité beta qui est intercommunautaire et la diversité gamma qui est régionale. La diversité alpha est le nombre d'espèces présentes dans une parcelle ou une communauté donnée. Elle évalue le rapport qui existe entre les espèces au sein d'une communauté. La diversité beta

est évaluée entre deux ou plusieurs sites différents ; elle examine l'importance du remplacement des espèces ou le changement biotique le long des gradients environnementaux.

Quant à la diversité alpha, c'est celle de tout le paysage ou diversité à l'échelle régionale ; elle permet d'apprécier les différences entre les communautés en termes de diversité.

ii. Indice de Simpson

Cet indice mesure la probabilité que deux individus sélectionnés au hasard dans un échantillon donné appartiennent à la même espèce (Simpson E. H., 1949), il se calcule par :

$$D = 1 - \frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

Où S est le nombre d'espèces, n_i représente le nombre d'individus d'une espèce donnée et N est le nombre total d'individus. Sous cette forme, D varie de 1 à 0, avec 0 indiquant le maximum de diversité et 1 le minimum ou absence de diversité. La diversité de Simpson représentée par 1-D indique la probabilité que deux individus tirés au hasard appartiennent à des espèces différentes. Sous cette forme, 1 représente la diversité maximale et 0 le minimum de diversité.

iii. Indice de Shannon

Cet indice mesure le degré de diversité des espèces au sein d'une parcelle donnée. Il est donné par la formule suivante (Senterre 2005 ; Shannon et al. 1949):

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

Avec H' : indice de biodiversité de Shannon i : une espèce du milieu d'étude p_i : proportion d'une espèce i par rapport au nombre total d'espèces (S) dans le milieu d'étude (ou richesse spécifique du milieu), qui se calcule de la façon suivante :

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

Où n_i est le nombre d'individus pour l'espèce i et N est l'effectif total (les individus de toutes les espèces). Lorsque $H'=0$, tous les individus du peuplement appartiennent à une même espèce. H' est minimal lorsque dans un peuplement chaque espèce est représentée par un seul individu et H' est maximal quand tous les individus sont répartis de façon égale sur toutes les espèces.

iv. Équitabilité de Pielou

L'indice de Shannon est souvent accompagné de l'indice de Pielou (1996) noté J et appelé indice d'équirépartition. L'équitabilité montre comment les

individus sont répartis suivant le nombre d'espèces. Elle est obtenue par la formule suivante:

$$J = \frac{H'}{\log^2 s}$$

v. Analyse de la similarité entre les sites

Afin d'évaluer la similarité entre les milieux thermaux considérés, nous avons fait usage de la méthode de Bray-Curtis qui tient principalement compte des données d'incidence des espèces (leur présence ou absence dans les sites d'étude) et dont la formule se présente de la manière suivante :

$$\text{Bray - Curtis} = \frac{j}{r * 100}$$

Avec j = nombre d'espèces en commun entre deux sites et r nombre d'espèces total sur l'ensemble de site moins les espèces communes. Un dendrogramme de similarité a donc été généré à cet effet. Ce dendrogramme de similarité (cluster analysis) a été réalisé en utilisant le logiciel PAST 3.13 (ØYVIND et al. 2016).



Figure 2 : Les sites d'échantillonnage d'eau thermale: (a) source thermale de Nyangezi, (b) prélèvement des paramètres physico-chimiques à Burhinyi, (c) en plein inventaire botanique dans la source de maziba, (d) source thermale de Luwindja, (e) inventaire botanique aux environs de la source de Burhinyi, (f) source thermale de Kankulé.

3. Résultats

3.1. Liste floristique

Cette liste est reprise dans le tableau 1. Les espèces sont données suivant l'ordre alphabétique des familles auxquelles elles appartiennent.

Tableau 1. Liste floristique de la végétation des alentours des eaux thermales.

N°	Familles et espèces	T.M.	T.B.
	Acanthaceae		
1	<i>Dyschoriste radicans</i> T. ANDERS	Han	Cher
2	<i>Hygrophila auriculata</i> (SCHUMACH.) HEINE	Han	Cher
3	<i>Justicia flava</i> VAHL.	Han	Tsc
4	<i>Thunbergia alata</i> BOJ.	Hvi	Chr
	Amaranthaceae		
5	<i>Achyranthes aspera</i> L.	Hvi	Chgr
6	<i>Amaranthus viridis</i> L.	Han	Tsc
	Asteraceae		
7	<i>Acmella caulirhiza</i> DELILE IN CAILLAUD	Han	Tpr
8	<i>Ageratum conyzoides</i> L.	Han	Tsc
9	<i>Aspilia monzambiensis</i> SCHWIENF.	Han	Tsc
10	<i>Bidens pilosa</i> L.	Han	Tsc
11	<i>Bothriocline logipens</i> OLIVIER EX. HIERN	S-lig	Naph
12	<i>Blumea crispata</i> (VAHL) DC.	Han	Tsc
13	<i>Blumea</i> sp. (VAHL) DC	Han	Tsc
14	<i>Conyza sumatrensis</i> (R. ET Z.) C.H. WALTER	Han	Tsc
15	<i>Crassocephalum montuosum</i> (S. MOORE) MILNE-REH.	Han	Tces
16	<i>Crassocephalum vittelinum</i> (BENTH.) S. MOORE	Han	Tces
17	<i>Dichrocephala integrifolia</i> (LUF.) O. KULZE	Han	Tsc
18	<i>Galinsoga ciliata</i> (RAF.) BLAKE.	Han	Tsc
19	<i>Helichrysum globosum</i> SH.BIP	Han	Tsc
20	<i>Lactuca sativa</i> DC.	Han	Tsc
21	<i>Melanthera scandens</i> ROB	S-lig	Cher
22	<i>Microglossa pyrifolia</i> (LAM) KUNTZE	S-arb	Cher
23	<i>Tagetes minuta</i> L.	Han	Tsc
24	<i>Vernonia miombicola</i> WILD.	S-arb	Cher
	Araceae		
25	<i>Colocasia esculenta</i> P.BEAUV	Hvi	Phgr
26	<i>Xanthosoma sagittifolia</i> L.	Hvi	Phgr
	Asparagaceae		
27	<i>Dracaena fragrans</i> ENGEL	S-arb	Pher
	Aspleniaceae		
28	<i>Asplenium sandersonii</i> HOOK	Hvi	G
29	<i>Asplenium manni</i> (KUNTH.) METT.	Hvi	G
30	<i>Asplenium gemmiferum</i> SCHRAD	Hvi	G

	Balsaminaceae		
31	<i>Impatiens burtonii</i> HOOKER F.	Han	Tsc
	Caryophyllaceae		
32	<i>Drymaria cordata</i> (L.) WILD. EX ROCHM ET SCHULT.	Hvi	Chpr
	Convolvulaceae		
33	<i>Ipomoea batatas</i> POIR	Hvi	Gtu
34	<i>Ipomoea cairica</i> STEYD. EX CHOISY	Hvi	Gtu
	Commelinaceae		
35	<i>Aneilema spekei</i> C B. CLAEKE	Hvi	Ch
36	<i>Commelina diffusa</i> BURM. F.	Hvi	Chpr
37	<i>Commelina africana</i> L.	Hvi	Chpr
	Cyperaceae		
38	<i>Cyperus dives</i> DEL.	Hvi	Gr
39	<i>Cyperus dichroostachyus</i> L.	Hvi	Naph
40	<i>Fimbristylis spidula</i> BURM. F.	Hvi	Hces
	Clusiaceae		
41	<i>Harungana madagascariensis</i> LAM EX. POIR	S-arb	Miph
	Crassulaceae		
42	<i>Kalanchoe crenata</i> DEWILD	Hvi	Naph
	Euphorbiaceae		
43	<i>Acalypha bipartita</i> MUELL. ARG	Han	Tcs
44	<i>Acalypha</i> sp.	Han	Tcs
45	<i>Alchornea cordifolia</i> BENTH. F.	S-arb	Msph
46	<i>Chamaesyce hirta</i> (L.) MILLSP.	Hvi	H
47	<i>Manihot esculenta</i> CRANTZ	S-arb	Naph
	Fabaceae		
48	<i>Cassia hirsuta</i> CAV	S-arb	Naph
49	<i>Trifolium purseglovei</i> GILLET	Han	Chpr
50	<i>Desmodium repandum</i> (NAHL) DC	Hvi	Chpr
51	<i>Erythrina spinosa</i> HOSHST	A	Meph
52	<i>Crotalaria spinosa</i> HOCHST. EX BENTH.	Han	Cher
53	<i>Fabaceae</i> sp.	S-arb	Naph
54	<i>Indigofera arrecta</i> HOCHST. EXA. RICH.	S-arb	Miph
55	<i>Sesbania sesban</i> L.	Hvi	H
	Gleichiniaceae		
56	<i>Gleichinia linearis</i> (BURN) C.B. CLARKE	Hvi	Grh
	Lamiaceae		
57	<i>Clerodendron rotundifolium</i> OLIVIER	S-arb	Miph
58	<i>Leonotis nepetaefolia</i> R. BR.	Han	Tsc

59	<i>Plectranthus barbatus</i> (VATKE) AGNEW.	S-arb	Naph
60	<i>Solenostemon platostomoides</i> (ROBYNS ET LEBRUM) TROUPIN	Han	Tcs
	Malvaceae		
61	<i>Hibiscus asper</i> L.	Han	Tpr
62	<i>Sida acuta</i> BURM. F.	S-arb	Cher
63	<i>Sida rhombifolia</i> L.	S-arb	Cher
64	<i>Triumfetta cordifolia</i> A.RICH	S-arb	Naph
65	<i>Urena lobata</i> L.	S-arb	Chpr
	Menispermaceae		
66	<i>Cissampelos mucronata</i> A. RICH.	Hvi	Naph
	Moraceae		
67	<i>Ficus ovata</i> DEL.	A	Msph
68	<i>Ficus sp.</i> WARB	A	Msph
	Musaceae		
69	<i>Musa nana</i> L.	Han	Tdr
	Oxalidaceae		
70	<i>Oxalis corniculata</i> L.	Han	Tpr
71	<i>Oxalis corymbosa</i> DC	Han	Tpr
	Onagraceae		
72	<i>Ludwigia abyssinica</i> L.	Hvi	Ch
	Phyllanthaceae		
73	<i>Phyllanthus niruri</i> L.	Han	Tsc
	Poaceae		
74	<i>Cynodon plectostachyus</i> (K. SCHUM.) PILG.	Hvi	Chrpr
75	<i>Digitaria horizontalis</i> WILD.	Han	Tces
76	<i>Digitaria vestida</i> (HOCHST.exA.RICH)STAPF	Hvi	Grh
77	<i>Eleusine africana</i> (L.) GOERTN.	Han	Tces
78	<i>Melinis minutiflora</i> P.BEAUV	Hvi	Tces
79	<i>Hyperrhenia cymbaria</i> (L.) STAPF.	Hvi	Tces
80	<i>Leersia hexandra</i> (L.) STAPF.	Han	Tsc
81	<i>Panicum brevifolium</i> L.	Han	Tpr
82	<i>Paspalum scrobiculatum</i> L.	Hvi	Hces
83	<i>Paspalum auriculatum</i> L.	Hvi	Hces
84	<i>Pennisetum polystachyon</i> L. SHUTT.	Hvi	Hces
85	<i>Phragmites mauritianum</i> ADANS	Hvi	Tsc
86	<i>Setaria barbata</i> (LAM.) KUNTH.	Han	Tces
87	<i>Sorghum bicolor</i> (L.)MOENCH	Han	Tpr
88	<i>Sporobolus pyramidalis</i> P. BEAUV.	Hvi	Hces
89	<i>Sporobolus molleri</i>	Hvi	Hces
90	<i>Oplismenus hirtellus</i> (L.) BEAUV	Hvi	Tpr
	Proteaceae		
91	<i>Grevillea robusta</i> R.BR	Arb	Naph

	Pteridaceae		
92	<i>Pteridium aquilinum</i> (SW.) S.SM.	Hvi	Gr
93	<i>Pteris vitata</i> SM.	Hvi	Phg
	Solanaceae		
94	<i>Solanum angustispinosum</i> DEWILD	Arb	Miph
95	<i>Hypericum sp</i>	Han	Nnph
	Ranunculaceae		
96	<i>Clematis hirsuta</i> L.	Hvi	Phg
	Rosaceae		
97	<i>Rubus steudneri</i> SCHWEINF	L	Phg
	Rubiaceae		
98	<i>Spermacoce latifolia</i> AULD.	Han	Tpr
	Typhaceae		
99	<i>Typha latifolia</i> L.	Hvi	Gr
	Verbenaceae		
100	<i>Lantana camara</i> L.	S-arb	Naph
101	<i>Lantana trifolia</i> L.	S-arb	Naph

Partant de ce Tableau 1, 101 espèces ont été inventoriées réparties en 33 familles en déterminant les types morphologiques et biologiques pour chacune.

La synthèse de la répartition dans différents taxons des espèces recensées est reprise dans le [tableau 2](#). Ce tableau relève une dominance de l'embranchement de Mognoliophyta au niveau des genres et espèces sur celui de Pterophyta qui est faiblement représenté. Le sous-embranchement de Rosophytina est mieux représenté dans l'embranchement de magnilophyta avec la classe d'Asteropsida au niveau des genres et espèces.

La [figure 3](#) donne le Spectre des types morphologiques.

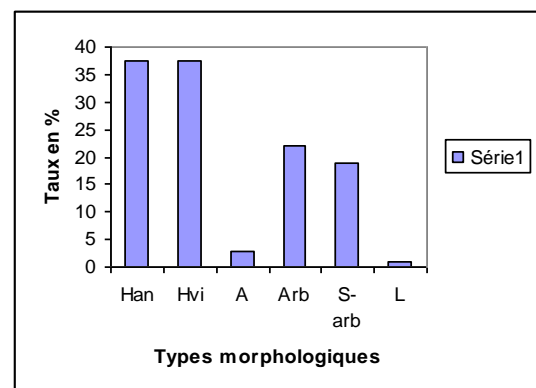


Figure 4: Illustration les types morphologiques

D'après l'analyse des types morphologiques (Figure 3), les herbes dominent la flore de la végétation des eaux thermales. Les herbes vivaces dominent sur les herbes annuelles, les arbustes montrent une dominance sur les arbres, sous arbustes et sur les lianes.

Elles représentent une portion de 76% dans la globalité floristique.

Tableau 2. Classification de la flore condensée

Embranchement	S/Embranchement	Classes	Sous classes	Ordres	Familles	Genres	Espèces	Espèces (%)	Genres (%)
<i>Pterophyta</i>	Pterophytina	Pteropsida	1	3	3	2	5	4,95	2,41
Magnoliophyta	Magnoliophytina	Liliopsida	4	6	8	24	29	28,71	28,92
	Rosophytina	Ranunculopsida		1	2	2	2	1,98	2,41
		Rosopsida	3	7	11	22	26	25,74	26,51
		Asteropsida	3	6	9	33	39	38,61	39,76
2	3	5	11	23	33	83	101	100	100

Tableau 3. Principaux indices de diversité dans les sites d'eaux thermales

Relevés	Bu1	Bu2	Lu1	Lu2	Ny1	Ny2	Ka1	Ka2	Ma1	Ma2	Bh1	Bh2	Ci1	Ci2	Kk1	Kk2	Cz1	Cz2
Nb sp	8	23	15	15	23	27	7	7	14	4	14	7	12	15	8	7	10	12
Ni	120	118	154	122	154	178	59	64	80	28	81	84	44	75	74	36	57	81
S_1-D	0,8071	0,9355	0,8558	0,8422	0,8796	0,9081	0,6958	0,7549	0,9028	0,6122	0,8258	0,6936	0,8709	0,8299	0,7012	0,7701	0,8126	0,8041
S-H	1,834	2,914	2,236	2,199	2,634	2,791	1,542	1,621	2,464	1,091	2,208	1,454	2,229	2,132	1,51	1,663	1,95	1,981
E_J	0,8819	0,9293	0,8258	0,8121	0,84	0,8467	0,7923	0,8333	0,9338	0,7872	0,8367	0,747	0,8969	0,7871	0,726	0,8545	0,8469	0,7971
F_A	1,929	8,527	4,11	4,495	7,49	8,854	2,068	2,003	4,913	1,277	4,883	1,815	5,435	5,638	2,279	2,592	3,513	3,893

La figure 5 donne le spectre des types biologiques.

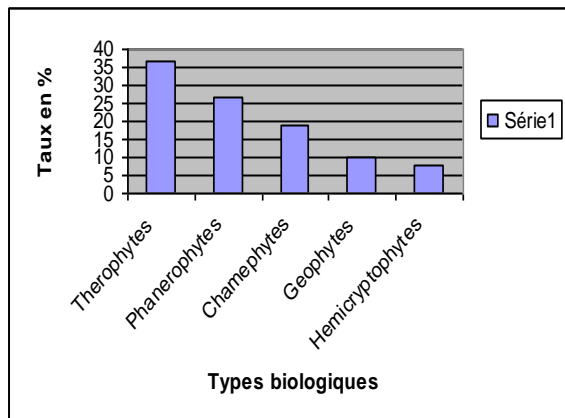


Figure 5. Types biologiques

Dans l'ensemble, la flore étudiée (figure 5) de notre site est dominée par les Thérophytes (36,63%) suivies des Phanérophytes (26,73) et le Chaméphytes (18,81%).

La figure 6 donne les familles plus représentées dans les sites thermales.

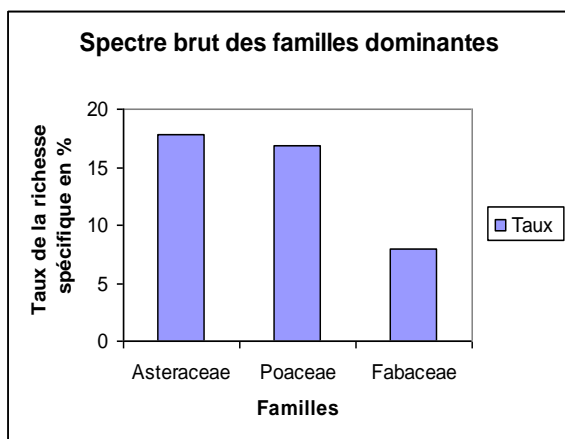


Figure 6. Familles plus représentées dans les sites thermaux.

Après analyse de la figure 6, nous constatons que la famille Asteraceae est bien représentée avec 18 espèces soit 17,82%, suivie des Poaceae avec 17 espèces (16,83%), Fabaceae avec 8 espèces (7,92%). Viennent ensuite les familles Malvaceae et Euphorbiaceae respectivement 5 espèces, soit 4,99%. Les autres familles y sont faiblement représentées.

Le tableau 3 montre que selon l'indice de Fisher alpha (diversité locale), Nyangezi offre plus de diversité comparée aux autres sites. L'indice de Simpson donne des valeurs diverses de diversité pour les différents sites. Il en est de même pour l'indice de Shannon mais le site de Nyangezi reste le mieux représenté. Mais en tenant compte de l'abondance spécifique (en observant le nombre d'individus),

Nyangezi vient en tête avec une abondance de 332 individus par surface échantillonnée. L'indice de Pielou montre l'équitabilité dans la distribution des individus entre les espèces. Plus l'indice de Pielou s'approche de 1, plus l'équitabilité est meilleure. Ainsi nous observons que les individus ne sont pas distribués équitablement entre espèces. Seuls, les sites de Burhinyi, Maziba et Ciziri semblent avoir une distribution équitable des individus avec une équitabilité de Pielou très proche de 0,90.

Sur base de leurs richesses spécifiques respectives (nombre d'espèces présentées), nous avons comparé la diversité des différents sites d'eaux thermales étudiés. Cette comparaison est illustrée par le graphique (boxplot) ci-dessous (figure 7).

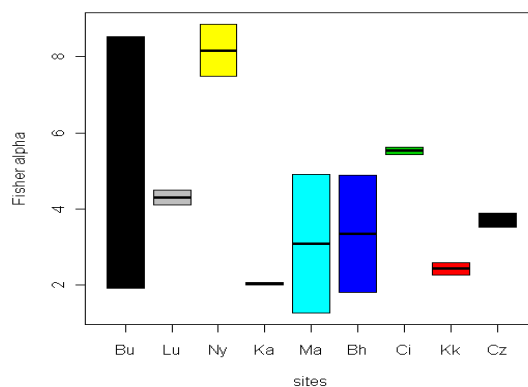


Figure 7. Richesse spécifique dans différents sites d'eaux thermaux.

En se basant sur la répartition des espèces dans les milieux d'eaux thermales (figure 7), on remarque une variation de la richesse spécifique dans les différents sites. La situation se présente comme suit : Nyangezi (50 espèces), Burhinyi (31 espèces), Luhwindja (30 espèces), Cimenki (27 espèces), Cizirhi (22 espèces), Buhandahanda (21 espèces), Maziba (18 espèces), Kakonde (15 espèces) et enfin Kankulé (14 espèces). La comparaison de la richesse spécifique entre les différents sites sur base du test ANOVA montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les sites ($P > 0,001$; $F=1,881$).

La figure 8 donne la similarité des relevés des sites thermaux.

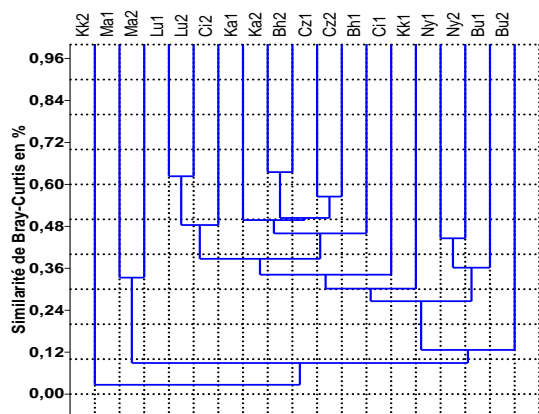


Figure 8. Dendrogramme de similarité des relevés des sites thermaux sur base de la présence spécifique. Les divers sites se démarquent les uns les autres (cluster analysis basé sur la méthode de Bray-Curtis en %); Bu=Burhinyi, Lu=Luhwindja, Ka=Kankulé, Kk=kakonde, Ci=Cimenki, Cz=Cizirhi, Bh=Buhandahanda, Ny=Nyangezi

Nous remarquons une ressemblance plus faible entre les sites à 14% avec le coefficient de Bray-Curtis dont nos relevés sont regroupés en deux groupes, dans ces deux groupes il y a deux sous blocs se ressemblant à 30% et un peu plus haut les relevés Ka2 et Bh2 se ressemblent à 64% par rapport aux espèces inventoriées suivi des relevés de Lu1 et Lu2 à 62% et Ci1 et Ci2 à 57%. En fin les autres relevés se ressemblent à moins de 50%.

La figure 9 donne les résultats de l'analyse des facteurs environnementaux de différents sites.

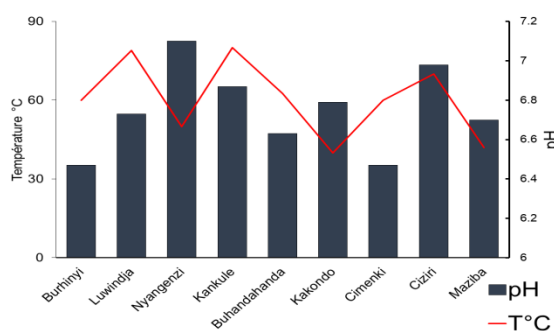


Figure 9. Facteurs environnementaux des sites étudiés. pH = potentiel en hydrogène ; T°= température en degrés celsius.

Il ressort de cette figure 9 que le site de Kankulé possède une température élevée de 80°C et le site Kakonde a une température très faible de 40 °C.

Pour ce qui concerne le potentiel en hydrogène, nous remarquons que le site de Nyangezi est neutre tandis que les sites de Burhinyi et Cimenki tendent à être plutôt acides.

4. Discussion

○Diversité des sites thermaux

De cette étude, l'indice Fisher alpha pour le site Nyangezi offre plus de diversité comparativement aux autres sites. Malgré sa diversité élevée, l'eau du site est à une concentration tampon neutre et une température inférieure ou égale à 50 °C. Mais le site de Kankulé montre une diversité très faible malgré sa représentativité élevée en température (80 °C), nous remarquons que le site de Cizirhi a plus d'espèces que celui de Buhandahanda malgré son abondance spécifique même chose trouvé (Mashimango et al. 2015). En général, la flore de l'ensemble des sites est dominée par des herbacées. Nous avons remarqué que les sites Maziba, Kakonde, Kankulé sont moins diversifiés par ce que ils sont fréquenté par la population et les animaux domestiques (Mashimango et al. 2015).

On n'y rencontre des champs de culture, cette pression humaine serait la cause de la diminution des espèces. Les espèces les plus représentées en termes d'abondance sont *Digitaria vestida*, *Blumea sp*, *Cyperus dives*. Spécifiquement à chaque site, les espèces les mieux adaptées sont : A Burhinyi : *Gleichinialinear*, *Digitariavestida*, *Cyperus dives*, *Harungana madagariensis*, *Bothryocline longipens*, *Ludwigia cordifolia* ; A Luhwindja : *Digitariavestida*, *Blumea sp.*, *Alchornea cordifolia*, *Cyperusdives* ; A Maziba : *Commelina diffusa*, *Clerodendron rotundifolium* et *Ageratum conyzoides* ; A Cimenki : *Digitaria vestida* et *Cyperus dives* ; A Kankulé : *Digitaria vestida* et *Blumea sp* ; A Nyangezi : *Digitaria vestida*, *Fimbristilis dichotoma*, *Ludwigia sp.*, *Typha latifolia* et *Pteris vitata* ; A Cizirhi : *Digitaria vestida*, *Blumea sp*, *Bidens pilosa* ; A Buhandahanda : *Digitaria vestida*, *Blumea sp.*, *Digitaria horizontalis* ; A Kakonde : *Phragmites maurithianun*, *Digitaria vestida*, *Cynodon plectstachyus*.

Cette abondance très variable dépend de la température de l'eau et de la température du sol qui favorise ainsi la croissance et le développement des espèces, résultat contraire de celui de Vauthier (1926) qui travailla sur la flore thermique de l'Arège, il distingua quatre sources d'eau thermale dont : Source Soulé-Bernadet, source Sicre-Patché, Source

Sicre-Poulailler et la Source Mouchard-Perruque. Il a trouvé que toutes ces sources étaient caractérisées par la présence de bactéries (*Beggiatoa alba*) et des algues (*Ulothrix tenuis*) à des températures différentes.

○ *Comparaison de la similarité des sites thermaux*

L'analyse comparative de la similarité entre les sites thermaux étudiés a été appréciée par le coefficient de similarité de Bray-Curtis. En utilisant le dendrogramme de similarité, nos résultats ont montré qu'il existe une démarcation entre les différents sites thermaux, spécialement en ce qui concerne les sites pris en compte (Burhinyi, Luhwindja, Nyangezi, Kankulé, Maziba, Buhandahanda, Cizirhi, Kakonde et Cimenki).

Eu égard à cela, le coefficient de similarité de Bray-Curtis a prouvé que Kankulé (relevé 2) et Buhandahanda (relevé 2) forment des blocs plus indépendants des autres. Les sites Luhwindja, Kankulé, Buhandahanda, Cizirhi et Cimenki ne sont pas très séparés et présentent une forte similarité entre eux. Cette similarité entre les différents sites est due à une température plus élevée entre eux mais aussi au pH qui les caractérisent.

○ *Comparaison de la flore*

D'après nos résultats 101 espèces ont été inventoriées et regroupées en 33 familles parmi lesquelles trois sont mieux représentées par rapport aux autres. Il s'agit des familles *Asteraceae*, *Poaceae* et *Fabaceae*. D'après ces résultats, les plantes herbacées dominent sur les plantes ligneuses : résultats similaires à ceux d'Imani (2007) dans la flore de Mumoshu.

Dans ce travail, l'apparition de la famille *Asteraceae* à la première place s'observe suite au nombre d'espèces qu'elles renferment. En comparant nos résultats en ceux obtenus dans les marais du Parc national de Kahuzi-Biega (Mapenzi, 2010 ; Mushunda, 2012) nous trouvons une grande différence floristique. La flore des marais du parc est dominée par les plantes ligneuses contrairement aux flores de nos sites et leur végétation est dominée par l'espèce *Macaranga* tandis que notre végétation est dominée par *Digitaria vestita*. Le travail de (Mashimango et al. 2015) dans les sites thermaux de katana montre une similitude sur la végétation qui est dominée par les herbacées.

○ *Comparaison des Facteurs environnementaux*

Par rapport aux résultats trouvés en fonction de la température nous remarquons que les eaux thermales

de Kankulé sont les plus bouillantes par rapport aux autres sites résultats différents avec ceux de (Mashimango et al. 2015) où il a trouvé que les eaux thermales, de Kakondo sont bouillantes. Par rapport aux différents résultats il existe quatre types des sources thermales par rapport à la température dont :

- Sources tièdes ou chliarothermes, à température de 18° à 28° C.
- Sources chaudes ou eutherms, à température de 28° à 44° C.
- Sources brûlantes ou acrotherms, à température de 44° à 65° C.
- Sources bouillantes ou hypertherms, à température au-dessus de 65° C (Vouk, 1919) dont nos résultats se classe aussi dans trois types, il ya des Eutherms (source chaude dont des températures sont comprises entre 28° à 44 °C), des acrotherms (sources brûlante dont des températures sont comprises entre 44° à 65 °C) et des hypertherms (source bouillante dont la température est au-dessus de 65 °C). C'est cette classification qui explique la différence de diversité de nos résultats à ceux de (Vauthier, 1926) par ce que lui a beaucoup travailler dans les sources tièdes (les chlorotherms) milieu très favorable pour les algues et les végétaux dépourvus des chlorophylles à des températures inférieures à 28 °C. cette énergie pourrait être aussi utilisée pour la production d'électricité comme le cas des eaux thermales des monts de la Cheffia dans l'extrême Nord-Est Algérien et de Zelfana en Algérie (Alayat et al, 2007 ; Ouali et al, 2007), pas seulement produire l'électricité mais aussi un bon lieu de tourisme, de promenade, la distraction et d'hébergement comme l'a signalé Jazé-Charvolin (2014).

5. Conclusion

Dans le présent travail d'étude comparée de la flore aux alentours des eaux thermales donne un inventaire de 101 espèces réparties dans 83 genres dont la famille d'*Asteraceae* montre une prédominance spécifique avec un taux élevé des herbes annuelles et des thérophytes. Le dendrogramme entre les sites montre une ressemblance nette entre les sites de Ka2 et Bh2. En tenant compte de la diversité spécifique des sites l'abondance s'observe sur le site Nyangezi tandis que la richesse spécifique est visiblement dans le site Burhinyi, dont le test ANOVA montre qu'il n'ya pas une différence significatif entre les sites, ($P > 0.001$; $F = 1.881$).

Remerciements

Les auteurs remercient très sincèrement tous ceux qui les ont aidés à améliorer la qualité de ce manuscrit. Leurs remerciements s'adressent aussi aux collègues chercheurs du département de géophysique du Centre de Recherche en Sciences Naturelles de Lwiro.

Références bibliographiques

- Bagalwa, M.L., Mashimango, J.J., Mateso, B., Katcho, K., Kaboyi, I. (2015). "Caractérisation Physico-Chimique et Identification Des Espèces Végétales Indicatrices Des Eaux Thermales de Katana , Sud Kivu , République Démocratique Du Congo Résumé Abstract." *Afrique SCIENCE* 11 (5): 406–21.
- Bagalwa, M.L., Mateso, L., Mashimango, B., Katcho, K. (2015). "Hydrochemical Characterization of Katana Thermals Waters, Lake Kivu Watershed." *Scholars Journal of Engineering and Technology* 3 (1B): 98–103.
- Barnby, M.A., Resh, V.H. (1988). "Factors Affecting the Distribution of an Endemic and a Widespread Species of Brine Fly (Diptera : Ephydriidae) in a Northern California Thermal Saline Spring." *Entomological Society of America* 81: 437–46.
- Brues, B.Y., Charles, T. (1927). "Animal Life in Hot Springs." *Quar. Rev.Biol* 2 (2): 181–203.
- Collins, B.G., Brian, G., Rebelo, T. (1987). "Pollination Biology of the Proteaceae in Australia and Southern Africa." *Australian Journal of Ecology* 12: 387–421.
- Ervin, G.N., Brook D. H., Bried, J.T., Holly, D.C. (2006). "Evaluating non-native species and wetland indicator status as components of wetlands floristic assessment." *Wetlands* 26 (4): 1114–29.
- Kabonyi, N.C. (2012). "Analyse Palynologique de Divers Sondages Du Secteur Haute Altitude Du Parc National de Kahuzi- Biega. Paléoenvironnements et Paléoclimats Au Pleistocène Supérieur et à l'Holocène."
- Letouzey, R.G. (1989). "Spécialiste Incontesté de La Botanique Des Forêts Du Cameroun." In *Hommes et Destins*, 479–81.
- Maki, M.J.C., Dewitte, O. (2014). "Towards an Inventory of Landslide Processes and the Elements at Risk on the Rift Flanks West of Lake Kivu (DRC)." *Geo-Eco-Trop* 38 (1, s.): 137–54.
- Villeneuve, M. (1980). "La Structure Du Rift Africain Dans La Région Du Lac Kivu (Zaïre Oriental)." *Bull. Volcanol* 43 (3).
- Vincent, W.F., Howard, W.C., Tildesley, P., Butler, E., (1991). "Distribution and Biological Properties of Oceanic Water Masses around the South Island , New Zealand." *New Zealand Journal of Marine & Freshwater Research* 25: 21–42. <https://doi.org/10.1080/00288330.1991.9516451>.
- Winterbourn, M.J. (1969). "The Distribution of Algae and Insects in Hot Spring Thermal Gradients at Waimangu , New Zealand." *New Zealand Journal of Marine & Freshwater Research* 3: 459–65. <https://doi.org/10.1080/00288330.1969.9515311>.
- Winterbourn, M.J., Brown, T.J. (1967). "Observations on the Faunas of Two Warm Streams in the Taupo Thermal Region." *New Zealand Journal of Marine & Freshwater Research* 1 (1): 38–50. <https://doi.org/10.1080/00288330.1967.9515190>.
- Alayat, H., Lamouroux, C. (2007). *Caractérisation physico-chimiques des eaux thermo-minérales des monts de la Cheffia (extrême Nord-Est Algérien)*. *PressTherm. Climat.* 144: 191–199.
- Barnby, M.A., Resh, V.H. (1988). Factors affecting the distribution of an endemic and a Widespread Species of brine fly (Diptera: Ephydriidae) in a Northern California Thermal Spring. *Annals of the Entomological society of America* 81: 437–446.
- Braun-Blanquet, J. (1932). *Plant sociology. The study of plant communities*, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 407 p.
- Brues, C.T. (1924). Observation on animal life in the Thermal waters of Yellowstone Park, with a consideration of the thermal environment, *proceeding of the American Academy of Arts and Sciences* 59, 371-437.
- Brues, C.T. (1927). Animal life in the hot Spring. *Quarterly Review of Biology* ,2, 181-203.
- Brues, C.T. (1932). Further Studies on the fauna of North American hot Springs. *proceeding of the American Academy of Arts and Sciences* 67: 186-303.

- Ervin, G.N., Herman, B.D., Bried, J.T., Holly, D.C. (2006). Evaluating non-native species and wetland indicator status as components of wetlands floristic assessment. *Wetlands* 26 :114-129.
- Fischer, E. (1993). La végétation du Parc National de Kahuzi-Biega (Sud-Kivu/Zaïre). Bonn, 93p.
- Gotelli, N.J., Colwell, R.K. (2001). Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecol. Lett.* 4: 379-391.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D. (2016). Past, paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9.
- Jaze-Charvolin, M. R. (2014). «Les stations thermales : de l'abandon à la renaissance. Une brève histoire du thermalisme en France depuis l'Antiquité », *In Situ [En ligne]*, 24 | 2014, <http://journals.openedition.org/insitu/11123> ; DOI : 10.4000/insitu.11123
- Letouzey, R. (1982). Manuel de botanique forestière de l'Afrique Tropicale. Tome 1, Centre technique Forestier Tropical.
- Mapenzi, A. (2010). Contribution à l'étude floristique dans le secteur de Tshivanga.
- Mashimango, B., Majaliwa, J.G.M., Mushagalusa N., Karume, K.. (2013). Estimation of transported pollutant load from small urban Kahuwa river micro-catchment in Lake Kivu, Democratic Republic of Congo. *Journal of Environment Science and Engineering B* 2 460 - 472.-[17].
- Mashimango, B., Mateso, B., Katcho, K., Kaboyi, I., Malengera, K., Nteranya, B., Ntadumba, N., Cinyambiriri, B. (2015). Caractérisation physico-chimique et identification des espèces végétales indicatrices des eaux thermales de Katana, Sud Kivu, République Démocratique du Congo, *Afrique Science* 11(5): 406- 421.
- Mashimango, B., Bagalwa, M., Karume, K. (2015). Hydrochemical characterization of Katana thermals waters, Lake Kivu watershed. *Scholars Journal of Engineering and Technology*, 3 (1B) 98 – 10.
- Mitchell, R. (1974). The evolution of thermophily in hot Springs. *Quartely Review of Biology*, 49, 229-242.
- Ouali, S., Mehmah, B., Malek, A. (2007). Etude de faisabilité d'utilisation des eaux thermales de Zelfana Dans la Production d'Hydrogène. 2IWH, Ghardaïa - Algeria, 9p.
- Pielou, E.C. (1996). Species diversity and pattern in the study of ecological succession. *Theor. Biol.* 10: 370-383.
- PNKB, Sud-Kivu, RD Congo. *Annales des sciences de l'UOB*, vol. 2. 2010.
- Schoeman, F.R., Archibald, R.E.M. (1988). Taxonomic notes on the diatoms (Bacillariophyceae) of the cross Barmen Thermal Springs in south West Africa /Namibia. *South African Journal of Botany* 54: 221-256.
- Senterre, B. (2005). Recherches méthodologiques pour la typologie de la végétation et la Phytogéographie des forêts denses d'Afrique Tropicale. Thèse de doct. ULB. Labo. Bot. Syst. & Phyt. 345p. + Annexes.
- Shannon, C.E., Weaver, E.W. (1949). The mathematical theory of communication. *Univ. of Illino.*
- Simpson, E.H. (1949). Measurement of diversity, *Nature* 163: 688.
- Staruhner, F. (1969). Beitrage zur kenntnis der biozozosen islandischer thermalge wasser. *Sitzungsberichte osterreichische akademie der wissenschaften. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse. Abteilung I*, 178: 83-173.
- Stirling, G., Wilsey, B. (2001). Empirical relationships between species richness, evenness and proportional diversity. *Am. Nat.* 158: 286-299.
- Stockener, J.G. (1968). Algal growth and primary productivity in a thermal stream. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 25, 2037-2058.
- Stockener, J.G. (1971). Ecological energetics and natural history of *Hedriodiscus truqui* (Diptera) in two Thermal Spring communities. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 28: 73-94.
- Tuxen, S.L. (1944). The hot Spring, their animal communities and their zoogeographical significance. In the zoology of Iceland, vol. 1, Part II, 1-216. Ejnar Munksgaard, Copenhagen.

-
- Vincent, W.F., Forsyth, D.J. (1987). Iland waters of New Zeland . PP. 349-375. DPSIR. Science information publishing center, Wellington.
- Vouk A. (1919). Biolog. Unters. ThermalquellenKroatiens and Slavoniens. Bullet. Acad. d. Sc. Slav. du sud. Zagreb, 5 (191G), 8.
- Vuathier, CH. (1926). Notes sur la flore thermale des eaux sulfureuses de Mérens (Ariège), Bulletin de la Société Botanique de France 73:3, 388-398, DOI: 10.1080/00378941.1926.10833594.
- Wiegert, R.G. (1973). A general ecological model and its use in stimulating algal- fly energetic in a thermal Spring community. In :Insects : stydies in population Management (P.W.Geier, L.R.Clark, D.J.Anderson & H.A.Nix, eds), 85-102.Ecology Society of Australia(Memoirs1), cauberra.
- Winterbourn, M.J. (1968). The faunas of thermal waters in New Zealand. Tuatara 16: 111-122.
- Winterbourn, M.J. (1969). The distribution of algae and Insects in hot spring thermal gradients at waimangu, new Zealand. New Zealand journal of Marine and Freshwater Research 3: 459-465.